

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ДонГТУ»)

Факультет информационных технологий и автоматизации
производственных процессов

Кафедра электромеханики им. А. Б. Зеленова



УТВЕРЖДАЮ

И. о. проректора по
учебной работе

Д. В. Мулов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование электромеханических систем и беспилотной техники
(наименование дисциплины)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код, наименование направления)

Электрические машины и аппараты. Беспилотная техника
(профиль подготовки)

Квалификация бакалавр
(бакалавр/специалист/магистр)

Форма обучения очная, заочная
(очная, очно-заочная, заочная)

Алчевск, 2024

1 Цели и задачи изучения дисциплины

Цель дисциплины: формирование навыков использования методов математического моделирования для описания основных электромеханических объектов и систем, а также использования пакетов прикладных математических программ для решения научных и инженерных задач, формирование основных научно-практических, общесистемных знаний в области моделирования электромеханических систем.

Задачи изучения дисциплины: формирование базы знаний в области разработки моделей электромеханических систем, создание условий, обеспечивающих овладение студентами навыками, умениями и приобретение ими опыта при создании и анализе математических моделей систем, изучение вопросов применения различных способов и средств моделирования электротехнических комплексов и систем.

Дисциплина направлена на формирование компетенций ОПК-3, ОПК-4, ПК-1 выпускника.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Логико-структурный анализ дисциплины: курс входит в БЛОК 1 «Дисциплины (модули)», часть блока «Элективные дисциплины (модули)» подготовки студентов по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (профиль «Электрические машины и аппараты. Беспилотная техника»).

Дисциплина основывается на базе дисциплин: «Информатика», «Высшая математика», «Теоретические основы электротехники».

Является основой для изучения следующих дисциплин: «Научно-исследовательская работа», выпускная квалификационная работа.

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у студента для решения профессиональных задач деятельности, связанных с применением вычислительной техники и программного обеспечения в различных сферах деятельности.

Курс является фундаментом для формирования навыков и умений по моделированию электромеханических систем.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 ак. ч. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (66 ак.ч. для групп ЭМАБП, 28 ак.ч. для группы ЭМАБП-з), лабораторные занятия (66 ак.ч. для групп ЭМАБП, 22 ак.ч. для группы ЭМАБП-з) и самостоятельная работа студента (120 ак.ч. для групп ЭМАБП, 212 ак.ч. для группы ЭМАБП-з).

Дисциплина изучается на 4 курсе в 7 и 8 семестрах для группы ЭМАБП и на 5 курсе в 9 и 10 семестрах для группы ЭМАБП-з. Форма промежуточной аттестации – зачет в 7 семестре и экзамен в 8 семестре ЭМАБП, зачет в 9 семестре и экзамен в 10 семестре для группы ЭМАБП-з.

3 Перечень результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Процесс изучения дисциплины «Моделирование электромеханических систем и беспилотной техники» направлен на формирование компетенций, представленных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Компетенции, обязательные к освоению

Содержание компетенции	Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3	ОПК-3.1. Понимает важность применения фундаментальных законов природы и основных физических и математических законов. ОПК-3.4 Владеет навыками применения законов физики и математики при решении конкретных задач инженерной деятельности.
Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин	ОПК-4	ОПК-4.2. Умеет применять метод анализа, моделирования электрических цепей постоянного и переменного тока, режимов работы трансформаторов, электрических машин.
Способен: – использовать методы анализа, расчета и моделирования электромеханических преобразователей энергии, электромеханических систем и их элементов; – проектировать электромеханические и электромагнитные преобразователи энергии, электромеханические системы и их элементы в соответствии с техническим заданием, стандартами и нормативными требованиями, в том числе с использованием современных средств проектирования; – участвовать в проектировании объектов профессиональной деятельности, их энергообеспечении, в проектировании элементов систем управления; – применять методы автоматического управления при разработке электромеханических систем	ПК-1	ПК-1.3. Рассчитывает и моделирует электромеханические системы и их элементы на базе стандартных пакетов прикладных программ. Подготавливает разделы проектной документации на основе типовых технических решений, оформляет результаты проектных работ в соответствии с техническим заданием, стандартами, техническими условиями и другим нормативным документами

4 Объём и виды занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 7 зачётных единиц, 252 ак.ч.

Самостоятельная работа студента (СРС) включает проработку материалов лекций, подготовку к лабораторным работам, текущему контролю, самостоятельное изучение материала и подготовку к экзамену.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине используются формы и распределение бюджета времени на СРС для очной формы обучения в соответствии с таблицей 4.1.

Таблица 4.1 – Распределение бюджета времени на СРС

Вид учебной работы	Всего ак. ч.	Ак.ч. по семестрам	
		7	8
Аудиторная работа, в том числе:	132	36	96
Лекции (Л)	66	18	48
Практические занятия (ПЗ)	–	–	–
Лабораторные работы (ЛР)	66	18	48
Курсовая работа/курсовой проект	–	–	–
Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:	84	36	84
Подготовка к лекциям	33	9	24
Подготовка к лабораторным работам	66	18	48
Подготовка к практическим занятиям / семинарам	0	0	0
Выполнение курсовой работы / проекта	0	0	0
Расчетно-графическая работа (РГР)	0	0	0
Реферат (индивидуальное задание)	0	0	0
Домашнее задание	0	0	0
Подготовка к контрольной работе	0	0	0
Подготовка к коллоквиумам	11	5	6
Аналитический информационный поиск	0	0	0
Работа в библиотеке	0	0	0
Подготовка к зачету / экзамену	10	4	6
Промежуточная аттестация – зачет (З), экзамен (Э)		3	Э
Общая трудоёмкость дисциплины			
Ак. ч.	252	72	180
З. е.	7	2	5

5 Содержание дисциплины

С целью освоения компетенций, приведенных в п. 3 дисциплина разбита на 5 тем:

- тема 1 (Основные понятия, определения, возможности и виды моделирования электромеханических систем. Классификация математических моделей);
- тема 2 (Схемотехническое моделирование);
- тема 3 (Математическое описание квадрокоптера);
- тема 4 (Математическое моделирование машин постоянного и переменного тока);
- тема 5 (Математическое моделирование систем управления пространственными координатами квадрокоптера).

Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов для очной и заочной формы приведены в таблицах 5.1 – 5.4 соответственно.

Таблица 5.1 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очная форма обучения, 7 семестр)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы лабораторных занятий	Трудоемкость в ак. ч.
1	Основные понятия, определения, возможности и виды моделирования электромеханических систем	Основные понятия, определения, возможности и виды моделирования электромеханических систем. Общие сведения о моделировании технических объектов и систем. Классификация математических моделей. Формы представления математических моделей. Взаимосвязь векторно-матричной формы описания объекта с его передаточной функцией Понятие о численном интегрировании дифференциальных уравнений.	6	–	–	Пакет MATLAB. Состав пакета. Интерфейс Построение графиков. Работа с векторами и матрицами Создание моделей в среде Simulink	10
2	Схемотехническое моделирование	Подходы в схемотехническом моделировании. Связь структурной и схемотехнической частей модели. Особенности формирования начальных условий модели	4	–	–	Исследование переходных процессов в линейных динамических цепях с использованием MATLAB/SimPowerSystem	2
3	Математическое описание квадрокоптера как тела в пространстве	Основные термины и понятия при описании тела в пространстве. Математическое описание квадрокоптера как тела в пространстве. Описание винтомоторной группы	8	–	–	Структурное моделирование динамики квадрокоптера. Моделирование винтомоторной группы	6
Всего аудиторных часов			18	–	–	–	18

Таблица 5.2 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очная форма обучения, 8 семестр)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы лабораторных занятий	Трудоемкость в ак. ч.
4	Математическое моделирование машин постоянного и переменного тока	Математическое описание ДПТ с независимым возбуждением, ДПТ с последовательным возбуждением, асинхронного двигателя, синхронной машины с постоянными магнитами	20	–	–	Исследование динамики ДПТ с НВ. Исследование динамики ДПТ с ПВ. Моделирование асинхронной машины. Моделирование синхронной машины с постоянными магнитами.	20
5	Математическое моделирование систем управления пространственными координатами квадрокоптера	Системы стабилизации углами крена, тангажа, рысканья. Система стабилизации скорости. Система стабилизации высоты. Оптимизация, технические средства реализации систем.	28	–	–	Моделирование систем стабилизации углов крена, тангажа, рысканья. Моделирование системы стабилизации скорости. Моделирование системы стабилизации высоты	28
Всего аудиторных часов			48	–	–	–	48

Таблица 5.3 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (заочная форма обучения, 9 семестр)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы лабораторных занятий	Трудоемкость в ак. ч.
1	Основные понятия, определения, возможности и виды моделирования электромеханических систем	Классификация математических моделей. Формы представления математических моделей. Понятие о численном интегрировании дифференциальных уравнений.	2	–	–	Пакет MATLAB. Работа с векторами и матрицами Создание моделей в среде Simulink	3
3	Математическое описание квадрокоптера	Математическое описание квадрокоптера как тела в пространстве. Описание винтомоторной группы	2	–	–	Структурное моделирование динамики квадрокоптера. Моделирование винтомоторной группы	3
Всего аудиторных часов			4	–	–	–	6

Таблица 5.4 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (заочная форма обучения, 10 семестр)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак. ч.	Темы лабораторных занятий	Трудоемкость в ак. ч.
4	Математическое моделирование машин постоянного и переменного тока	Математическое описание ДПТ с независимым возбуждением, синхронной машины с постоянными магнитами	6	–	–	Исследование динамики ДПТ с НВ. Моделирование синхронной машины с постоянными магнитами	4
5	Математическое моделирование систем управления пространственными координатами квадрокоптера	Системы стабилизации углами крена, тангажа, рысканья. Система стабилизации скорости. Система стабилизации высоты. Оптимизация, технические средства реализации систем.	8	–	–	Моделирование систем стабилизации углов крена, тангажа, рысканья. Моделирование системы стабилизации скорости.	12
Всего аудиторных часов			14	–	–	–	16

6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

6.1 Критерии оценивания

В соответствии с Положением о кредитно-модульной системе организации образовательного процесса ФГБОУ ВО «ДонГТУ» при оценивании сформированности компетенций по дисциплине используется 100-балльная шкала

(https://www.dstu.education/images/structure/license_certificate/polog_kred_modul.pdf).

Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний

Код и наименование компетенции	Способ оценивания	Оценочное средство
ОПК-1, ОПК-4, ПК-1	Зачет	Комплект контролирующих материалов для зачета
ОПК-1, ОПК-4, ПК-1	Экзамен	Комплект контролирующих материалов для экзамена

Всего по текущей работе в семестре студент может набрать 100 баллов, в том числе:

- тестовый контроль или устный опрос на коллоквиумах (1 коллоквиум) – всего 40 баллов;
- лабораторные работы – всего 60 баллов.

Экзамен (зачет) проставляется автоматически, если студент набрал в течении семестра не менее 60 баллов и отчитался за каждую контрольную точку. Минимальное количество баллов по каждому из видов текущей работы составляет 60% от максимального.

Экзамен (зачет) по дисциплине «Моделирование электромеханических систем» проводятся по результатам работы в семестре. В случае, если полученная в семестре сумма баллов не устраивает студента, во время сессии студент имеет право повысить итоговую оценку либо в форме устного собеседования по приведенным ниже вопросам (п. 6.4), либо в результате тестирования.

Шкала оценивания знаний при проведении промежуточной аттестации приведена в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Шкала оценивания знаний

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	Оценка по национальной шкале зачёт/экзамен
0-59	Не зачтено/неудовлетворительно
60-73	Зачтено/удовлетворительно
74-89	Зачтено/хорошо
90-100	Зачтено/отлично

6.2 Домашние задания

Для студентов очной формы обучения домашние задания не предусмотрены. Студенты заочной формы обучения в каждом семестре выполняют контрольную работу по имеющимся методическим указаниям.

6.3 Темы рефератов

Написание рефератов при изучении дисциплины не предусмотрено.

6.4 Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

Тема 1 Основные понятия, определения, возможности и виды моделирования электромеханических систем. Классификация математических моделей

- 1) Каковы особенности воспроизведения различных процессов с использованием компьютерных программ для имитации и визуализации динамических систем?
- 2) Каковы особенности имитационного моделирования?
- 3) Как определяется эффективность функционирования объекта?
- 4) Как осуществляется формализация объекта?
- 5) Каковы особенности проектирования реальных процессов с использованием специализированных компьютерных программ?
- 6) Какие основные критерии используются для классификации математических моделей?
- 7) В каких формах могут быть представлены математические модели?
- 8) Как взаимосвязаны векторно-матричная форма описания объекта и его передаточная функция?
- 9) Какие преимущества и недостатки имеет векторно-матричная форма

представления математических моделей?

10) Как передаточная функция объекта может быть получена из его векторно-матричного описания?

Тема 2 Схемотехническое моделирование

11) Как в SimPower собрать схему RLC-цепи и провести анализ её переходных процессов?

2) Какие блоки SimPower лучше использовать для моделирования нелинейных элементов (например, конденсаторов с зависимостью ёмкости от напряжения)?

3) Как правильно задать начальные условия для тока в катушке индуктивности (L) и напряжения на конденсаторе (C) в SimPower?

4) Какие численные методы рекомендуется применять для расчёта переходных процессов в SimPower и как их выбрать?

5) Как моделировать переходные процессы в цепях с коммутациями (например, включение источника на RL-цепь)?

6) Как смоделировать датчик тока или напряжения в SimPower и подать его сигнал на систему управления?

7) Как работает блок *Ideal Switch* (идеальный ключ) в SimPower и какие параметры (сопротивление в открытом/закрытом состоянии, пороги переключения) нужно задавать?

8) Как смоделировать источник тока или напряжения в SimPower и подать его сигнал на систему управления?

9) Как задать начальные условия для тока в индуктивности и напряжения на ёмкости?

10) Как влияет шаг моделирования на точность расчёта переходных процессов в цепях с быстрыми коммутациями?

Тема 3 Математическое описание квадрокоптера

1) Какие системы координат используются для описания движения квадрокоптера в пространстве? Как связаны между собой инерциальная и связанная системы координат?

2) Какие углы Эйлера (тангаж, крен, рыскание) используются для описания ориентации квадрокоптера? Запишите матрицу поворота между связанной и инерциальной системами координат.

3) Выведите уравнения движения квадрокоптера в инерциальной системе координат с учётом сил тяги и моментов, создаваемых винтами.

4) Как записывается уравнение динамики вращательного движения

квадрокоптера через элементы тензор инерции? Какие внешние моменты учитываются?

5) Как связана угловая скорость квадрокоптера в связанной системе координат с производными углов Эйлера? Запишите соответствующие кинематические уравнения.

6) Какие факторы влияют на изменение компонент тензора инерции квадрокоптера в полёте? Можно ли считать его постоянным?

7) Как математически описывается зависимость тяги и момента винта от скорости его вращения? Приведите упрощённую квадратичную модель.

8) Как распределены силы и моменты от каждого винта в стандартной конфигурации квадрокоптера (крест или X)?

9) Чем отличается реактивный момент винта от момента сопротивления вращению? Как они учитываются в уравнениях динамики?

10) Как формируется суммарная тяга и управляющие моменты квадрокоптера на основе индивидуальных тяг винтов?

11) Какие физические ограничения накладываются на углы Эйлера при управлении квадрокоптером? Почему при больших углах крена или тангажа модель становится нелинейной?

12) Как можно линеаризовать уравнения движения квадрокоптера вблизи режима висения?

13) Какие аэродинамические эффекты (например, эффект "воздушной подушки" или вихревое кольцо) могут влиять на динамику квадрокоптера и как их можно учесть в модели?

14) Как учитываются гироскопические моменты, возникающие из-за вращения роторов двигателей?

15) Какие параметры винтомоторной группы (диаметр винта, шаг, коэффициент тяги) наиболее критичны для математического моделирования квадрокоптера?

Тема 4 Математическое моделирование машин постоянного и переменного тока

1) Какие основные уравнения электрического и механического баланса описывают ДПТ с независимым возбуждением?

2) Как записывается уравнение напряжения якорной цепи ДПТ с независимым возбуждением?

3) Как выражается электромагнитный момент ДПТ с независимым возбуждением через ток якоря?

4) Какие параметры входят в передаточную функцию ДПТ с независи-

мым возбуждением при управлении по напряжению якоря?

5) Как выглядит структурная схема ДПТ с независимым возбуждением в пространстве состояний?

6) Чем отличаются уравнения напряжения для ДПТ с последовательным возбуждением от ДПТ с независимым возбуждением?

7) Как выражается электромагнитный момент ДПТ с последовательным возбуждением через ток якоря?

8) Почему механическая характеристика ДПТ с последовательным возбуждением имеет гиперболический вид?

9) Как можно линеаризовать модель ДПТ с последовательным возбуждением для малых отклонений?

10) Какие особенности структурного моделирования ДПТ с последовательным возбуждением по сравнению с независимым?

11) Как выбор системы координат (стационарной, связанной с потоком ротора, синхронно вращающейся) влияет на вид уравнений АД?

12) Как записывается модель асинхронного двигателя в векторной форме (уравнения Парка-Горева)?

13) Как выглядит структурная схема асинхронного двигателя в системе координат, вращающейся с синхронной скоростью?

14) Какие упрощения применяются при моделировании АД для частотного управления?

15) Как выражается электромагнитный момент АД через потокосцепления и токи статора/ротора?

16) Какие уравнения описывают синхронный двигатель с явнополюсным ротором в осях d-q?

17) Как записывается выражение электромагнитного момента СД с учетом явнополюсности?

18) Какие особенности имеет структурная схема синхронного двигателя при векторном управлении?

19) Как учитывается демпферная обмотка в математической модели синхронного двигателя?

20) Чем отличается модель синхронного двигателя с постоянными магнитами от модели с обмоткой возбуждения?

Тема 5 Математическое моделирование систем управления пространственными координатами квадрокоптера

1. Какие основные системы координат используются при моделировании движения квадрокоптера?
2. Как преобразуются координаты между инерциальной и связанной системами координат квадрокоптера?
3. Какие упрощающие допущения обычно применяются при моделировании динамики квадрокоптера?
4. Как записываются кинематические уравнения Эйлера для углового движения квадрокоптера?
5. Какие физические факторы влияют на динамику крена и тангажа квадрокоптера?
6. Как выглядит модель вращательного движения квадрокоптера в связанной системе координат?
7. Какие методы управления (ПИД, LQR, backstepping) применяются для стабилизации углов Эйлера?
8. Как учитывается гироскопический эффект от вращения винтов в уравнениях углового движения?
9. В чем особенность управления рысканием по сравнению с креном и тангажом?
10. Как можно линеаризовать нелинейную модель углового движения квадрокоптера?
11. Как связаны углы Эйлера с поступательным движением квадрокоптера?
12. Какие силы действуют на квадрокоптер в горизонтальном полете?
13. Как записываются уравнения Ньютона-Эйлера для поступательного движения?
14. Какие методы управления используются для регулирования скорости квадрокоптера?
15. Как реализуется управление позицией по оси X и Y с помощью углов крена и тангажа?
16. Как учитываются аэродинамические эффекты (сопротивление воздуха, порывы ветра) в модели управления скоростью?
17. Какие силы влияют на вертикальное движение квадрокоптера?
18. Как записывается динамическая модель изменения высоты?
19. Какие методы управления (ПИД, адаптивное управление) применяются для стабилизации высоты?

20. Как учитывается влияние земли (эффект воздушной подушки) при посадке квадрокоптера?
21. Как строится каскадная система управления квадрокоптером (внутренний контур – углы, внешний – позиция)?
22. Какие методы используются для согласованного управления углами и скоростями?
23. Как реализуется трекинг заданной траектории с учетом пространственных координат?
24. Какие критерии устойчивости применяются для анализа системы управления квадрокоптером?
25. Как можно оптимизировать параметры регуляторов (например, коэффициенты ПИД) для улучшения динамики системы?
26. Какие методы робастного управления применяются для компенсации внешних возмущений?
27. Как производится идентификация параметров квадрокоптера (инерции, тяги) для моделирования?
28. Какие программные инструменты (MATLAB/Simulink, ROS, Gazebo) используются для моделирования управления квадрокоптером?
29. Как учитываются ограничения двигателей (максимальные обороты, инерционность) в модели управления?
30. Какие современные подходы (нейросетевые регуляторы, нечеткое управление) применяются для управления квадрокоптером?

6.5 Вопросы для подготовки к экзаменам

7 семестр

- 1) Каковы особенности воспроизведения различных процессов с использованием компьютерных программ для имитации и визуализации динамических систем?
- 2) Каковы особенности имитационного моделирования?
- 3) Как определяется эффективность функционирования объекта?
- 4) Как осуществляется формализация объекта?
- 5) Каковы особенности проектирования реальных процессов с использованием специализированных компьютерных программ?
- 6) Какие основные критерии используются для классификации математических моделей?
- 7) В каких формах могут быть представлены математические модели?

- 8) Как взаимосвязаны векторно-матричная форма описания объекта и его передаточная функция?
- 9) Какие преимущества и недостатки имеет векторно-матричная форма представления математических моделей?
- 10) Как передаточная функция объекта может быть получена из его векторно-матричного описания?
- 11) Как в SimPower собрать схему RLC-цепи и провести анализ её переходных процессов?
- 12) Какие блоки SimPower лучше использовать для моделирования нелинейных элементов (например, конденсаторов с зависимостью ёмкости от напряжения)?
- 12) Как правильно задать начальные условия для тока в катушке индуктивности (L) и напряжения на конденсаторе (C) в SimPower?
- 13) Какие численные методы рекомендуется применять для расчёта переходных процессов в SimPower и как их выбрать?
- 14) Как моделировать переходные процессы в цепях с коммутациями (например, включение источника на RL-цепь)?
- 15) Как смоделировать датчик тока или напряжения в SimPower и подать его сигнал на систему управления?
- 16) Как работает блок *Ideal Switch* (идеальный ключ) в SimPower и какие параметры (сопротивление в открытом/закрытом состоянии, пороги переключения) нужно задавать?
- 17) Как смоделировать источник тока или напряжения в SimPower и подать его сигнал на систему управления?
- 18) Как задать начальные условия для тока в индуктивности и напряжения на ёмкости?
- 19) Как влияет шаг моделирования на точность расчёта переходных процессов в цепях с быстрыми коммутациями?
- 20) Какие системы координат используются для описания движения квадрокоптера в пространстве? Как связаны между собой инерциальная и связанная системы координат?
- 21) Какие углы Эйлера (тангаж, крен, рыскание) используются для описания ориентации квадрокоптера? Запишите матрицу поворота между связанной и инерциальными системами координат.
- 22) Выведите уравнения движения квадрокоптера в инерциальной системе координат с учётом сил тяги и моментов, создаваемых винтами.
- 23) Как записывается уравнение динамики вращательного движения квадрокоптера через элементы тензора инерции? Какие внешние моменты

учитываются?

24) Как связана угловая скорость квадрокоптера в связанной системе координат с производными углов Эйлера? Запишите соответствующие кинематические уравнения.

25) Какие факторы влияют на изменение компонент тензора инерции квадрокоптера в полёте? Можно ли считать его постоянным?

26) Как математически описывается зависимость тяги и момента винта от скорости его вращения? Приведите упрощённую квадратичную модель.

27) Как распределены силы и моменты от каждого винта в стандартной конфигурации квадрокоптера (крест или X)?

28) Чем отличается реактивный момент винта от момента сопротивления вращению? Как они учитываются в уравнениях динамики?

29) Как формируется суммарная тяга и управляющие моменты квадрокоптера на основе индивидуальных тяг винтов?

30) Какие физические ограничения накладываются на углы Эйлера при управлении квадрокоптером? Почему при больших углах крена или тангажа модель становится нелинейной?

31) Как можно линеаризовать уравнения движения квадрокоптера вблизи режима висения?

32) Какие аэродинамические эффекты (например, эффект "воздушной подушки" или вихревое кольцо) могут влиять на динамику квадрокоптера и как их можно учесть в модели?

33) Как учитываются гироскопические моменты, возникающие из-за вращения роторов двигателей?

34) Какие параметры винтомоторной группы (диаметр винта, шаг, коэффициент тяги) наиболее критичны для математического моделирования квадрокоптера?

8 семестр

1) Какие основные уравнения электрического и механического баланса описывают ДПТ с независимым возбуждением?

2) Как записывается уравнение напряжения якорной цепи ДПТ с независимым возбуждением?

3) Как выражается электромагнитный момент ДПТ с независимым возбуждением через ток якоря?

4) Какие параметры входят в передаточную функцию ДПТ с независимым возбуждением при управлении по напряжению якоря?

- 5) Как выглядит структурная схема ДПТ с независимым возбуждением в пространстве состояний?
- 6) Чем отличаются уравнения напряжения для ДПТ с последовательным возбуждением от ДПТ с независимым возбуждением?
- 7) Как выражается электромагнитный момент ДПТ с последовательным возбуждением через ток якоря?
- 8) Почему механическая характеристика ДПТ с последовательным возбуждением имеет гиперболический вид?
- 9) Как можно линеаризовать модель ДПТ с последовательным возбуждением для малых отклонений?
- 10) Какие особенности структурного моделирования ДПТ с последовательным возбуждением по сравнению с независимым?
- 11) Как выбор системы координат (стационарной, связанной с потоком ротора, синхронно вращающейся) влияет на вид уравнений АД?
- 12) Как записывается модель асинхронного двигателя в векторной форме (уравнения Парка-Горева)?
- 13) Как выглядит структурная схема асинхронного двигателя в системе координат, вращающейся с синхронной скоростью?
- 14) Какие упрощения применяются при моделировании АД для частотного управления?
- 15) Как выражается электромагнитный момент АД через потокосцепления и токи статора/ротора?
- 16) Какие уравнения описывают синхронный двигатель с явнополусным ротором в осях d-q?
- 17) Как записывается выражение электромагнитного момента СД с учетом явнополусности?
- 18) Какие особенности имеет структурная схема синхронного двигателя при векторном управлении?
- 19) Как учитывается демпферная обмотка в математической модели синхронного двигателя?
- 20) Чем отличается модель синхронного двигателя с постоянными магнитами от модели с обмоткой возбуждения?
- 21) Какие основные системы координат используются при моделировании движения квадрокоптера?
- 22) Как преобразуются координаты между инерциальной и связанной системами координат квадрокоптера?
- 23) Какие упрощающие допущения обычно применяются при моделировании динамики квадрокоптера?

- 24) Как записываются кинематические уравнения Эйлера для углового движения квадрокоптера?
- 25) Какие физические факторы влияют на динамику крена и тангажа квадрокоптера?
- 26) Как выглядит модель вращательного движения квадрокоптера в связанной системе координат?
- 27) Какие методы управления (ПИД, LQR, backstepping) применяются для стабилизации углов Эйлера?
- 28) Как учитывается гироскопический эффект от вращения винтов в уравнениях углового движения?
- 29) В чем особенность управления рысканием по сравнению с креном и тангажом?
- 30) Как можно линеаризовать нелинейную модель углового движения квадрокоптера?
- 31) Как связаны углы Эйлера с поступательным движением квадрокоптера?
- 32) Какие силы действуют на квадрокоптер в горизонтальном полете?
- 33) Как записываются уравнения Ньютона-Эйлера для поступательного движения?
- 34) Какие методы управления используются для регулирования скорости квадрокоптера?
- 35) Как реализуется управление позицией по оси X и Y с помощью углов крена и тангажа?
- 36) Как учитываются аэродинамические эффекты (сопротивление воздуха, порывы ветра) в модели управления скоростью?
- 37) Какие силы влияют на вертикальное движение квадрокоптера?
- 38) Как записывается динамическая модель изменения высоты?
- 39) Какие методы управления (ПИД, адаптивное управление) применяются для стабилизации высоты?
- 40) Как учитывается влияние земли (эффект воздушной подушки) при посадке квадрокоптера?
- 41) Как строится каскадная система управления квадрокоптером (внутренний контур – углы, внешний – позиция)?
- 42) Какие методы используются для согласованного управления углами и скоростями?
- 43) Как реализуется трекинг заданной траектории с учетом пространственных координат?
- 44) Какие критерии устойчивости применяются для анализа системы

управления квадрокоптером?

45) Как можно оптимизировать параметры регуляторов (например, коэффициенты ПИД) для улучшения динамики системы?

46) Какие методы робастного управления применяются для компенсации внешних возмущений?

47) Как производится идентификация параметров квадрокоптера (инерции, тяги) для моделирования?

48) Какие программные инструменты (MATLAB/Simulink, ROS, Gazebo) используются для моделирования управления квадрокоптером?

49) Как учитываются ограничения двигателей (максимальные обороты, инерционность) в модели управления?

50) Какие современные подходы (нейросетевые регуляторы, нечеткое управление) применяются для управления квадрокоптером?

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Дьяконов В. П. MATLAB [Электронный ресурс]: Полный самоучитель. - Саратов: Профобразование, 2019. - 768 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/87981.html> (дата обращения: 20.08.2024).

2. Миловзоров, О. В. Электроника : учебник для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 397 с. — (Высшее образование). — ISBN 9785534186048. — URL : <https://urait.ru/bcode/559878> (дата обращения: 20.08.2024).

Дополнительная литература

1. Лазарева Н. М., Яров В. М., Белов Г. А.. Компьютерное моделирование. SimPowerSystems: практикум [для 2 курса по специальности "Промышленная электроника"]. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2016. - 67с.

2. Фролов В. Я., Смородинов В. В.. Устройства силовой электроники и преобразовательной техники с разомкнутыми и замкнутыми системами управления в среде Matlab — Simulink [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2018. - 332 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/106890>. (дата обращения: 20.08.2024).

3. Семенова Т. И., Шакин В. Н., Юсков И. О., Юскова И. Б.. Введение в математический пакет Matlab [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие. - Москва: Московский технический университет связи и информатики, 2016. - 88 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61469.html> (дата обращения: 20.08.2024)

4. Компьютерное моделирование электромеханических систем постоянного и переменного тока в среде MATLAB Simulink : учебное пособие / Ю. Н. Дементьев, В. Б. Терехин, И. Г. Однокопылов, В. М. Рулевский. — Томск : Томский политехнический университет, 2018. — 497 с. — ISBN 978-5-4387-0819-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/98983.html> (дата обращения: 20.05.2024).

Учебно-методическое обеспечение

1. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Моделирование электромеханических систем» : (для студ. напр. подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника») / сост. И.А. Карпук; Каф.

электромеханики им. А.Б.Зеленова . — Алчевск : ФГБОУ ВО «ДонГТУ», 2024. — 64с.

https://moodle.dstu.education/pluginfile.php/62432/mod_resource/content/1/МУ%20МЭМС.pdf

7.2 Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная библиотека ДонГТУ : официальный сайт.— Алчевск. — URL: library.dstu.education.— Текст : электронный.

2. Научно-техническая библиотека БГТУ им. Шухова : официальный сайт. — Белгород. — URL: <http://ntb.bstu.ru/jirbis2/>.— Текст : электронный.

3. Консультант студента :электронно-библиотечная система.— Москва. — URL: <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>.— Текст : электронный.

4. Университетская библиотека онлайн :электронно-библиотечная система.— URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red.— Текст : электронный.

5. IPR BOOKS :электронно-библиотечная система.—Красногорск. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/>. —Текст : электронный.

6. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) : официальный сайт. — Москва. — <https://www.gosnadzor.ru/>. —Текст : электронный.

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов деятельности в процессе обучения, соответствует требованиям ФГОС ВО.

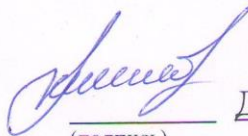
Материально-техническое обеспечение представлено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Материально-техническое обеспечение

Наименование оборудованных учебных кабинетов	Адрес (местоположение) учебных кабинетов
<i>Лаборатория моделирования электромеханических процессов кафедры электромеханики им. А.Б. Зеленова</i>ДонГТУ(25 посадочных мест), оборудованный учебной мебелью, компьютерами с неограниченным доступом к сети Интернет, включая доступ к ЭБС: - Компьютер Intel Celeron 2,8 GHz; - Компьютер HEDY; - Компьютер 80386DX; - Компьютер Intel Celeron 600 MHz; - Компьютер Intel Celeron 2.66 Ghz; - Компьютер Intel Celeron 1,3 Ghz. - Компьютер AthlonXP 1.92 Ghz; - Компьютер AMDDuron 1.79 Hhz; - Компьютер AMDAthlon 3200 Mhz; - Компьютер Intel Celeron 420 1.66 Ghz; - Компьютер Intel Celeron 420 1.66 Ghz; - Компьютер Intel Celeron 420 1.66 Ghz; - Компьютер AMD Athlon 64 x2 Dual Core Processor 400+. Доска аудиторная– 1 шт.	ауд. <u>1229</u>

Лист согласования РПД

Разработал
доц. кафедры электромеханики
им. А. Б. Зеленова
(должность)


(подпись) Д. И. Морозов
(Ф.И.О.)

(должность)

(подпись) (Ф.И.О.)

(должность)

(подпись) (Ф.И.О.)

И.о. зав. кафедрой


(подпись) Д. И. Морозов
(Ф.И.О.)

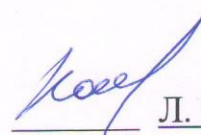
Протокол № 1 заседания кафедры
электромеханики им. А.Б. Зеленова от 22.08.2024 г.

И.о. декана факультета ИТиАПП


(подпись) В. В. Дьячкова
(Ф.И.О.)

Согласовано

Председатель методической
комиссии по направлению подготовки
13.04.02 Электроэнергетика и
электротехника


(подпись) Л. Н. Комаревцева
(Ф.И.О.)

Начальник учебно-методического центра


(подпись) О. А. Коваленко
(Ф.И.О.)

Лист изменений и дополнений

Номер изменения, дата внесения изменения, номер страницы для внесения изменений	
ДО ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:	ПОСЛЕ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:
Основание:	
Подпись лица, ответственного за внесение изменений	