

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль _____

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Анализ динамических свойств канала тангажа малого летательного аппарата

УДК 629.73.017.21-047.44

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Д	Карпов Александр Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	Д.т.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	Д.т.н., профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютева П.В.	к.т.н., доцент		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники.
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P5	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
P8	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P9	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электрооборудование летательных аппаратов

Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Д	Карпов Александр Сергеевич

Тема работы:

Анализ динамических свойств канала тангажа малого летательного аппарата

Утверждена приказом директора (дата, номер) _____

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>Малый беспилотный летательный аппарат весом 5 – 50 кг;</p> <p>Время переходного процесса не более 2 сек;</p> <p>Перерегулирование не более 5%.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>Литературный обзор в области управления малыми летательными аппаратами;</p> <p>Проектирование канала тангажа;</p> <p>Подбор электрической машины;</p> <p>Анализ полученных характеристик.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Имитационные схемы канала тангажа;</p> <p>Характеристики, полученные в результате имитационного моделирования.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Панин Владимир Филиппович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Наталия Геннадьевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А. Г.	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Д	Карпов Александр Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Д	Карпову Александру Сергеевичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <p>1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеословия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</p> <p>1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</p> <p>1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</p> <p>1.4 чрезвычайных ситуаций (техногенного, природного, экологического и социального характера)</p>	<p>Территория лаборатории с главным объектом рассмотрения исследования – персональный компьютер для изучения динамических свойств канала тангажа малого летательного аппарата. Необходимо поддержание:</p> <p>1.1. Нормативных метеословий, уровней вибрации и шума;</p> <p>1.2. Нормативных мер обеспечения электро- и пожаробезопасности.</p> <p>1.3. Нормативных мер защиты окружающей среды от воздействия тягового двигателя</p> <p>1.4. Нормативных мер по предотвращению вероятных ЧС и ликвидации их последствий.</p>
<p>2. Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»;</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»;</p> <p>ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»;</p> <p>ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.;</p> <p>№123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008;</p> <p>ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения эл. током».</p> <p>Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования «Город Томск» ».</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>1.1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</p> <p>1.2. действие фактора на организм человека;</p> <p>1.3. приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>1.4. предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</p>	<p>Наиболее значимые вредные факторы:</p> <p>1. Шум</p> <p>2. Вибрации</p> <p>3. Недостаток естественного света</p> <p>4. Возможные ненормативные метеоусловия</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <p>2.1. механические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>2.2. термические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>2.3. Опасность электропоражения (в т.ч. статическое электричество, поражение молнией – источники, средства защиты);</p> <p>2.4. Опасность загораний (пожаров) (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p>	<p>Наиболее вероятно воздействие на персонал следующих опасных факторов:</p> <p>1. Опасность электропоражения;</p> <p>2. Пожаровзрывоопасность.</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <p>3.1. анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</p> <p>3.2. анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</p> <p>3.3. анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</p>	<p>По п.3.1.: разработать или описать систему обращения с выбросами на территории аэропорта.</p> <p>По п.3.2.: разработать или описать систему обращения со сбросами.</p> <p>По п.3.3. описать систему обращения с твердыми отходами цеха в соответствии с постановлениями Правительства РФ от 03.09.2010 №681 и Администрации г. Томска от 11.11 2009 №1110(с изменениями от 24.12. 2014г.).</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>4.1. перечень возможных ЧС на объекте;</p> <p>4.2. выбор наиболее типичных ЧС;</p> <p>4.3. разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</p>	<p>Одни из наиболее вероятных ЧС: пожары, электропоражения.</p> <p>Разработать мероприятия по предотвращению пожаров, электропоражений и других ЧС и ликвидации их последствий.</p>
Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	
<p>Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин Владимир Филиппович	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Д	Карпов Александр Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Д	Карпов Александр Сергеевич

Подразделение	ИШЭ	Отделение	НОЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Месячный оклад научного руководителя – 30000 руб. Месячный оклад инженера – 17000 руб
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент (Томск) – $k_p = 1.3$
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления в социальные фонды 30 % от ФЗП

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Планирование работ и временная оценка их выполнения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Смета затрат на проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Анализ полученных результатов

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Д	Карпов Александр Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 58 с., 22 рис., 6 табл., 25 источников.

Ключевые слова: летательные аппараты, электрическая машина, электрооборудование, канал тангажа, динамические характеристики.

Объектом исследования является канал тангажа малого летательного аппарата.

Цель работы – спроектировать канал тангажа малого летательного аппарата с электрическим приводным микродвигателем и проанализировать его динамические свойства.

В процессе исследования проводились: литературный обзор в области управления летательными аппаратами; проектирование и моделирование системы автоматического управления канала тангажа; оценка бюджета внедрения инженерного решения; описание рабочего места студента на предмет возникновения вредных и опасных факторов работы.

В результате исследования сформированы практические рекомендации к построению системы автоматического управления по каналу тангажа летательного аппарата, определена структура управления, выбрана машина постоянного тока в качестве привода руля летательного аппарата и проведено моделирование системы автоматического управления с применением выбранной электрической машины.

Настоящая теоретическая разработка является одним из возможных вариантов решения задачи регулирования канала тангажа малого летательного аппарата.

Оглавление

Реферат	8
Введение	11
1 Аэродинамический ЛА, как система автоматического управления	12
1.1 Типы аэродинамических ЛА.....	12
1.2 Беспилотный летательный аппарат	16
1.3 Система управления.....	18
2 Координаты ЛА и связанные с ними уравнения движения	20
3 Система автоматического управления каналом тангажа	29
3.1 Работа системы.....	29
3.2 Принцип действия канала тангажа системы автоматического управления самолета.....	30
3.3 Требования к качеству переходных процессов.....	33
4 Математическая модель	34
5 Социальная ответственность	37
5.1 Введение.....	37
5.2 Анализ вредных факторов.....	37
5.2.1 Шум.....	38
5.2.2 Вибрация.....	38
5.2.3 Недостаток естественного света	39
5.2.4 Микроклимат.....	42
5.3. Анализ опасных факторов.....	43
5.3.1 Электропоражение.....	43
5.3.2 Загорание (пожар).....	45
5.4 Защита окружающей среды	46
5.5 Предотвращение ЧС и устранение их последствий	48
5.5.1 Пожар (загорание) – как источник ЧС.....	48
5.5.2 Электропоражение как источник ЧС.....	49
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	50

6.1 Планирование работ и оценка времени выполнения	50
6.2. Смета затрат на проектирование	51
6.2.1. Материальные затраты.....	52
6.2.2. Амортизация вычислительной техники	52
6.2.3. Основная заработная плата исполнителей	52
6.2.4. Затраты на социальные нужды	53
6.2.5. Прочие затраты	54
6.2.6. Накладные расходы	54
Заключение	56
Список используемой литературы (по теме ВКР).....	57

Введение

Современные летательные аппараты (ЛА) имеют на борту большое количество, машин, приборов и прочих агрегатов, при помощи которых осуществляется автоматическое управление различными органами ЛА. Сложность и важность решения поставленных задач предусматривает использование автоматических систем управления с высокой степенью надежности.

Достижение новых высот связано с разработкой новых концепций в построении функциональных систем ЛА, которые бы взаимодействовали в реальном масштабе времени под управлением быстродействующих бортовых компьютеров. Концепция самолета с полностью электрифицированным оборудованием является одной из новых концепций в настоящее время. К ней также относится замена гидравлических и механических приводов рулевых поверхностей на электромеханические преобразователи, управление которыми сводится к реализации систем регулирования.

Целью работы является проектирование канала тангажа малого летательного аппарата с электрическим приводным микродвигателем и анализ его динамических свойств.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ теории управления летательными аппаратами.
2. Спроектировать канал тангажа, подобрав необходимый электрический привод.
3. Смоделировать полученную систему и провести ее анализ.

Предметом исследования является проектирование канала тангажа малого летательного аппарата и анализ его динамических свойств.

Объектом исследования является канал тангажа малого летательного аппарата.

1 Аэродинамический ЛА, как система автоматического управления

1.1 Типы аэродинамических ЛА

Аэродинамические летательные аппараты – аппараты, подъемная сила которых возникает за счет движения в находящейся среде – в атмосфере земли. Данные ЛА имеют аэродинамические поверхности, с помощью которых создается подъемная сила.

Существует два типа аэродинамических ЛА:

1. Самолеты
2. Вертолеты

Самолет – это летательный аппарат тяжелее воздуха с аэродинамическим принципом полета. Для полета используются крыло и оперение – несущие поверхности, а для создания движущей силы – силовая установка с находящимся на борту топливом, все это соединяет в одно целое фюзеляж самолета. Для передвижения, стоянки, а также рулежки, взлета и посадки имеются системы опор – шасси.

Основные части самолета:

Рулевые поверхности, обеспечивающие управление и стабилизацию, находятся на крыльях и на оперении самолета. На следующих изображениях (Рисунок 1. Крыло современного пассажирского самолета, Рисунок 2. Оперение) можно увидеть элементы управления и конструкцию.

Требуемое движение летательного аппарата реализуется путем создания управляемых по направлению и величине сил и их моментов, действующих на ЛА. Принцип органов управления различен, но общность их в том, что все они так или иначе, при изменении своего положения, изменяют воздушный поток и его направление, в следствии чего появляются дополнительные аэродинамические силы.

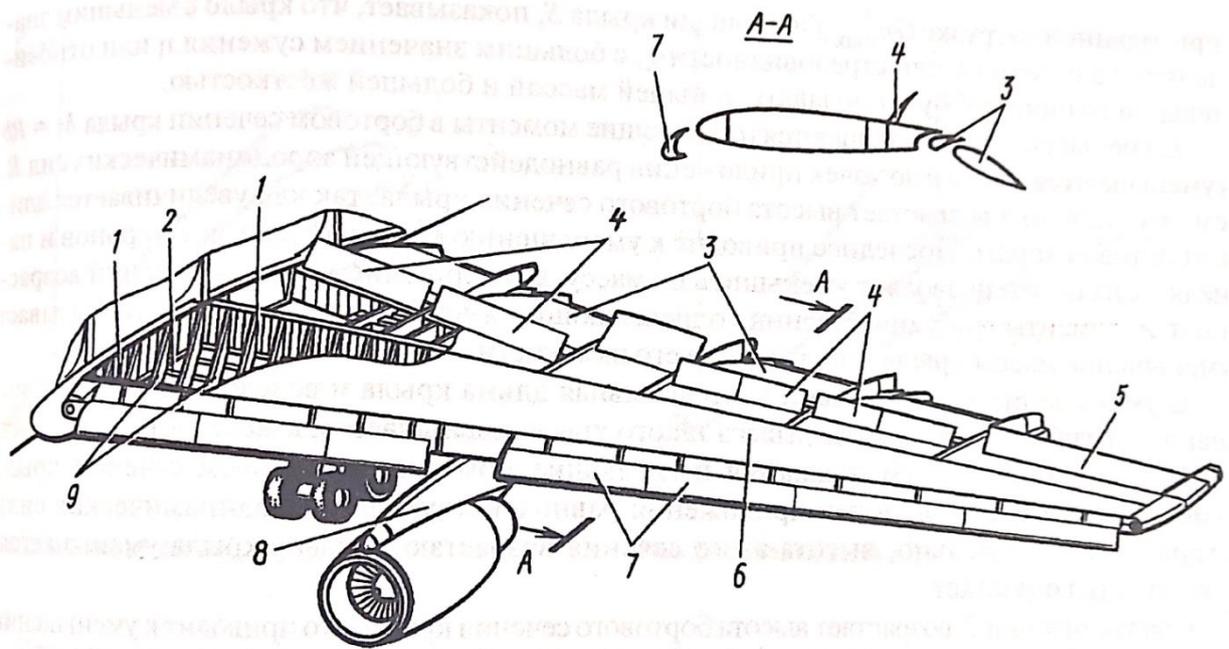


Рисунок 1 – Крыло современного пассажирского самолета.

- 1 – Лонжероны, 2 – Стенки и стрингеры, 3 – закрылки, 4 – Интерцепторы, 5 – Элероны,
6 – Обшивка, 7 – Предкрылки, 8 – Пилоны, 9 – Нервюры.

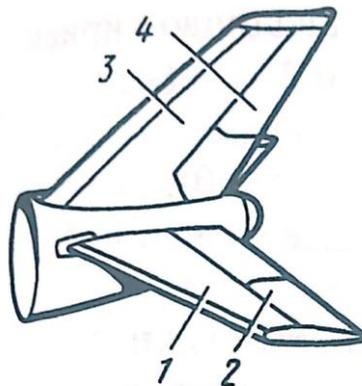


Рисунок 2 – Оперение.

- 1 – Неподвижный стабилизатор, 2 – Руль высоты, 3 – Неподвижный киль, 4 – Руль направления.

Органы управления, приведенные на рисунке задействованы в систему управления самолета.



Рисунок 3 - Российский ударно-разведывательный вертолет Камов Ка-52 “Аллигатор”.

Вертолет – винтокрылый ЛА, подъемная сила у которого создается при помощи одного или нескольких винтов расположенных в различных схемах. Винты приводятся в движение одним или несколькими двигателями.

Основные части вертолета:

Несущий винт – предназначается для создания подъемной и движущей сил, для управления полетом вертолета. Состоит из втулки, которая передает вращательный момент от двигателя винту и лопастей – аэродинамических поверхностей. На рисунке 3 представлен вертолет Ка-52 имеющий соосную схему, каждая ось имеет 3 лопасти.

Рулевой винт – винт, расположенный на вале хвостового редуктора, состоит из втулки и лопастей (рисунок 4 “Рулевой винт вертолета Ми-8”). Компенсирует реактивный крутящий момент основного, несущего, винта, а также необходим для управления углом рыскания (см. содержание главы 3) схемы одновинтового вертолета.



Рисунок 4 – Рулевой винт вертолета Ми-8

Автомат перекоса изменяет общий и циклический шаг несущего винта, за счет передачи сигнала осевому шарниру на втулке несущего винта от цепи управления. На рисунке 5 изображен автомат перекоса вертолета Ка-52.



Рисунок 5 – Автомат перекоса вертолета Ка-52

Трансмиссия – передает мощность от двигателя к рулевым и несущим винтам, а также к вспомогательным узлам. Расположение и конструкция трансмиссии определяется схемой вертолета.

Фюзеляжем выступает вся конструкция вертолета, к которой крепятся рамы, шасси, узлы и агрегаты двигателя, хвостовое оперение и т.д.

Крыло помогает повысить скорость полета за счет разгрузки несущего винта. Крыло может вмещать в себя какое-либо оборудование, ниши для шасси, баки.

Оперение состоит из киля и стабилизатора. Требуется для обеспечения управляемости и устойчивости. На рисунке 6 можно видеть оперение вертолета Ми-8

Взлетно-посадочное устройство (шасси) позволяет вертолету садиться, гася энергию удара при посадке, способствует его передвижению и стоянке на площадке.

Силовая установка – сердце вертолета, создает мощность необходимую для привода во вращение несущего винта и всех агрегатов трансмиссии. Силовая установка представлена двигателями поршневыми, газотурбинными или электрическими совместно со вспомогательными системами.

1.2 Беспилотный летательный аппарат

В отдельный тип ЛА можно вынести беспилотные летательные аппараты. БПЛА – летательный аппарат, выполняющий полет автономно либо управляемый оператором с земли или иного объекта. В свете того, что БПЛА не перевозит пилота или оператора данный вид ЛА не требует систем жизнеобеспечения и вывода информации на своем борту, а значит их размеры и вес значительно могут быть уменьшены для разведки и ведения боевых действий. Так же БПЛА используются в фото видеосъемке. Эти различия со всеми вытекающими последствиями показывают превосходство БПЛА над пилотируемыми ЛА.

Так же, как и достоинства, у БПЛА есть и недостатки:

- Не такая гибкость применения как у традиционной авиации
- Связь, посадка, спасение аппарата — это задачи повышенной трудности

- По надежности БПЛА уступает привычным ЛА
- Ограничения полетов во многих районах по разнообразным причинам [4]

Применение БПЛА довольно обширно. В гражданском секторе это логистические решения, исследование местности, контроль за объектами, помощь в исследовании разрушенных построек, геологоразведывательные комплексы, следование прочим инструкциям. В военном секторе – более маневренные беспилотные истребители, разведчики, системы переноса вооружения, бомбардировщики, исследование местности и прочее.

Современный ударно разведывательный БПЛА США “MQ-9 Reaper”, представлен на рисунке 6. Оснащен турбовинтовым двигателем, способный разогнать БПЛА до скорости более 400 км/час. Его автономность находится в пределах одних суток.



Рисунок 6 – БПЛА MQ-9 Reaper

Современный ударно разведывательный БПЛА РФ “Орион” имеет большую грузоподъемность, представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – БПЛА Орион

1.3 Система управления

Система управления ЛА – комплекс устройств, позволяющих обрабатывать команды от пилота или системы автоматического управления и преобразовывать их в управляющие сигналы с целью отклонения рулевых поверхностей для управления ЛА и стабилизации полета. Данная система обеспечивает как пилотирование летчиком, так и полет при помощи автоматического управления по заданным координатам. [5]

Системы управления подразделяются на основные и вспомогательные. К основным системам относятся рули самолета (направления, высоты и элероны). Вспомогательным управлением является управление двигателями, шасси, механизацией крыла, триммерами рулей и др.

Основная система управления решает следующие задачи:

- пилотирование ЛА в полуавтоматическом и неавтоматическом режимах летчиком;
- управление в автоматическом режиме с установленными характеристиками полета;
- создание необходимой мощности для управления рулевыми поверхностями и прочими органами управления;

- создание на ЛА необходимых и заданных характеристик управляемости и устойчивости;
- стабилизация и поддержание установленных режимов полета;
- повышение безопасности за счет своевременного оповещения о приближении к опасным режимам полета и др.

Структура основных систем управления состоит из проводки и рычагов управления. Проводка в свою очередь связывает рычаги с рулями. Рычаги, состоящие из педалей и штурвальной колонки, отклоняются пилотом.

Технические требования, предъявляемые к системам управления, определены эксплуатационным путем:

1. При управлении ЛА все движения летчика должны соответствовать естественным рефлексам человека. Поворот управляющих рычагов в определенном направлении должен вызывать вращения ЛА в том же направлении.
2. Управление не должно быть физически сложным для летчика.
3. Необходимо что бы усилие на рычаге плавно нарастало при увеличении его отклонения от нейтрального положения.
4. Резервирование систем управления при отказе должно обеспечивать безопасный полет.
5. Деформации конструкции не должны существенно влиять на работу системы управления в целом и др.

Комплекс устройств СУ состоит из нескольких звеньев:

- 1) Командное или управляющее звено. Это пилот, оператор или система автоматического управления;
- 2) Передающее звено. Им является привод, с помощью которого происходит отклонение третьего звена;
- 3) Объект управления – самолет. [5]

2 Координаты ЛА и связанные с ними уравнения движения

В динамике полета математической основой является теоретическая механика, теория автоматического управления, теория устойчивости, методы оптимизации, статистические методы анализа и синтеза динамических систем.

Математическое описание режимов полета ЛА осуществляется в системах координат. В авиации используют земную, связанную и скоростную систему координат.

Земная система координат привязана к Земле и используется для определения положения самолета относительно ориентиров. При расчетах взлета и посадки, для ближних полетов, используется прямоугольная система координат – Декартова (рисунок 8). Начало этой системы координат лежит на поверхности земли, а оси фиксированы по отношению к ней. Ось Y имеет направление вверх по вертикали, по прямой, сонаправленной с вектором силы тяжести. Оси X и Z располагаются в местной горизонтальной плоскости, образуя правую прямоугольную декартову систему координат. Направление осей X и Z зависит от требуемой задачи, которую необходимо решить при прокладывании маршрута. Для дальних перелетов, когда появляется необходимость учитывать то, что Земля – «шар», используют полярную систему координат.

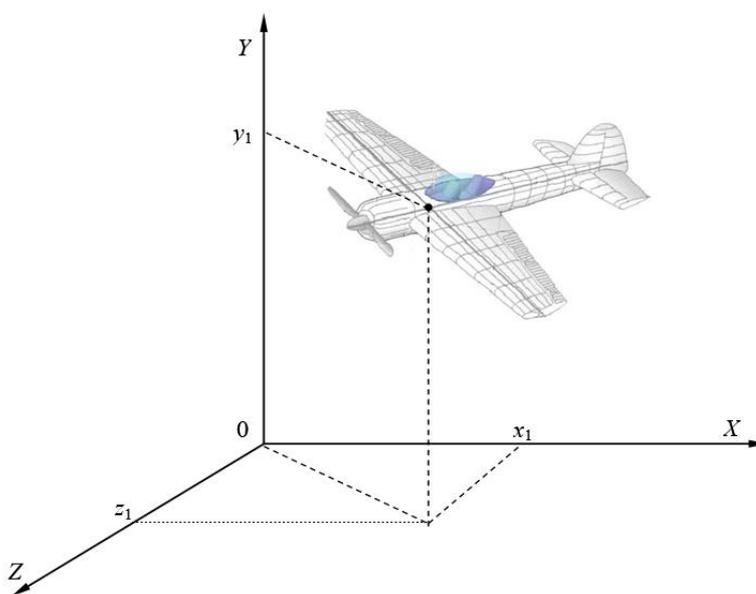


Рисунок 8 – Земная прямоугольная (Декартова) система координат

Связанная система координат – «привязана» к конструкции ЛА (рисунок 9). Ее начало лежит в центре масс, а оси ориентированы относительно осей ЛА. Расположение осей координат:

X – вдоль строительной оси ЛА от «хвоста» к «носу» через хорду крыла;

Y – вверх перпендикулярно плоскости (хорде) крыла и оси X ;

Z – в плоскости крыла образует «правую тройку» с осями X и Y .

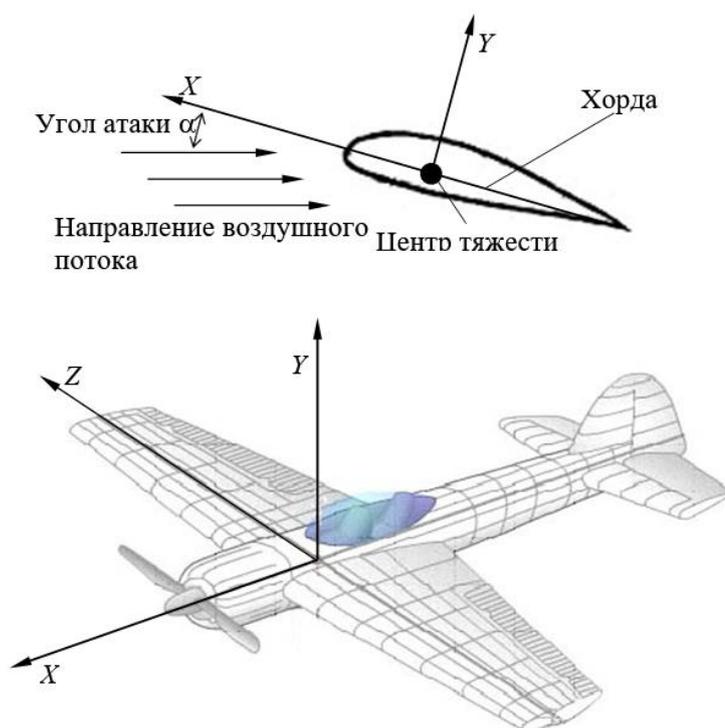


Рисунок 9 – Связанная с ЛА система координат

Скоростная система координат привязана к скорости летательного аппарата и отсчитывается относительно воздуха (рисунок 10). Она применяется в целях расчета сил аэродинамики и определения расположения самолета относительно воздушного потока. Когда исследуются аэродинамические параметры ЛА при помощи аэродинамической трубы, то в этом случае скоростная система привязана к трубе.

Расположение осей координат данной системы:

X – по направлению вектора скорости набегающего потока воздуха;

Z – «на нас» в плоскости крыла перпендикулярно оси X ; Y – вверх перпендикулярно плоскости XZ .

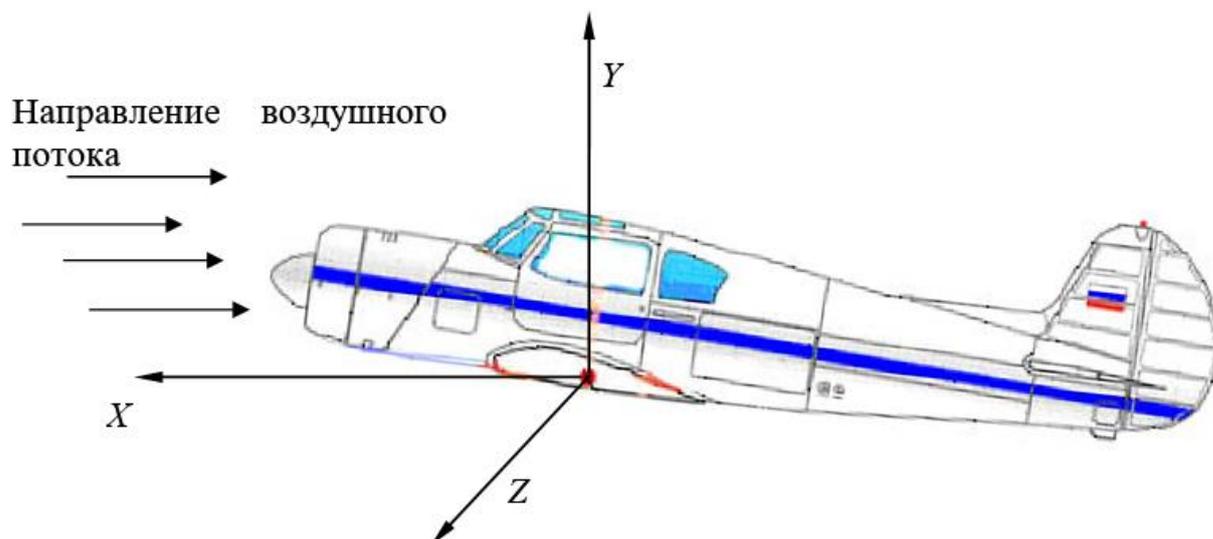


Рисунок 10 – Скоростная система координат

Положение связанной системы координат относительно нормальной системы определяет параметры пространственного положения ЛА относительно Земли во вращательном движении.

Положение скоростной системы координат относительно связанной системы координат определяется относительно воздушной среды углами атаки α и скольжения β . Угол атаки α – угол между осью X связанной системы координат и плоскостью XZ скоростной системы координат.

Угол скольжения β – угол между направлением вектора скорости ЛА и плоскостью XY связанной системы координат.

Ориентация ЛА в пространстве определяется тремя углами.

Угол тангажа ϑ , определяющий связь между осью X связанной системы координат и плоскостью XZ земной системы координат, т. е. угол между продольной осью ЛА и плоскостью земли (плоскостью горизонта) (рисунок 11). Отслеживание этого угла позволяет ЛА сохранять продольную устойчивость;

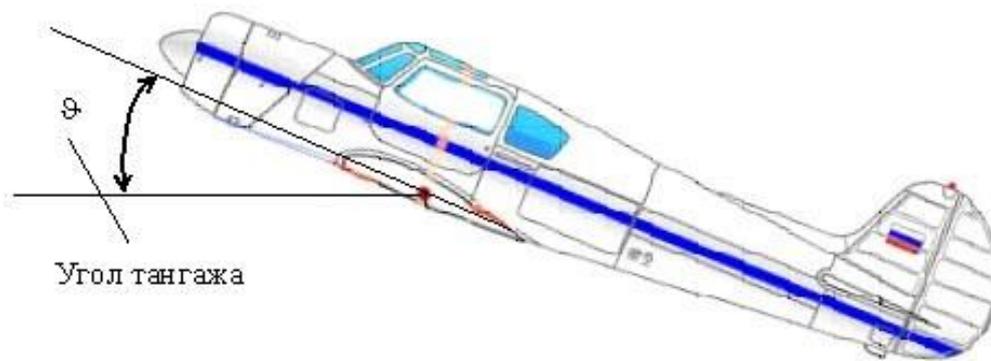


Рисунок 11 – К определению угла тангажа

Угол рысканья ψ – угол между продольной осью ЛА и вертикальной плоскостью полета (плоскость, перпендикулярная плоскости горизонта и проходящая через точку старта и точку цели). Угол рысканья указывает на отклонение ЛА от заданного курса;

Угол крена γ – угол, который возникает при повороте корпуса ЛА вокруг его продольной оси (рисунок 12). Своевременное исправление крена позволяет ЛА сохранять поперечную устойчивость и гасит беспорядочное вращение ракеты.

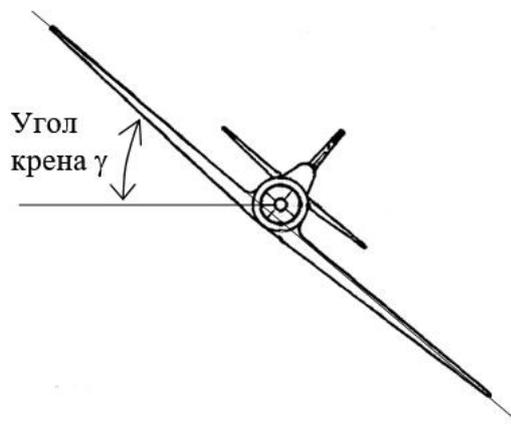


Рисунок 12 – К определению угла крена

Таким образом, пространственное положение ЛА относительно Земли полностью описывается шестью параметрами: пройденным расстоянием L , боковым отклонением Z , высотой H , углами рыскания ψ , тангажа θ и крена γ .

Движение ЛА можно рассматривать относительно Земли со скоростью V_k и относительно воздушной среды со скоростью V (воздушная скорость ЛА). Земная скорость V_k – скорость начала связанной системы координат

относительно какой-либо из земных систем координат, например, относительно земной прямоугольной системы координат. Проекция земной скорости V_k на горизонтальную плоскость нормальной земной системы координат называется путевой скоростью V_n .

Подъемная сила, поддерживающая ЛА в воздухе, образуется вследствие несимметричного обтекания крыла воздушным потоком, имеющего место при несимметричной форме профиля крыла, ориентации его под некоторым положительным углом атаки к потоку или под влиянием обоих этих факторов. В этих случаях скорость потока на верхней поверхности крыла больше, а давление (в соответствии с уравнением Бернулли) меньше, чем на нижней; вследствие этого создается разность давлений под крылом и над крылом и возникает подъемная сила. Действующую на ЛА при его обтекании воздушным потоком полную аэродинамическую силу в скоростной системе координат можно представить в виде двух составляющих: аэродинамической подъемной силы Y_a и силы лобового сопротивления X_a , преодолеваемой силой тяги P (в общем случае возможно также наличие и боковой силы Z_a). Сила Y_a определяется в основном подъемными силами крыла и горизонтального оперения, а противоположно направленная по отношению к скорости полета сила X_a обязана своим происхождением трению воздуха о поверхность ЛА, разности давлений, действующих на лобовые и кормовые части элементов ЛА.

На следующем изображении показаны силы, действующие на ЛА при его полете (рисунок 13).

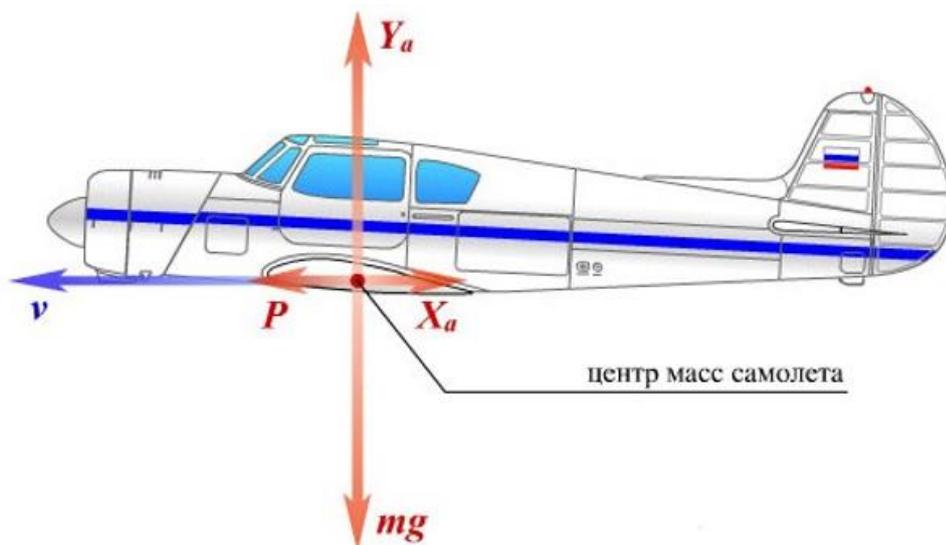


Рисунок 13 – Силы, действующие в полете на ЛА

Движение ЛА совершается по инерции и под действием сил и моментов. Составляющие моментов, действующих на ЛА, в связанной системе координат имеют следующие названия (рисунок 14):

- момент крена M_x действует относительно оси X , если он стремится создать правый крен, то его считают положительным;
- момент рысканья M_y действует относительно оси Y , если он стремится развернуть ЛА, то его принято считать положительным;
- момент тангажа M_z действует относительно оси Z , если он стремится увеличить угол атаки ЛА, то его считают положительным. Кабрирующим называют положительный момент тангажа, а пикирующим – отрицательный.

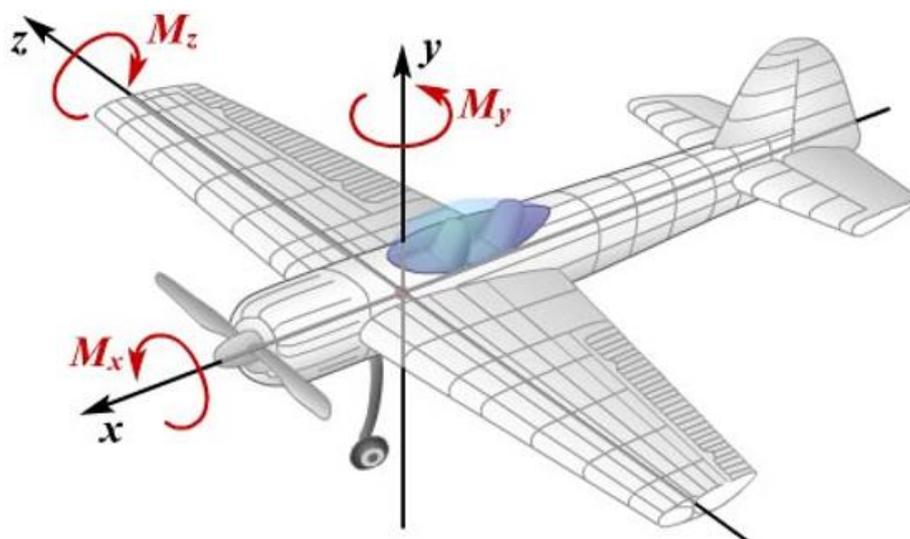


Рисунок 14 – Моменты, действующие на ЛА в связанной системе координат

Для управления движением необходимо воздействовать на силы и моменты, действующие на ЛА, изменяя их по требуемому закону. Воздействие на аэродинамические силы и моменты производится посредством управляющих поверхностей (рули, элероны, элевоны, щитки, стабилизаторы) и воздушных тормозов. Сила тяги меняется посредством изменения режима работы двигателя или движителя (винт, реактивное сопло и т. д.). В современных реактивных ЛА (истребителях) возможно изменение вектора силы тяги по направлению, за счет поворота сопла. Изменение силы веса происходит вследствие изменения запаса топлива на ЛА, сбрасывания грузов и др. В качестве регулирующих факторов, позволяющих воздействовать на ЛА в целях управления его движением, являются углы отклонения рулей высоты δ_v и поворота δ_{Π} , элеронов δ_{ε} , стабилизатора $\delta_{\text{ст}}$ и т. д. Движение ЛА, описанное сложной системой дифференциальных уравнений, является единым процессом. Зачастую сложное движение ЛА разбивают на простейшие виды (угловые движения и движение центра масс, продольное и боковое движения и т. д.), что значительно упрощает и облегчает изучение задачи.

Погрешности, которые допускаются при таком приближенном рассмотрении, в ряде случаев оказываются малыми.

Причиной появления моментов крена и рыскания является

асимметричное обтекание самолета, которое происходит во время полета со скольжением, или при отклонении элеронов или руля направления. В этом случае происходит так называемое боковое движение самолета. В случае симметричного обтекания самолета действует только момент тангажа. Движение самолета в этом случае происходит в плоскости его симметрии и называется продольным движением. Основные параметры продольного движения являются скорость и угол атаки. Для управления самолетом по тангажу используется руль высоты.

В качестве примера рассмотрим продольное движение ЛА в пределах атмосферы.

Для вывода уравнений продольного движения введем следующие обозначения: V – скорость полета, направленная по касательной к траектории; Y – подъемная сила; X – сила сопротивления; G – сила веса; ϑ – угол тангажа (угол между продольной осью ЛА и горизонтальной плоскостью); θ – угол наклона траектории; α – угол атаки (угол между продольной осью ЛА и вектором воздушной скорости);

$m = G/g$ – масса ЛА; P – сила тяги, совпадающая по направлению с продольной осью ЛА.

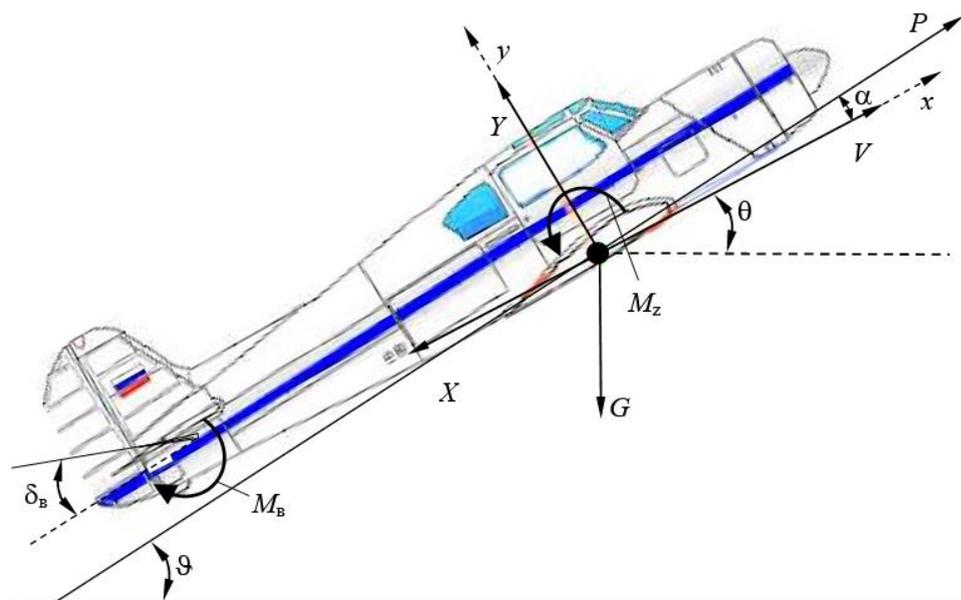


Рисунок 15 – К выводу уравнений продольного движения ЛА

Зададим направление оси x по касательной к траектории, а оси y по

нормали. Проецируя силы на оси координат, получим:

$$m \frac{dV}{dt} = P \cos \alpha - X - G \sin \theta,$$
$$mV \frac{d\theta}{dt} = P \sin \alpha + Y - G \cos \theta.$$

Пусть M_z и J_z -суммарный момент аэродинамических сил, действующих относительно поперечной оси, проходящей через центр масс соответственно, и момент инерции относительно той же оси. Уравнение моментов относительно поперечной оси самолета будет:

Пусть M_z и J_z суммарный момент аэродинамических сил, действующий относительно поперечной оси, проходящей через центр масс, и момент инерции относительно той же оси. Уравнение моментов относительно поперечной оси самолета будет:

$$J_z \frac{d^2 \vartheta}{dt^2} = M_z.$$

Если $M_{шв}$ и J_B – шарнирный момент и момент инерции руля высоты относительно его оси вращения, M_B – управляющий момент, создаваемый системой управления, то уравнение движения руля высоты будет:

$$J_B \frac{d^2 \delta_B}{dt^2} = M_B + M_{шв}.$$

В четырех полученных уравнениях неизвестными являются пять величин ϑ , θ , α , V и δ_B .

В качестве недостающего пятого уравнения возьмем кинематическое уравнение, связывающее величины ϑ , θ , α :

$$\vartheta = \theta + \alpha.$$

Эти уравнения движения описывают поведение ЛА в координатной системе, связанной с аппаратом. Для определения движения в системе координат, связанной с Землей, к этим уравнениям необходимо добавить уравнения движения центра масс по отношению к этой координатной системе.

В качестве таких уравнений можно взять следующие выражения:

$$\frac{dH}{dt} = V \sin \theta + U_y,$$
$$\frac{dL}{dt} = V \cos \theta + U_x,$$

где H и L – высота полета и пройденное расстояние; U_y и U_x – составляющие скорости ветра по соответствующим направлениям.

Эти уравнения составляют полную систему дифференциальных уравнений продольного движения ЛА. Они могут быть использованы при исследовании динамики управления в случае больших отклонений от установившегося движения.

3 Система автоматического управления каналом тангажа.

3.1 Работа системы

Система стабилизации работает на протяжении всего полета, начиная со взлета и заканчивая посадкой. Данная система не позволяет ЛА отклоняться от заданных пилотом или системой автоматического управления параметров полета.

При отклонении рычагов управления импульс, поданный в систему управления, отклоняет рулевые поверхности ЛА. Возникают колебания, которые могут привести к потере управления над аппаратом. Решением проблемы переходного процесса (колебаний) занята система управления, которая имеет в своей структуре регулятор.

Существует несколько режимов стабилизации самолета по каналу тангажа:

1. Штурвальное управление

В этом режиме канал тангажа сглаживает колебания самолета во время полета вокруг поперечной оси, обеспечивая также, необходимые характеристики управления по тангажу при ручном управлении.

2. Стабилизация и управление

Канал тангажа стабилизирует угол тангажа, который был задан летчиком, а также обеспечивает управление продольным движением.

3. Стабилизация высоты

В данном режиме происходит поддержание заданной высоты полета каналом тангажа.

4. Стабилизация приборной скорости

Данный режим реализует стабилизацию приборной скорости путем отклонения руля высоты.

5. Стабилизация числа М

При включенном режиме происходит стабилизация числа М путем отклонения руля высоты.

6. Заход на посадку

Достаточно сложный и насыщенный условиями режим канала тангажа. Реализует возможность посадки самолета до высоты 30 метров в автоматическом режиме. При достижении высоты в 30 метров пилот отключает данный режим и берет управление в свои руки.

7. Уход на второй круг [7].

3.2 Принцип действия канала тангажа системы автоматического управления самолета

Угол тангажа ϑ – угол, сформированный продольной осью ЛА с горизонтальной плоскостью. Изменение угла тангажа определяет продольное движение самолета. Система управления углом тангажа самолета служит для поддержания заданной траектории движения в вертикальной плоскости. В этом случае возможно изменение заданного угла тангажа вручную с места пилота (оператора) или автоматически по сигналам, генерируемым системой управления траекторией.

Выходными координатами ЛА в продольном движении следует считать углы тангажа ϑ и наклона вектора скорости θ в вертикальной плоскости. Эти углы связаны с углом атаки $\alpha = \vartheta - \theta$.

При управлении углом тангажа происходит два движения: поворот продольной оси самолета вокруг поперечной оси и поворот вектора скорости центра масс в вертикальной плоскости. Поворот самолета вокруг поперечной оси осуществляется под действием продольных моментов, создаваемых рулем высоты, а поворот вектора скорости – под действием нормальных сил. При повороте продольной оси самолета на угол ϑ , изменяется угол атаки α , что приводит к изменению момента статической устойчивости самолета (момент статической устойчивости является частью аэродинамического момента, пропорционального углу атаки) и к изменению подъемной силы, что является причиной поворота вектора скорости.

Рассмотрим автоматическое управление углом тангажа, которое можно осуществить по схеме, представленной на рисунок 16. В качестве чувствительных элементов в этом канале используются гировертикаль и скоростной гироскоп. Сигналы датчиков, обратной связи и задатчика после суммирования в вычислителе поступают на усилитель и затем на рулевую машину, которая перемещает руль высоты.

Предположим, что обратная связь в автопилоте является жесткой, а сигнал скоростного гироскопа отсутствует, тогда закон управления можно представить в виде

$$\delta_v = k_\vartheta (\vartheta - \vartheta_z).$$

При появлении рассогласования $\vartheta - \vartheta_z$ происходит отклонение руля высоты на величину δ_v и создается продольный момент M_z , пропорциональный рассогласованию $\vartheta - \vartheta_z$, под действием которого продольная ось самолета будет поворачиваться в сторону уменьшения величины $\vartheta - \vartheta_z$. При повороте продольной оси самолета вектор скорости вначале не меняет своего направления, поэтому получает приращение угол атаки α . Возникающий при этом момент собственной устойчивости, совпадающий по знаку с моментом руля, стремится вернуть продольную ось самолета к положению $\vartheta - \vartheta_z$. При движении самолета под действием

моментов руля и собственной устойчивости возникает демпфирующий момент, пропорциональный угловой скорости $\dot{\vartheta}$ и направленный против движущих моментов.

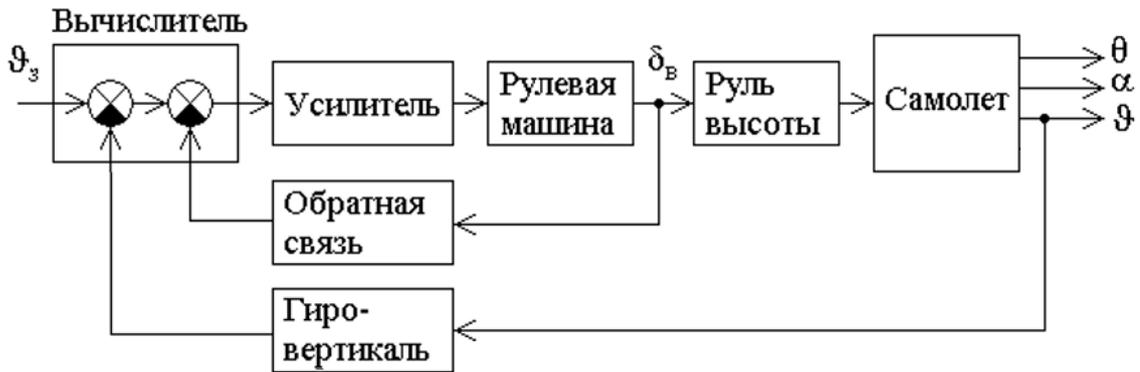


Рисунок 16 – Функциональная схема канала тангажа

Поскольку демпфирующий момент мал, то под действием движущих моментов ось самолета перейдет через положение равновесия и процесс регулирования будет колебательным.

Для улучшения процесса управления необходимо увеличить демпфирующий момент путем введения в закон управления сигнала, пропорционального угловой скорости тангажа $\dot{\vartheta} = p\vartheta$:

$$\delta_B = k_\vartheta (\vartheta - \vartheta_3) + k_{\dot{\vartheta}} p\vartheta$$

Автопилот с жесткой обратной связью имеет статическую ошибку по углу тангажа при действии возмущения. Для устранения статической ошибки применяют астатические автопилоты со скоростной (рисунок 17) или изодромной обратной связью. Если обратная связь является скоростной, то закон управления автопилота принимает вид

$$p\delta_B = k_\vartheta (\vartheta - \vartheta_3) + k_{\dot{\vartheta}} p\vartheta + k_{\ddot{\vartheta}} p^2\vartheta$$

где $\ddot{\vartheta} = p^2\vartheta$ – сигнал углового ускорения, который служит для создания демпфирующего момента.



Рисунок 17 – Функциональная схема канала тангажа со скоростной обратной связью

3.3 Требования к качеству переходных процессов

При расчете параметров канала тангажа автопилота в качестве заданных значений переходного процесса обычно принимают следующие значения:
 $t_{пер} = 3...5 \text{ с}$; $\sigma_{\vartheta} \leq 5\%$; $\Delta_{\vartheta} = \pm 5\%$.

Математическое описание самолета по углу тангажа

В случае короткопериодического движения самолета по углам атаки и тангажа при горизонтальном полете уравнения движения будут иметь вид:

$$\begin{aligned} (p + n_{22})\alpha - p\vartheta &= f_2; \\ (n_0 p + n_{32})\alpha + (p^2 + n_{33}p)\vartheta &= -n_B \delta_B + f_3, \end{aligned}$$

где $n_{22}, n_0, n_{32}, n_{33}, n_B$ – безразмерные коэффициенты, зависящие от конструкции самолета, f_2, f_3 – внешние возмущения, δ_B – отклонение руля высоты.

Из представленных выше уравнений путем преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях можно получить передаточную функцию самолета по углу тангажа ϑ при управлении рулем высоты δ_B :

$$H_{\vartheta\delta_B}(p) = \frac{\vartheta(p)}{\delta_B(p)} = \frac{-n_B(p + n_{22})}{(p^2 + 2d_0\omega_0 p + \omega_0^2)p},$$

где $\omega_0^2 = n_{32} + n_{22}n_{33}$; $2d_0\omega_0 = n_0 + n_{22} + n_{33}$.

4 Математическая модель

Рассмотрим статическую систему автоматического управления углом тангажа (рисунок 18), включающую контур управления угловой скоростью, контур управления углом тангажа и передаточную функцию электрической машины.

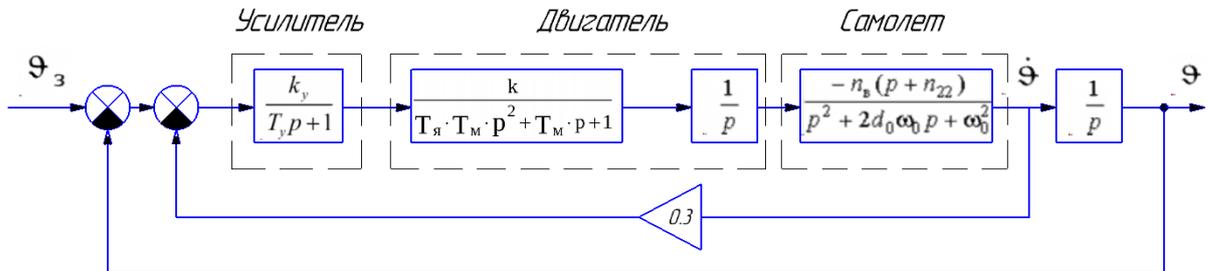


Рисунок 18 – Структурная схема статической САУ по углу тангажа

Для управления рулевой поверхностью – рулем высоты, используется электрическая машина постоянного тока с независимым возбуждением от постоянных магнитов. На рисунке 19 представлена характеристика передаточной функции ДПТ по напряжению обмотки якоря.

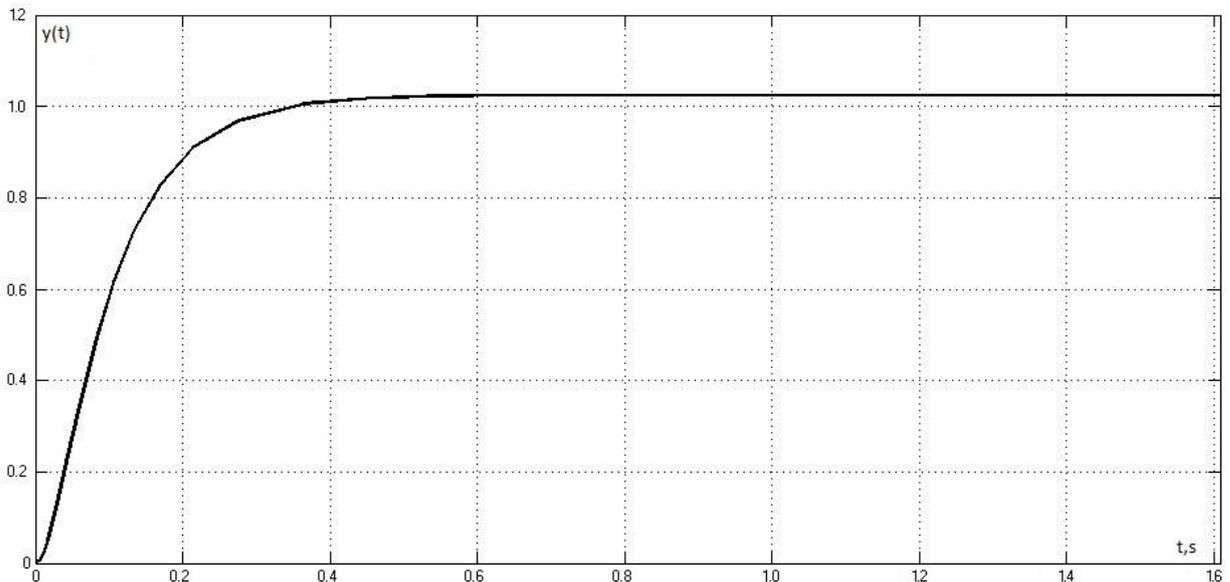


Рисунок 19 – Характеристика передаточной функции электрической машины

Для получения характеристики была найдена передаточная функция электрической машины. Был выбран двигатель серии 2233018S [8], со следующими данными $U_n = 24$ В, $I_n = 0,2$ А, $n_n = 4680$ об/мин $\tau_m = 0,011$ с – электромеханическая постоянная времени.

Найден конструктивный коэффициент выбранного двигателя:

$$K_{\delta} = \frac{n_n}{U_n - \alpha \cdot r_{\alpha} \cdot I_n} = \frac{4680}{24 - 1,2 \cdot 31,8 \cdot 0,2} = 1075,27$$

По известным данным в программной среде Matlab Simulink проведено моделирование передаточной функции электрической машины (рисунок 19):

$$W_{\delta}(p) = \frac{n(p)}{U_{\alpha}(p)} = \frac{K_{\delta}}{T_{\alpha} \cdot T_{\text{эм}} \cdot p^2 + T_{\text{эм}} \cdot p + 1} = \frac{1024,27}{0,000022s^2 + 0,011s + 1}$$

Затем было проведено моделирование системы управления каналом тангажа ЛА (рисунок 20). Полученная характеристика обладает большим перерегулированием около 30% и тем самым не удовлетворяет необходимым условиям. Для улучшения переходной характеристики ЛА в систему управления был введен ПД-регулятор (рисунок 21).

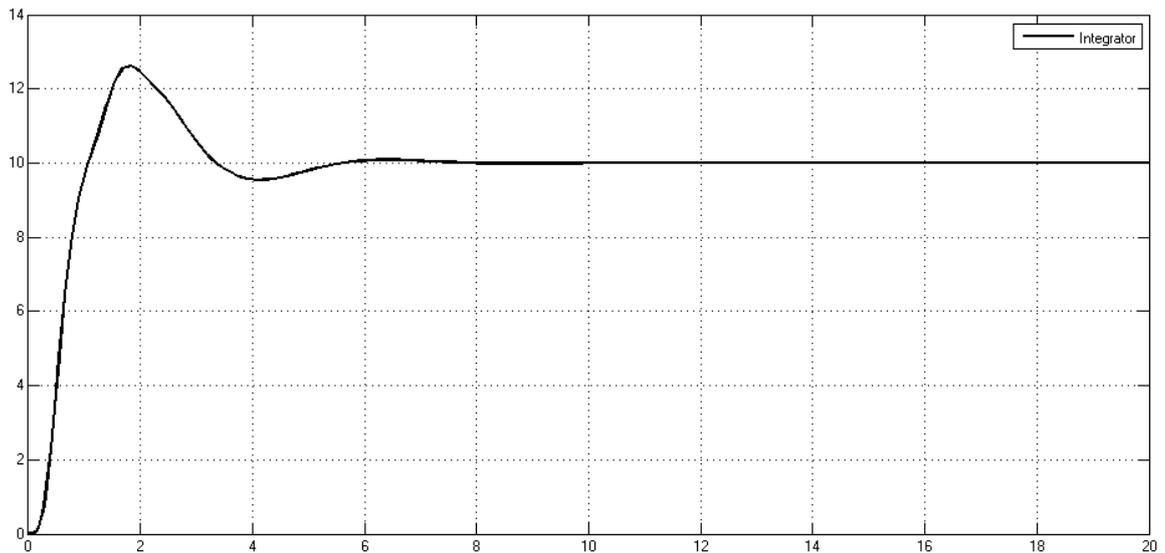


Рисунок 20 – Переходная характеристика ЛА без регулятора

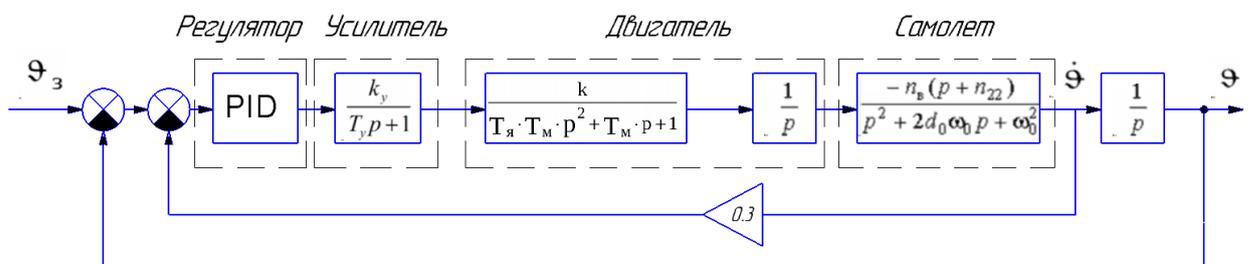


Рисунок 21 – Структурная схема с добавлением ПД-регулятора

Коэффициенты ПД-регулятора были подобраны таким образом, чтобы получить наиболее оптимальную переходную характеристику.

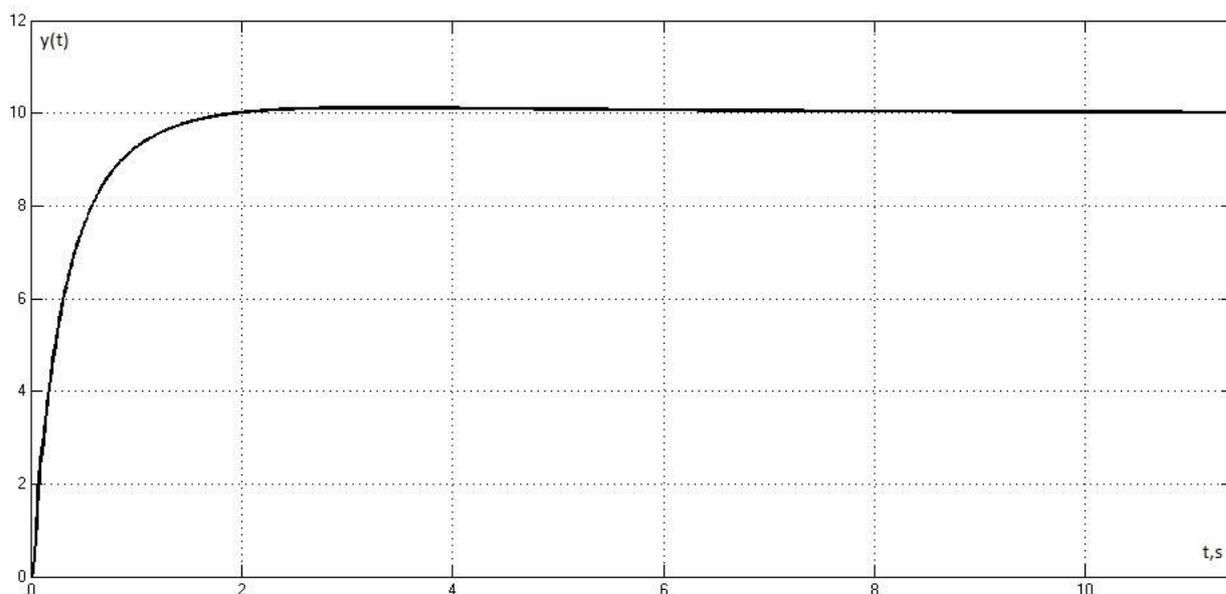


Рисунок 22 – Переходная характеристика ЛА с добавлением ПД-регулятора

Полученная характеристика (рисунок 22) имеет небольшое перерегулирование и меньшее время переходного процесса, в отличие от характеристики ЛА без использования регулятора.

5 Социальная ответственность

5.1 Введение

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания на производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

5.2 Анализ вредных факторов

Выполнение выпускной квалификационной работы на персональном компьютере в закрытом помещении носит некоторые вредные факторы, такие как плохое влияние экрана компьютера на зрение, плохая вентилируемость помещений, недостаточное освещение. Вибрации и шум, издаваемые принтером, так же могут оказывать вредное воздействие на человека. Для снижения воздействия шума, можно применять различные ограждения из звукопоглощающих материалов.

Недостаток естественного света так же является вредным фактором при работе в условиях недостаточной освещённости, связанным с временем суток и погодными условиями. Пониженная контрастность в совокупности с низкой освещенностью становятся опасными для зрительных органов работника.

Вредное влияние, оказываемое монитором компьютера на зрение человека можно уменьшить регулярным отдыхом и разминкой глаз, а так же выдерживая необходимое расстояние от монитора.

5.2.1 Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Непосредственное воздействие шума на организм может выражаться учащением пульса, дыхания, повышением артериального давления, изменением двигательной и секреторной функции желудка и других органов. Отражение на нервной системе может заключаться в головной боли, бессоннице, ослаблении внимания, замедлении психических реакций, что в конечном счете приводит к снижению работоспособности.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 1.

Таблица 1

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ								
Лаборатория									

5.2.2 Вибрация

Вибрация выступает одним из наиболее опасных для человеческого организма производственных факторов. Под вибрацией имеется в виду колебание твёрдых тел.

Негативное влияние вибрации на организм человека выражается во влиянии ее на работу центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека. Продолжительное воздействие вибрации на человека развивает такое профессиональное заболевание, как

виброболь, проявляющаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. Совпадение частоты вибрации и внутреннего органа приведёт к резонансному явлению, в результате чего начнётся процесс разрушения.

Санитарные нормы вибрации для помещений учебных заведений, КБ, лабораторий и пр. представлены в таблице 2.

Таблица 2

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_0 , Y_0 , Z_0			
	виброускорения		виброскорости	
	$m/s^2 \cdot 10^{-3}$	дБ	$m/s \cdot 10^{-3}$	дБ
2	10,0	80	0,79	84
4	11,0	81	0,45	79
8	14,0	83	0,28	75

Продолжение таблицы 2

16	28,0	89	0,28	75
31,5	56,0	95	0,28	75
63	110,0	101	0,28	75
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	10	80	0,28	75

5.2.3 Недостаток естественного света

Отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия и зрения, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;
- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливают рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности (КЕО), который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

В таблице 3 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 3 – Нормируемые значения КЕО

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированно м	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

В данном случае, характеристика выполняемой зрительной работы несет средний характер точности, который имеет IV разряд зрительной работы и имеет значение коэффициента естественного освещения при боковом освещении $KEO = 1,5 \%$.

5.2.4 Микроклимат

Микроклимат производственных помещений – это комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. Поддержание микроклимата рабочего места в пределах гигиенических норм – важнейшая задача охраны труда.

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 4.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла выделяемого в помещении и периода года.

5.3. Анализ опасных факторов

Проведем анализ опасных факторов в вышеописанном процессе моделирования и анализа динамических свойств систему автоматического управления каналом тангажа. Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [10 - 13].

Следующей опасностью может выступать возможность возникновения пожара, в следствии короткого замыкания электроприборов и пр.

5.3.1 Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории рабочего места по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения в лаборатории перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая территория имеет характеристики, свойственные помещениям без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность:

- сырость;
- токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, железо-бетонные, кирпичные и т. п.);
- высокая температура;
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты:

- изоляция проводов и её непрерывный контроль;
- предупредительная сигнализация и блокировка;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели

напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

5.3.2 Загорание (пожар)

Пожары - неконтролируемый процесс горения, которые чреваты большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемая лаборатория относится к классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов): электроизоляция, бумага, мебель. Т.е. технологический процесс в лаборатории исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Лаборатория имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Лаборатория оснащена такой системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний.

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [6] на 800 м² защищаемой площади

рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

5.4 Защита окружающей среды

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [15]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с

Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [16]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из не адсорбирующего ртуть материала (винипласта).

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость такого вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

5.5 Предотвращение ЧС и устранение их последствий

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте: возникновение пожара и электропоражение.

5.5.1 Пожар (загорание) – как источник ЧС

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [5], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

5.5.2 Электропоражение как источник ЧС

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [17] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [17] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель проекта: проектирование и анализ динамических свойств канала тангажа малого летательного аппарата с электрическим приводным микродвигателем.

Задачи проекта:

- Проектирование канала тангажа малого летательного аппарата;
- Построение имитационной модели канала тангажа в программной среде Matlab Simulink;
- Анализ динамических свойств модели и выбор управляющего микродвигателя.

В данном разделе дипломной работы рассмотрены вопросы финансового менеджмента. Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательских работ проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию.

6.1 Планирование работ и оценка времени выполнения

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- Определение структуры работ в рамках технического задания;
- Определение участников каждой работы;
- Установление продолжительности работ;
- Построение графика проведения работ.

Этапы проектирования и соответствующие виды выполняемых работ представлены в таблице 5.

Таблица 5 – План разработки выполнения этапов проекта.

№ Работ	Наименование работ	Исполнители	Кол. дней
1	Разработка технического задания	Руководитель	1
	Определение объёма работ	Инженер	1
2	Подбор литературы	Руководитель	1
3	Подготовка оборудования	Руководитель	1
		Инженер	1
4	Поиск необходимой информации и литературы	Инженер	8
5	Обзор теории	Инженер	5
6	Написание теоретической части	Инженер	5
7	Моделирование канала тангажа и его анализ	Инженер	8
8	Оформление отчета	Инженер	7
9	Проверка модели и отчета	Руководитель	1
		Инженер	1
10	Итого	Руководитель	4
		Инженер	36

6.2. Смета затрат на проектирование

При составлении сметы должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Суммарные затраты на проектирование определяем по выражению:

$$\Sigma K_{\text{проекта}} = K_{\text{з.пл}} + K_{\text{соц}} + K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{з.пл}}$ – затраты на заработную плату;

$K_{\text{соц}}$ – затраты на социальные отчисления;

$K_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$K_{ам}$ – амортизационные затраты;

$K_{пр}$ – прочие затраты;

$K_{накл}$ – накладные расходы.

6.2.1. Материальные затраты

Принимаем величину материальных затрат в размере 1000 руб на канцелярские товары.

6.2.2. Амортизация вычислительной техники

При выполнении проекта использовался персональный компьютер. Амортизация вычисляется по следующей формуле:

$$K_{ам} = \frac{T_{и}}{T_{кал}} \cdot \Phi_{кт} \cdot N_{ф} \quad (2)$$

где $T_{и}$ – количество отработанных дней на ПК (36 дня);

$T_{кал}$ – количество календарных дней в году (365 дней);

$\Phi_{кт}$ – первоначальная стоимость ПК (25 тыс. руб.);

$N_{ф} = 1/T_{сл}$ – срок полной амортизации (5 лет).

Произведём расчёт амортизации стоимости ПК:

$$K_{ам} = \frac{36}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 493 \text{ руб.}$$

6.2.3. Основная заработная плата исполнителей

Во время планирования бюджета выпускной квалификационной работы необходимо полное достоверное отражение всех статей расходов, связанных с ее выполнением.

Зарплата инженера в месяц:

$$ЗП_{инж} = ЗП_о \cdot k_1 \cdot k_p \quad (3)$$

где $ЗП_о$ – месячный оклад исполнителей (для научного руководителя (профессор) – 30000 руб, для инженера – 17000 руб.);

$k_1 = 1,1$ – коэффициент, учитывающий неотработанное время (отпуск);

$k_p = 1,3$ – районный коэффициент (Томск).

$$ЗП_{инж} = 17000 \cdot 1.1 \cdot 1.3 = 24310 \text{ руб.}$$

Зарплата руководителя в месяц:

$$ЗП_{рук} = 30000 \cdot 1.1 \cdot 1.3 = 42900 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата:

$$ЗП_{ф} = \frac{ЗП_{м}}{21} \cdot n_{ф} \quad (4)$$

где $ЗП_{м}$ – месячная зарплата исполнителя;

$n_{ф}$ - фактическое количество дней, потраченных на разработку проекта.

Фактическая заработная плата для руководителя:

$$ЗП_{ф} = \frac{42900}{21} \cdot 4 = 8171.4 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата для инженера:

$$ЗП_{ф} = \frac{24310}{21} \cdot 36 = 41674 \text{ руб.}$$

Общие затраты на заработную плату:

$$К_{з.пл.} = 8171,4 + 41674 = 49845,4 \text{ руб.}$$

6.2.4. Затраты на социальные нужды

В статью расходов «отчисления на социальные нужды» закладывается обязательные отчисления по установленным законодательством нормам. Органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования, от элемента «затраты на оплату труда». Размер отчислений на социальные нужды составляет 30% от фонда заработной платы.

Затраты на социальные нужды рассчитываются по формуле:

$$К_{соц} = 0.3 \cdot К_{з.пл.} \quad (5)$$

$$К_{соц} = 0.3 \cdot 49845,4 = 14953,6 \text{ руб.}$$

6.2.5. Прочие затраты

Прочие неучтенные прямые затраты включают в себя все расходы, связанные с налоговыми сборами (не предусмотренными в предыдущих статьях), отчисления внебюджетные фонды, платежи по страхованию, оплата услуг связи, представительские расходы, затраты на ремонт и прочее. Принимаем размер прочих затрат как 10% от суммы расходов на материальные затраты, услуги сторонних организаций, амортизации оборудования, затрат на оплату труда, отчисления на социальные нужды.

Прочие затраты рассчитываются по формуле:

$$K_{\text{пр}} = 0.1 \cdot (K_{\text{з.пл.}} + K_{\text{соц}} + K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}}) \quad (6)$$

$$K_{\text{пр}} = 0.1 \cdot (49845,4 + 14953,6 + 1000 + 493) = 6629,2 \text{ руб.}$$

6.2.6. Накладные расходы

Накладные расходы составят 200% от фонда заработной платы. Они включают в себя затраты на хозяйственное обслуживание помещения, обеспечение нормальных условий труда, оплату за энергоносители и другие косвенные затраты.

Накладные расходы рассчитываются по формуле:

$$K_{\text{накл}} = 2 \cdot K_{\text{з.пл}} \quad (7)$$

$$K_{\text{накл}} = 2 \cdot 49845,4 = 99690,8 \text{ руб.}$$

Тогда полная себестоимость проекта составит:

$$\sum K_{\text{проекта}} = 49845,4 + 14953,6 + 1000 + 493 + 6629,2 + 99690,8 = 172612 \text{ руб.}$$

На основании рассчитанных затрат выпускной квалификационной работы составим таблицу 6.

Таблица 6 – Смета затрат на проект

Наименование затрат	Сумма, руб
Материальные затраты	1000
Амортизация вычислительной техники	493

Продолжение таблицы 6

Наименование затрат	Сумма, руб
Основная заработная плата исполнителей	49845,4
Затраты на социальные нужды	14953,6
Прочие расходы	6629,2
Накладные расходы	99690,8
Итого	172612

В результате проведения расчетов в финансовой части работы было выявлено, что итоговая сумма необходимых на проект затрат составила 172 612 рублей.

Заключение

Использование систем управления без регуляторов в канале тангажа не позволяет достичь оптимального быстродействия системы, вносит большое перерегулирование. Применение ПД-регулятора в приведенном канале тангажа позволило сократить время переходного процесса на 2 секунды, так же, при детальном рассмотрении полученной характеристики, было достигнуто уменьшение перерегулирования до 1,5%.

Благодаря применению регуляторов в системе управления значительно повышается быстродействие ЛА, а в значительно большей степени колебания переходных процессов, которые негативно сказываются на аппарате в целом.

В финансовом разделе данной работы была посчитана полная сумма затрат необходимых для выполнения работы, определены статьи расходов.

В разделе социальной ответственности были определены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при проектировании канала тангажа. Установлены нормы шума и вибрации на рабочем месте. Даны указания по уменьшению влияния вредных факторов на работника и предотвращения возникновения ЧС во время разработки.

Список используемой литературы (по теме ВКР)

1. Энциклопедия "Авиация". — М.: Научное издательство "Большая Российская Энциклопедия", 1994. — 736 с.
2. Алимов А. М., Конспект лекций по курсу "Конструкция летательных аппаратов". – ТГТУ, 2000
3. Савинский Ю. Э. Камов. Творческая биография конструктора вертолётов — М.: «Полигон-пресс», 2002
4. Российские и зарубежные беспилотники (БПЛА) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://militaryarms.ru>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 17.05.2018).
5. Системы энергооборудования летательных аппаратов: учеб. пособие / С.В. Дунаев, Ю.В. Дьяченко, А.С. Захаров, В.И. Сабельников; Под ред. А.С. Захарова. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. - 347 с.
6. Функциональные системы летательных аппаратов. Электрическое и электронное оборудование: учебное пособие / А.Г. Гарганеев, Л.К. Бурулько, В.П. Петрович, А.П. Леонов ; Томский политехнический университет. – Томск Ж Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 240с.
7. САУ-154-2. Автоматическая бортовая система управления АБСУ-154-2. Руководство по технической эксплуатации, Часть 2. – 1984г. – 434с.
8. Преобразующие устройства приборов. Т.1. Электродвигатели.-К. / Степанковский Ю.В.: «Корнийчук», 2002. – 204 с., ил.
9. ГОСТ 12.0.003-74* ССБТ « Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
- 10.ГОСТ 12.1.005-88 « Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны »
11. ГОСТ 12.1.003-83 « Шум. Общие требования безопасности »
12. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.

13. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ « Пожарная безопасность. Общие требования »
14. СП 9.13130.2009 « Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации »
15. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
16. СНиП 23-03-2003. « Защита от шума »
17. СНиП 41-01-2003. « Отопление, вентиляция и кондиционирование »
18. ГОСТ 12.1.019 -2009 ССБТ. « Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты »
19. ГОСТ 12.0.004–2015 ССБТ. « Организация обучения безопасности труда. Общие положения »
20. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. « Защитное заземление, зануление »
21. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. « Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов »
22. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. « Вибрационная безопасность. Общие требования »
23. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных »
24. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 « Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств »
25. ГОСТ Р 50571.3-2009 « Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током ».