

АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»
(АНО ВО «УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»))

Научный центр информационных технологий и искусственного интеллекта

СОГЛАСОВАНО
Ученым советом

АНО ВО «Университет «Сириус»
(протокол от «03» августа 2021 г. № 05)



УТВЕРЖДАЮ

Руководитель отдела по учебно-методической работе

АНО ВО «Университет «Сириус»

Г.В. Федоров

«04» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дополнительные разделы аналитической механики

наименование дисциплины

Уровень высшего образования:
магистратура

бакалавриат, специалитет, магистратура, аспирантура

Направление подготовки (специальность):

01.04.02 Прикладная математика и информатика

код и название направления/специальности

Направленность (профиль):

Математическая робототехника и искусственный интеллект

код и название направления/специальности

Форма обучения:

очная

очная / очно-заочная / заочная

Федеральная территория «Сириус» - 2021 г.

1. Общая характеристика дисциплины

1.1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО):

Уровень высшего образования: магистратура;

Направление подготовки: 01.04.02 Прикладная математика и информатика;

Направленность (профиль): Математическая робототехника и искусственный интеллект (далее – образовательная программа, ОПОП ВО);

Форма реализации (очная, дистанционная): очная с возможностью применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

1.2. Место дисциплины в образовательной программе и описание взаимосвязи дисциплины с другими реализуемыми в АНО ВО «Университет «Сириус» образовательными модулями, образовательными программами, научными исследованиями и проектами:

В рамках ОПОП ВО дисциплина реализуется в третьем семестре.

Изучению дисциплины в рамках ОПОП ВО предшествует изучение дисциплины: Методы моделирования робототехнических систем. Математические основы робототехники. Введение в разработку, создание и тестирование робототехнических приложений.

Изучение дисциплины необходимо для освоения следующих дисциплин ОПОП ВО: Современные методы управления нелинейными системами. Методы управления движением робототехнических систем. Неполноприводные механические системы. Мобильная робототехника.

Дисциплина может быть использована в программах магистратуры «Финансовая математика», «Биоинформатика и математическая биология» в качестве обязательной дисциплины или дисциплины по выбору.

1.3. Входные требования для освоения дисциплины:

знание математического анализа, линейной алгебры, и теории вероятности в объеме программы бакалавриата по программам бакалавриата в рамках направлений подготовки из областей образования «Математические и естественные науки», «Инженерное дело, технологии и технические науки», умение использовать языки программирования и специализированные программные пакеты для выполнения вычислений на ЭВМ.

1.4. Цель дисциплины:

формирование у обучающихся теоретических знаний в области современных математических методов моделирования механических систем с трением, а также приводов, передаточных механизмов и измерительных систем, используемых в робототехнике.

1.5. Задачи дисциплины:

развитие у обучающихся математического мышления, умения ставить, исследовать и решать теоретические и практические задачи, используя методы моделирования робототехнических систем, включающих взаимодействующие абсолютно твердые и деформируемые твердые тела с различными видами трения.

1.6. Язык преподавания: русский и английский.

1.7. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с формируемыми компетенциями:

Формируемые компетенции (код компетенции, формулировка)	Индикаторы
ПК-1. Способен применять современные математические методы для решения практических задач.	ПК-1.7. Умеет использовать понятия и применять методы аналитической механики, теории трения, теории механизмов и машин, необходимых для расчета, прототипирования и описания робототехнической системы при помощи математических моделей различной степени сложности
	ПК-1.8. Умеет проводить анализ конструктивных особенностей и динамических характеристик робототехнической системы с использованием математических моделей устройства различной степени сложности и проработки

2. Структура дисциплины

2.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 академических часов, из которых 72 академических часов составляет контактная работа обучающихся с преподавателем (36 ак. часов занятий лекционного типа, 36 ак. часов практических занятий), 36 академических часов составляет самостоятельная работа обучающихся.

2.2. Календарный график реализации дисциплины (в случае реализации дисциплины в формате интенсивного обучения):

день	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1 пара	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	пр	пр	сам	сам	сам	сам	ЭКЗ
2 пара	лек	лек	лек	лек	лек	лек	пр	пр	пр	пр	пр	пр	пр	сам	сам	сам	сам	сам	ЭКЗ
3 пара	лек	лек	лек	лек	лек	лек	пр	пр	пр	пр	пр	сам	пр	сам	сам	сам	сам	сам	ЭКЗ
4 пара	пр	пр	пр	пр	пр	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	пр	пр	ЭКЗ

В таблице использованы следующие сокращения: лек – лекция, пр – практическое занятие, сам – самостоятельная работа, экз – экзамен.

2.3. Учебный план дисциплины и её содержание, структурированное по темам (разделам):

Наименование разделов и тем дисциплины	В том числе						Самостоятельная работа обучающегося (ак. часы)	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
	Всего (ак. часы)	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации		
Уравнения движения тела по поверхности.	6	2	-	2	-	-	4	2
	18	6	-	6	-	-	12	6
Движение твердого тела по неподвижной абсолютно шероховатой поверхности.								

Движение тела вращения. Тело с острым краем. Кельтский камень	18	6	-	6	-	12	6	Проверка выполнения контрольного задания 1.
Твердое тело на неподвижной горизонтальной плоскости при наличии трения скольжения	24	8	-	8	-	16	8	
Тяжелый шар. Финальные движения твердого тела на плоскости с вязким трением. Шар Чаплыгина	14	4	-	4	-	8	6	
Тело с полостью, содержащей жидкость, на неподвижной горизонтальной плоскости	6	2	-	2	-	4	2	
задачи динамики твердого тела с неударивающей связью	12	4	-	4	-	8	4	Проверка выполнения контрольного задания 2.
Элементы механики сплошных сред	6	2	-	2	-	4	2	
Промежуточная аттестация	4				4	4		Экзамен
Итого	108	36		32	4	72	36	

3. Текущий контроль и промежуточная аттестация

Текущий контроль состоит в проверке выполнения обучающимися контрольных заданий. Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

3.1. Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине:

Для текущего контроля обучающийся представляет отчет о выполнении контрольных заданий, содержащий постановку задачи, описание предложенного метода ее решения, описание и текст программы, реализующей этот метод, и результаты расчетов на компьютере. По результатам проверки отчета обучающемуся выставляется оценка «зачтено» в случае успешного выполнения контрольного задания и «не зачтено» в противном случае. Обучающиеся, не выполнившие успешно хотя бы одно из контрольных заданий, не допускаются до экзамена.

Экзамен проводится в письменно-устной форме. Обучающийся в течение 45 минут готовит ответа на два вопроса экзаменационного билета. После чего излагает материал экзаменатору в устной форме, используя подготовленный конспект. При необходимости во время ответа экзаменатор задает уточняющие вопросы по теме билета. После ответа по билету экзаменатор задает один или, при необходимости, два вопроса по материалу курса, не вошедшему в билет.

3.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине:

Критерии выставления экзаменационных оценок.

Оценка «отлично» выставляется при исчерпывающих ответах на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется при правильных ответах на вопросы экзаменационного билета, но с упущенными некоторыми ключевыми моментами, и правильных ответов на дополнительные вопросы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется при правильном ответе на один из вопросов экзаменационного билета и правильном ответе на один из двух дополнительных вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при неправильном ответе на оба вопроса экзаменационного билета или неправильном ответе на оба дополнительных вопроса. Оценка «неудовлетворительно» выставляется также в случае, если при выполнении практических заданий в течение семестра или при ответе на вопросы на экзамене обучающийся допустил грубую ошибку, демонстрирующую отсутствие базовых знаний, необходимых для обучения по образовательной программе.

4. Примеры оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости

4.1. Примеры контрольных заданий.

Составить полную систему уравнений движения однородного твердого тела, имеющего форму трехосного эллипсоида, соприкасающегося с абсолютно шероховатой поверхностью.

Вопросы и задания.

1. Запишите теорему об изменении количества движения
2. Запишите теорему об изменении кинетического момента относительно главных осей тела
3. Что такое геометрический интеграл?
4. Как выглядят связи, которые наложены на движение тела?

4.2. Примеры экзаменационных вопросов.

1. Основные динамические величины твердого тела.
2. Движение тела сферической формы по неподвижной шероховатой поверхности.
3. Простейшие случаи движения однородного эллипсоида по абсолютно шероховатой плоскости
4. Шар Чапльгина на плоскости с трением скольжения
5. Устойчивость вращения волчка с полостью, наполненной жидкостью
6. Уравнения Гамильтона для систем с идеальной неупругивающей связью
7. Устойчивость периодического движения твердого тела, соударяющегося с вибрирующей плоскостью
8. Динамика тела на упругой плоскости

5. Методические материалы для обучающихся

Методические рекомендации по организации учебной работы обучающихся направлены на повышение эффективности его аудиторной и самостоятельной работы по дисциплине.

Значительная часть времени по дисциплине отведена на самостоятельную работу. Основными задачами самостоятельной работы являются:

- проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе);
- выполнение контрольных заданий, включающих в себя решение теоретических задач, составление программ, применяющих пакеты программ оптимизации для получения численных результатов на компьютере;
- подготовка отчетов о выполнении контрольных заданий.

6. Дополнительные методические рекомендации для преподавателей

Изучение дисциплины предусматривает аудиторную и самостоятельную работу обучающихся. Учитывая форму обучения и количество часов по дисциплине, преподавателю рекомендуется выбирать для лекций и практических занятий наиболее сложные темы учебного курса. На практических занятиях обучающимся предлагаются задания, помогающие усвоить лекционный материал и иллюстрирующие основные понятия и определения на конкретных примерах. Значительная часть практических занятий отводится на освоение пакетов программ моделирования компонент робототехнических систем. Здесь основное внимание необходимо уделить способам приведения математической задачи к виду, пригодному для применения имеющихся пакетов программ. В качестве примеров полезно выбирать задачи, которые допускают решение разными методами и предлагать обучающимся сравнить результаты разных решений. Обсудить достоинства и недостатки методов. Контрольные задания желательно разбить на последовательные этапы и рекомендовать обучающимся обсуждать с преподавателем выполнение этапов задания.

7. Ресурсное обеспечение

7.1. Кадровое обеспечение

Руководитель программы: Ширяев А.С., кандидат физико-математических наук, научный руководитель направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».

Авторы программы:

Иванов А.П., доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической механики МФТИ.

Ширяев А.С., кандидат физико-математических наук, научный руководитель направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».

Соколов С.В., доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой теоретической механики МФТИ, руководитель магистерской программы «Современная механика и робототехника» МФТИ.

7.2. Перечень учебно-методического обеспечения для обучающихся по дисциплине:

В рамках самостоятельной работы обучающиеся используют Интернет-ресурсы MATLAB, где имеется большое количество примеров решения задач комбинации измерений, автономной робототехники и сенсорных сетей.

7.3. Перечень основной учебной литературы:

1. Маркеев А.П. Динамика твердого тела, соприкасающегося с твердой поверхностью. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2014.
2. Иванов А.П. Основы теории систем с трением. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011.
3. Амеликин Н.И. Динамика твердого тела: учеб. пособие. – М.: МФТИ, 2010.
4. Маркеев А.П. Теоретическая механика. – Москва– Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.

7.4. Перечень дополнительной учебной литературы:

1. Журавлев В.Ф. Основы теоретической механики. . М.: Физматлит, 2008.
2. Болотин С. В., Карапетян А.В., Кугушев Е.И., Трещев Д.В. Теоретическая механика. М.: Академия, 2010.
3. Трухан Н.М. Теоретическая механика. Методика решения задач: учеб. пособие. – М.: МФТИ, 2010.
4. "Springer Handbook of Robotics." В. Siciliano В. and О. Khatib (Eds.) 2016. ISBN 978-3-319-32552-1

7.5. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет». Сайты по тематике дисциплины:

Документация к MATLAB;
 Robotics System Toolbox <https://www.mathworks.com/help/robotics/index.html>

7.6. Описание материально-технической базы:

7.6.1. Аудиторный фонд и оборудование:

№ п.п.	Вид аудитории	Технические средства и оборудование (кол-во)	Расходные материалы (кол-во)
1.	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	Три большие меловые или маркерные доски. Большой экран для проекции слайдов.	Мел или маркер 15 шт.
2.	Компьютерный класс для проведения практических занятий	Меловая или маркерная доска. Большой экран для проекции слайдов.	Мел или маркер 10 шт.

7.6.2. Оборудование для лабораторных и практических занятий:

робот-манипулятор АББ IRB 1600, робот-манипулятор АББ IRB 2400 и образовательный робототехнический комплекс "Робот-бабочка"

7.7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения:

1. Лицензионный пакет программ МАТЛАВ/Simulink с пакетами Control System Toolbox, Robotics System Toolbox.

АВТНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»
(АНО ВО «УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»)

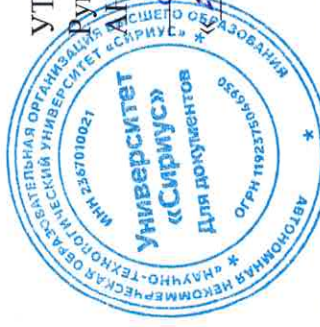
Научный центр информационных технологий и искусственного интеллекта

СОГЛАСОВАНО

Ученым советом

АНО ВО «Университет «Сириус»

(протокол от «03» августа 2021 г. № 05)



УТВЕРЖДАЮ

Руководитель отдела по учебно-методической работе

АНО ВО «Университет «Сириус»

Г.В. Федоров

«03» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Программирование встроенных систем управления

наименование дисциплины

Уровень высшего образования:

магистратура

бакалавриат, специалитет, магистратура, аспирантура

Направление подготовки (специальность):

01.04.02 Прикладная математика и информатика

код и название направления/специальности

Направленность (профиль):

Математическая робототехника и искусственный интеллект

код и название направления/специальности

Форма обучения:

очная

очная / очно-заочная / заочная

Федеральная территория «Сириус» - 2021 г.

1. Общая характеристика дисциплины

1.1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО):

Уровень высшего образования: магистратура;

Направление подготовки: 01.04.02 Прикладная математика и информатика;

Направленность (профиль): Математическая робототехника и искусственный интеллект (далее – образовательная программа, ОПОП ВО);

Форма реализации (очная, дистанционная): очная с возможностью применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

1.2. Место дисциплины в образовательной программе и описание взаимосвязи дисциплины с другими реализуемыми в АНО ВО «Университет «Сириус» образовательными модулями, образовательными программами, научными исследованиями и проектами:

В рамках ОПОП ВО дисциплина реализуется в третьем семестре.

Изучению дисциплины в рамках ОПОП ВО предшествует изучение дисциплины: математические основы робототехники, основы программирования на C++, основы программирования на Python, введение в разработку, создание и тестирование робототехнических приложений.

Изучение дисциплины необходимо для освоения следующих дисциплин ОПОП ВО: преддипломная практика, научно-исследовательская практика.

Дисциплина может быть использована в программах магистратуры «Финансовая математика», «Биоинформатика и математическая биология» в качестве обязательной дисциплины или дисциплины по выбору.

1.3. Входные требования для освоения дисциплины: знание математического анализа и линейной алгебры в объеме программы бакалавриата по программам бакалавриата в рамках направлений подготовки из областей образования «Математические и естественные науки», «Инженерное дело, технологии и технические науки», знакомство с основными понятиями теории управления, умение программировать на C++.

1.4. Цель дисциплины: обучение слушателей методам программирования встроенных систем управления робототехническими системами.

1.5. Задачи дисциплины: ознакомление слушателей с основами функционирования встроенных систем управления, основными проблемами, возникающими при разработке таких систем, методами решения этих проблем в практических приложениях.

1.6. Язык преподавания: русский.

1.7. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с формируемыми компетенциями:

Формируемые компетенции (код компетенции, формулировка)	Индикаторы
ПК-3. Способен применять современные инженерные знания и подходы к решению практических задач.	ПК-3.3. Применяет знания об устройстве и функционировании встроенных систем управления.
ПК-5. Способен реализовывать алгоритмы на актуальных языках программирования.	ПК-5.6. Владеет методами программирования встроенных систем управления
ПК-7. Способен планировать и реализовывать научно-исследовательские работы и разработки.	ПК-7.5. Умеет планировать разработку встроенных систем управления

2. Структура дисциплины

2.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:
объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единицы, 108 ак. часов, из которых 72 ак. часа составляет контактная работа студента с преподавателем (36 ак. часов занятий лекционного типа, 36 ак. часов практических занятий), 36 ак. часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

2.2. Календарный график реализации дисциплины (в случае реализации дисциплины в формате интенсива):

день	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1 пара	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	пр	пр	пр	сам	сам	сам	сам	ЭКЗ
2 пара	лек	лек	лек	лек	лек	пр	пр	пр	пр	пр	пр	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	ЭКЗ
3 пара	пр	пр	пр	пр	пр	сам	пр	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	ЭКЗ
4 пара	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	пр	ЭКЗ

В таблице использованы следующие сокращения: лек – лекция, пр – практическое занятие, сам – самостоятельная работа, экз – экзамен.

2.3. Учебный план дисциплины и её содержание, структурированное по темам (разделам):

Наименование разделов и тем дисциплины	В том числе	Форма текущего контроля успеваемости и	
		Самостоятельная работа	Форма текущего контроля успеваемости и
	<p>Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), ак. часы из них</p>		

	Всего (ак. часы)	обучающегося, ак. часы						промежуточной аттестации
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	
Введение. Применение и место встроенных систем управления и обработки информации в современном мире. Определения, основные характеристики и требования. Примеры.	4	2	-	-	-	-	2	
Многопоточное программирование. Структура современных микроконтроллеров и микропроцессоров. Операционные системы и языки программирования реального времени. Многозадачность, приоритеты и планирование. барьеров.	6	2	-	2	-	-	4	2
Синхронизация и связь. Связь через использование общей памяти. Синхронизация с использованием флагов. Использование семафоров для	8	2	-	-	-	-	6	2

Канонические формы и представления в пространстве состояний.																			Проверка выполнения контрольного задания 1.	
Модели вход-выход. Оператор сдвига. Передающая функция. Разностные уравнения. Z-преобразование. Переход от уравнений в пространстве состояний к передаточной функции. Изменение полюсов системы при дискретизации времени.	12	4	-	4	-													8	4	Проверка выполнения контрольного задания 1.
Аппроксимация аналоговых регуляторов в дискретном времени. Разностная аппроксимация, аппроксимация Тустина, кусочно-постоянная аппроксимация. PID регулятор. Свойства и проблемы применения.	12	4	-	4	-													8	4	Проверка выполнения контрольного задания 1.
Обратная связь по состоянию и использование наблюдателей. Наблюдатель Льюенбергера. Прямая связь для парирования измеряемых возмущений. Отслеживание заданной траектории. Применение эталонной модели. Примеры.	12	4	-	4	-													8	4	Проверка выполнения контрольного задания 2.
Практическое применение дискретизации по времени.	12	4		4														8	4	Проверка выполнения контрольного задания 3.

3. Текущий контроль и промежуточная аттестация

Текущий контроль состоит в проверке выполнения обучающимися контрольных заданий. Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

3.1. Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине:

Для текущего контроля обучающийся представляет отчет о выполнении контрольных заданий, содержащий постановку задачи, описание предложенного метода ее решения, описание и текст программы, реализующей этот метод, и результаты экспериментов с программную реализацию на микропроцессоре лабораторной установки. По результатам проверки отчета обучающемуся выставляется оценка «зачтено» в случае успешного выполнения контрольного задания и «не зачтено» в противном случае. Обучающиеся, не выполнившие успешно хотя бы одно из контрольных заданий, не допускаются до экзамена.

Экзамен проводится в письменно-устной форме. Обучающийся в течении 45 минут готовит ответа на два вопроса экзаменационного билета. После чего излагает материал экзаменатору в устной форме, используя подготовленный конспект. При необходимости во время ответа экзаменатор задает уточняющие вопросы по теме билета. После ответа по билету экзаменатор задает один или, при необходимости, два вопроса по материалу курса, не вошедшему в билет.

3.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине:

Критерии выставления экзаменационных оценок.

Оценка «отлично» выставляется при исчерпывающих ответах на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется при правильных ответах на вопросы экзаменационного билета, но с упущенными некоторыми ключевыми моментами, и правильных ответов на дополнительные вопросы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется при правильном ответе на один из вопросов экзаменационного билета и правильном ответе на один из двух дополнительных вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при неправильном ответе на оба вопроса экзаменационного билета или неправильном ответе на оба дополнительных вопроса. Оценка «неудовлетворительно» выставляется также в случае, если при выполнении практических заданий в течении семестра или при ответе на вопросы на экзамене обучающийся допустил грубую ошибку, демонстрирующую отсутствие базовых знаний, необходимых для обучения по образовательной программе.

4. Примеры оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости

Примеры контрольных заданий.

Задание 1. Управление электроприводом.

Написать программу, реализующую алгоритм стабилизации программного движения ротора электродвигателя постоянного тока. Проверить работу программы на модели. Реализовать программу на встроенном микропроцессоре и проверить ее работу в эксперименте. Написать отчет о проделанной работе и полученных результатах.

Задание 2. Распознавание и определение положения цветного объекта.

Предложить алгоритм распознавания объекта и определения его координат по изображению. Написать программу реализующую алгоритм на бортовом микропроцессоре. Загрузить программу в микропроцессор и провести эксперименты на стенде, снабженном камерой. Написать отчет о проделанной работе и полученных результатах.

Задание 3. Управление движением на основе информации от видеокамеры.
Разработать алгоритм стабилизации заданного положения ротора двигателя на основе информации о положении цветной метки, наблюдаемой видеокамерой. Написать программу реализующую алгоритм на бортовом микропроцессоре. Загрузить программу в микропроцессор и провести эксперименты на стенде, снабженном камерой. Написать отчет о проделанной работе и полученных результатах.

Примерный список экзаменационных вопросов.

1. Структура современных микроконтроллеров и микропроцессоров.
2. Многопоточное программирование.
3. Операционные системы и языки программирования реального времени.
4. Многоядерность, приоритеты и планирование.
5. Синхронизация и связь через использование общей памяти.
6. Синхронизация с использованием флагов.
7. Использование семафоров для синхронизации.
8. Методы борьбы с клинчем.
9. Нарушения приоритетов. Обмен сообщениями. Почтовые ящики.
10. Прерывания по времени и по событиям.
11. Ядро реального времени. Периодические задачи.
12. Временная дискретизация с постоянным шагом.
13. Наложение спектров при дискретизации и предварительная фильтрация.
14. Устойчивость систем с дискретным временем.
15. Управляемость, достижимость и стабилизируемость для систем с дискретным временем.
16. Наблюдаемость, восстанавливаемость и детектируемость для систем с дискретным временем.
17. Канонические формы и представления в пространстве состояний.
18. Модели вход-выход. Оператор сдвига.
19. Передаточная функция. Разностные уравнения. Z-преобразование.
20. Переход от уравнений в пространстве состояний к передаточной функции.
21. Изменение полюсов системы при дискретизации времени.
22. Аппроксимация аналоговых регуляторов в дискретном времени.
23. PID регулятор. Свойства и проблемы применения.
24. Обратная связь по состоянию и использование наблюдателей. Наблюдатель Люенбергера.
25. Прямая связь для парирования измеряемых возмущений.

26. Отслеживание заданной траектории.
27. Метод эталонной модели.
28. Вычисления с фиксированной разрядностью.
29. Квантизация сигналов.
30. Вычисления с фиксированной точкой.
31. Планирование. Оценка времени исполнения.
32. Статическое циклическое планирование.
33. Планирование с фиксированными приоритетами.
34. Планирование с приоритетом коротких процессов.
35. Системы с дискретными событиями. Основные понятия.
36. Автоматы Мура. Диаграммы состояний.

5. Методические материалы для обучающихся

Методические рекомендации по организации учебной работы обучающихся направлены на повышение эффективности его аудиторной и самостоятельной работы по дисциплине.

Значительная часть времени по дисциплине отведена на самостоятельную работу. Основными задачами самостоятельной работы являются:

- проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе);
- выполнение контрольных заданий, включающих в себя решение теоретических задач, составление программ их реализации на микропроцессорах и проведение экспериментов;
- подготовка отчетов о выполнении контрольных заданий.

6. Дополнительные методические рекомендации для преподавателей

Изучение дисциплины предусматривает аудиторную и самостоятельную работу обучающихся. Учитывая форму обучения и количество часов по дисциплине, преподавателю рекомендуется выбирать для лекций и практических занятий наиболее сложные темы учебного курса. На практических занятиях обучающимся предлагаются задания, помогающие усвоить лекционный материал и иллюстрирующие основные понятия и определения на конкретных примерах. Значительная часть практических занятий отводится на освоение программирования микропроцессоров. Здесь основное внимание необходимо уделить способам приведения решаемой задачи к виду, пригодному для реализации на встроенных микропроцессорах. Контрольные задания желательно разбить на последовательные этапы и рекомендовать обучающимся обсуждать с преподавателем выполнение этапов задания.

7. Ресурсное обеспечение

- 7.1.1. Кадровое обеспечение

Руководитель программы: Ширяев А.С., кандидат физико-математических наук, научный руководитель направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».

Авторы программы:

Ширяев А.С., кандидат физико-математических наук, научный руководитель направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».

Гусев С.В., кандидат физико-математических наук, профессор направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».

7.2. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

Документация к MATLAB Embedded coder <https://www.mathworks.com/help/ecoder/>

7.3. Перечень основной учебной литературы:

1. D. Hristu-Varsakelis and S. William, editors. Handbook of Networked and Embedded Control Systems. Birkhauser, Boston, Basel, Berlin. 2005. 822p.
2. Petko H. Petkov, Tsonyo N. Slavov and Jordan K. Kravev, Design of Embedded Robust Control Systems Using MATLAB®/Simulink®. The Institution of Engineering and Technology. CPI Group (UK) Ltd, Croydon. 2018. 515p.
3. T. Wescott. Applied Control Theory for Embedded Systems. Elsevier. Amsterdam, Boston etc. 2006. 303p.
4. A.M.Mughul. Real Time Modeling, Simulation and Control of Dynamical Systems. Springer. Switzerland. 2016. 187p.

7.4. Перечень дополнительной учебной литературы:

1. J.K.Peckol. Embedded Systems. A Contemporary Design Tool. John Willey & Sons. Hoboken, NJ. 2019. 1017p.
2. P.Marwedel. Embedded Systems Design. Springer. Switzerland. 2018. 423p.
3. M.Miskowicz editor. Event-Based Control and Signal Processing. CRC Press. Boca Raton London New York. 2016. 545p.
4. R.Toulson and T.Wilmshurst. Fast and Effective Embedded Systems Design. Elsevier. Amsterdam etc. 2012. 379p.

7.5. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Сайты по тематике дисциплины:

1. Документация к MATLAB Embedded coder <https://www.mathworks.com/help/ecoder/>

7.6. Описание материально-технической базы:

7.6.1. Аудиторный фонд и оборудование:

№ п.п.	Вид аудитории	Технические средства и оборудование (кол-во)	Расходные материалы (кол-во)
1.	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	Три большие меловые или маркерные доски. Большой экран для проекции слайдов.	Мел или маркер 15 шт.
2.	Компьютерный класс для проведения практических занятий	Меловая или маркерная доска. Большой экран для проекции слайдов.	Мел или маркер 10 шт.

7.6.2. Оборудование для лабораторных и практических занятий:

№ п.п.	Тип оборудования	Характеристика	Кол-во
1.	Лабораторная установка	Робот «бабочка»	2

7.7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения:

1. Лицензионный пакет программ MATLAB/Simulink и/или свободно распространяемый Octave с пакетами Control, Optimization, Signal Processing, Spline, Robust Control, Symbolic, Embedded coder.

1. Общая характеристика дисциплины

1.1. Место образовательного дисциплины в структуре основных профессиональных образовательных программ высшего образования (ОПОП ВО):

уровень образования: магистратура;

направление подготовки: 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»;

направленность (профиль): «Математическая робототехника и искусственный интеллект» (далее – образовательная программа);

часть ОП (обязательная часть/часть, формируемая участниками образовательных отношений): обязательная;

форма реализации (очная, дистанционная): очная с возможностью применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

1.2. Описание взаимосвязи образовательного дисциплины с другими, реализующимися в АНО ВО «Университет «Сириус» образовательными модулями, образовательными программами, научными исследованиями и проектами:

может быть использована в магистратуре «Математическая робототехника и искусственный интеллект» в качестве дисциплины обязательной части или дисциплины по выбору; изучение данной дисциплины необходимо для освоения следующих дисциплин образовательной программы: робототехническое манипулирование объектами, методы искусственного интеллекта в робототехнических приложениях.

1.3. Входные требования для освоения дисциплины: знание математического анализа, линейной алгебры, теории графов и теории экстремальных задач в объеме бакалавриата по направлению прикладная математика, умение использовать язык программирования и специализированные программные пакеты для выполнения вычислений на ЭВМ.

1.4. Цель дисциплины: дать обучающимся системное представление об основных задачах, методах, алгоритмических принципах и алгоритмах автономной навигации и управления движением мобильных роботов, приёмах их математического моделирования в целях анализа и синтеза систем управления и автономной навигации, имеющим важное значение для дальнейшей профессиональной деятельности при решении научных и прикладных задач.

1.5. Задачи дисциплины: развитие у обучающихся системного математического мышления и подходов, умения ставить, исследовать и решать задачи автономной навигации мобильных роботов.

1.6. Язык преподавания: русский.

1.7. Результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с формируемыми компетенциями

Формируемые компетенции (код компетенции, формулировка)	Индикаторы
ПК-4. Способен разрабатывать и применять наукоемкое алгоритмическое обеспечение.	ПК-4.1. Умеет разрабатывать алгоритмы автономной навигации мобильных роботов.
ПК-7. Способен планировать и реализовывать научно-исследовательские работы и разработки.	ПК-7.3. Умеет определять направление поиска наиболее эффективного и перспективного метода решения.
	ПК-7.4. Знает основные направления и тенденции современного развития робототехники.

2. Структура дисциплины

2.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единицы, 108 ак. часов, из которых 72 ак. часа составляет контактная работа студента с преподавателем (36 ак. часов занятий типа, 36 ак. часов практических занятий), 36 ак. часов составляет самостоятельная работа студента.

2.2. Учебный план (структура дисциплины)

День	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 пара	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	сем	сем	сем	сем	сем	сем	экз
2 пара	лек	лек	лек	лек	лек	сп	сем	сем	сем	сем	сем	сем	сем	сем	сем	сем	сп	экз
3 пара	лек	лек	лек	лек	лек	сп	сем	сем	сем	сем	сем	сп	сем	сп	сп	сп	сп	экз
4 пара	лек	лек	лек	сп	сп	сп	сп	сп	сп	сп	сп	сп	сп	сп	сп	сп	сп	экз

В таблице использованы следующие сокращения: лек – лекция, сем – семинар, сп – самостоятельная работа, экз – экзамен.

2.3. Содержание образовательного модуля (дисциплины), структурированное по темам (разделам):

Наименование разделов и тем дисциплины	В том числе		Самостоятельная работа обучающегося, ак. часы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
	Контрактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), ак. часы из них	Всего		

	(ак. часы)	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего		
Введение. Понятие, основные задачи и концепции автономной навигации мобильных роботов. Примеры и мотивация. Обзор и классификация подходов.	4	2	-		-	-	2	2	
Детерминированные локальные алгоритмы автономной навигации с доказательной сходимостью; группа Bug и её развитие. Поведенческий и картографический подходы в автономной навигации.	6	2	-		2	-	4	2	Выступление с докладом на семинаре, участие в дискуссии.
Методы представления сцены и глобального планирования. Понятие карты, основные разновидности карт. Геометрические карты, их основные типы. Структурно-логические карты. Сетка занятости. Клеточное разбиение. Представление сцены, основанное на выборке данных.	6	2	-		2	-	4	2	Проверка выполнения контрольного задания 1.

<p>Методы клеточной декомпозиции фазового пространства. Простая и агрегированная трапецеидальная клеточная декомпозиция, декомпозиция Морса и связанные факты, метод Brushfire,</p>	6	2			2		4	2	
<p>Методы дорожной карты (скелетирования). Полный и редуцированный графы видимости. Мозаика и граф Вороного, их обобщения. метод Форчуна. Алгоритмы силуэта.</p>	6	2	-	2	-		4	2	Выступление с докладом на семинаре, участие в дискуссии.
<p>Методы, основанные на сэмплинговании фазового пространства. Плотность и вероятностная полнота. Генераторы случайных чисел и векторов. Последовательность ван дер Корпута. Случайное сэмплирование. Дисперсия и разреженность выборки. Детерминированное сэмплирование, сетки и решетки, сетка Сухарева. Последовательности Халтона и Хаммерсли. Инкрементальное сэмплирование и планирование.</p>	8	4	-	2	-		6	2	Выступление с докладом на семинаре, участие в дискуссии.
<p>Методы, основанные на стохастическом инкрементальном</p>	8	4	-	2	-		6	2	Проверка выполнения контрольного задания 2. Выступление с докладом на

<p>скелетировании. Стратегии случайного сэмплирования. Вычислительная сложность задачи планирования пути. Случайные деревья в обширных сценах. Быстро развивающиеся поисковое случайное дерево.</p>									<p>семинаре, участие в дискуссии.</p>
<p>Методы глобального планирования, основанные на представлении сцены в виде графа. Поиск в ширину. Поиск в глубину. Алгоритм Дейкстры. A* - алгоритм. Развитие и обобщения. Оптимальное планирование. Дискретное динамическое программирование.</p>	12	2	-			4	6	4	<p>Выступление с докладом на семинаре, участие в дискуссии.</p>
<p>Метод искусственного потенциального поля и навигационных функций. Притягивающие и отталкивающие потенциалы. Искусственное потенциальное поле. Навигационная функция. Поиск экстремума, градиентный спуск. Сходимость и связанные проблемы. Методы построения потенциалов и навигационных функций.</p>	12	2	-	4			6	4	<p>Выступление с докладом на семинаре, участие в дискуссии.</p>
<p>Основы кинематики колесных роботов. Основные типы колес и их размещения. Двухколесные роботы. Робот с дифференциальным приводом.</p>	8	2		4			6	2	<p>Выступление с докладом на семинаре, участие в дискуссии.</p>

<p>Автомобилеподобный робот. Машины Дубинса и Реда-Шеппа. Омнимобильные роботы. Обобщения на случай трехмерного пространства. Робот с прицепами. Конфигурационное пространство.</p>							
<p>Методы теории оптимального управления в планировании пути и траектории. Принцип максимума Понтрягина. Релейное управление. Оптимальное перемещение машины Дубинса и робота с дифференциальным приводом. Управление с прогнозирующими моделями.</p>	8	2			4	2	<p>Проверка выполнения контрольного задания 3. Выступление с докладом на семинаре, участие в дискуссии.</p>
<p>Итерационное локальное планирование и уклонение от статических препятствий. Методы гистограммы секторальных данных, диаграммы близости, скоростей и кривизны, кривизны аллей, динамического окна. Методы на основе движения вдоль границы. Методы отслеживания границы.</p>	6	2			4	2	<p>Выступление с докладом на семинаре, участие в дискуссии.</p>
<p>Итерационное локальное планирование и уклонение от динамических препятствий.</p>	6	2			4	2	<p>Выступление с докладом на семинаре, участие в дискуссии.</p>

Итого	108	36	36	72	36
-------	-----	----	----	----	----

3. Текущий контроль и промежуточная аттестация

Текущий контроль состоит в выполнении коротких контрольных заданий, выступлений и блиц-опросах на семинарах. Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

3.1. Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Для текущего контроля обучающиеся готовят коллективные или индивидуальные презентации для выступления на семинарах, проводимых в форме интеракции с аудиторией, в ходе которых отвечают на вопросы аудитории и преподавателя. Также текущий контроль проводится в форме коротких заданий, предлагаемых обучающимся в часы лекционных или семинарских занятий.

Экзамен проводится в письменно-устной форме. Обучающийся в течении 45 минут готовит ответ на два вопроса экзаменационного билета. После чего излагает материал экзаменатору в устной форме, используя подготовленный конспект. При необходимости во время ответа экзаменатор задаёт уточняющие вопросы по теме билета. После ответа по билету экзаменатор задаёт один или, при необходимости, два вопроса по материалу курса не вошедшему в билет.

3.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине:

Критерии выставления экзаменационных оценок.

Оценка «отлично» выставляется при исчерпывающих ответах на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется при правильных ответах на вопросы экзаменационного билета, но с упущенными некоторыми ключевыми моментами, и правильных ответов на дополнительные вопросы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется при правильном ответе на один из вопросов экзаменационного билета и правильном ответе на один из двух дополнительных вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при неправильном ответе на оба вопроса экзаменационного билета или неправильном ответе на оба дополнительных вопроса. Оценка «неудовлетворительно» выставляется также в случае, если в течение семестра или при ответе на экзаменационные вопросы обучающийся систематически допускал грубые ошибки, свидетельствующие об отсутствии базовых знаний, необходимых для обучения в магистратуре по специальности «Прикладная математика и информатика».

Критерии выставления оценок по шкале ECTS:

Оценка А ставится обучающемуся, полностью овладевшему теоретическим материалом и продемонстрировавшему принципы его применения на практике.

Оценка В ставится обучающемуся, полностью овладевшему теоретическим материалом и в основном продемонстрировавшему принципы его применения на практике.

Оценка С ставится обучающемуся, достаточно полно овладевшему теоретическим материалом и в основном продемонстрировавшему принципы его применения на практике.

Оценка D ставится обучающемуся, имеющему пробелы в овладении теоретическим материалом или в его применении на практике, если эти пробелы не являются решающими.

Оценка E ставится обучающемуся, имеющему пробелы как в овладении теоретическим материалом так и в его применении на практике, если эти пробелы не являются решающими.

Оценка F ставится обучающемуся, имеющему существенные пробелы в овладении теоретическим материалом и в его применении на практике.

4. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости

Примеры контрольных заданий.

1. Чем отличается алгоритм Дейкстры, алгоритм A* и алгоритм D*?
2. Произвести клеточное разбиение предложенной сцены методом подвижной прямой.
3. На предложенной сложной сцене построить траекторию робота, управляемого в соответствии с алгоритмом Angulus.
4. Для предложенной сцены построить искусственный потенциал
5. Написать уравнения кинематики колесного робота с двумя прицепами.

Задания выполняются в течение жестко ограниченного времени, примерно 10-15 минут.

Примерный список экзаменационных вопросов.

1. Основные задачи теории автономной навигации и управления движением роботов.
2. Основные концепции теории автономной навигации и управления движением роботов. Классификация подходов.
3. Кинематика мобильных колесных роботов. Машины Дубинса и Шепарда-Рида
4. Кинематика мобильных колесных роботов. Робот с дифференциальным приводом.
5. Кинематика мобильных колесных роботов. Машина Аккермана.
6. Основные типы колес и их размещения. Двухколесные роботы.
7. Омниколесные роботы.
8. Обобщения машины Дубинса на случай трехмерного пространства.
9. Робот с прицепами. Конфигурационное пространство.

10. Метод скользящих режимов в управлении движением роботов. Концепция метода. Условия скольжения. Доопределение. Основные факты о существовании, единственности и свойствах решения
11. Метод скользящих режимов в управлении движением роботов. Пример применения.
12. Детерминированные локальные алгоритмы автономной навигации с доказательной сходимостью. Алгоритмы Bug1 и Bug2.
13. Детерминированные локальные алгоритмы автономной навигации с доказательной сходимостью. Алгоритмы TangentBug и Angulus.
14. Математическое моделирование роботов и операционной среды в целях синтеза и анализа систем управления и автономной навигации. Базовые концепции и приемы.
15. Метод искусственного потенциального поля и навигационных функций. Основные приемы построения базовых конструкций.
16. Метод искусственного потенциального поля и навигационных функций. Теоремы сходимости, контрпримеры, проблемы и недостатки.
17. Метод искусственного потенциального поля и навигационных функций. Базовые приемы практической имплементации
18. Планирование пути методом дорожной карты. Суть метода, классификация карт по типам, построение карт, связанных с графом прямой видимости и обобщенными диаграммами Вороного.
19. Планирование пути методом дорожной карты. Построение карт методом силуэтов.
20. Алгоритмы поиска пути на графе. Поиск в ширину и поиск в глубину.
21. Алгоритмы поиска пути на графе. Алгоритм Дейкстры и методы A^* и D^* .
22. Алгоритмы поиска пути на графе. Прямой и обратный поиск, сочетание направлений поиска.
23. Алгоритмы поиска пути на графе. Метод динамического программирования
24. Методы клеточной декомпозиции фазового пространства. Задачи заметающего покрытия.
25. Декомпозиция Морса
26. Мозаика и граф Вороного, их обобщения. Метод Форчуна.
27. Представление сцены, основанное на выборке данных.
28. Плотность и вероятностная полнота. Генераторы случайных чисел и векторов.
29. Последовательность ван дер Корпута. Случайное сэмплирование. Дисперсия и разреженность выборки.
30. Детерминированное сэмплирование, сетки и решетки, сетка Сухарева. Последовательности Халтона и Хаммерсли.
31. Инкрементальное сэмплирование и планирование.
32. Пример решения задачи автономного заметающего покрытия двумерной поверхности в трехмерном пространстве траекторией мобильного робота.
33. Методы и критерии оценивания вычислительной сложности задачи планирования пути. Основные факты.
34. Рандомизированные варианты метода дорожной карты PRM подход. Описание, вероятностная полнота.
35. Рандомизированные варианты метода дорожной карты. EST подход.
36. Рандомизированные варианты метода дорожной карты. RRT подход. Описание, вероятностная полнота.
37. Кинодинамическое планирование. Метод динамического программирования.
38. Кинодинамическое планирование. . RRT подход.
39. Методы теории оптимального управления в планировании пути. Основные релевантные факты теории оптимального управления.
40. Методы теории оптимального управления в планировании пути. Примеры применения.
41. Принцип максимума Понтрягина. Релейное управление.

42. Управление с прогнозирующими моделями.
43. Оптимальные перемещения машины Дубинса
44. Оптимальные перемещения робота с дифференциальным приводом.
45. Методы теории оптимального управления в планировании траектории.
46. Методы гистограммы секторальных данных.
47. Методы диаграммы близости
48. Методы скоростей и кривизны,
49. Методы кривизны аллей и динамического окна.
50. Методы на основе движения вдоль границы. Методы отслеживания границы.
51. Метод пространственно-временного континуума.
52. Метод препятствий в пространстве скоростей и его нелинейная версия.
53. Подходы к автономной навигации в динамической среде, отталкивающиеся от состояний неизбежного столкновения.
54. Эвристические и биологически мотивированные алгоритмы автономной навигации. Мотивация и примеры.
55. Биологически мотивированные алгоритмы автономной навигации. Методы исследования глобальной сходимости локального метода.
56. Реактивные алгоритмы. Проблема глобальной сходимости.
57. Основы нечеткой логики. Идея и пример применения при управлении роботами.
58. Пример применения нейронных сетей при планировании движений роботов.
59. Методы автономной навигации в динамической среде с препятствиями. Доказательное планирование.
60. Реактивная безопасная навигация в динамической среде с деформируемыми препятствиями.
61. Алгоритмы достижения консенсуса. Правило ближайших соседней
62. Построение формаций.
63. Задача автономного роботизированного покрытия областей.

5. Дополнительные методические указания для обучающихся

Методические рекомендации по организации учебной работы обучающегося направлены на повышение эффективности его аудиторной и самостоятельной работы по дисциплине.

Значительная часть времени по дисциплине отведена на самостоятельную работу. Основными задачами самостоятельной работы являются:

- проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе);
- подготовка к выступлению на семинарах.

6. Дополнительные методические рекомендации для преподавателей

Изучение дисциплины предусматривает аудиторную и самостоятельную работу студентов. Учитывая форму обучения студентов и количество часов по дисциплине, преподавателю рекомендуется выбирать для лекций и семинарских занятий наиболее сложные темы учебного плана. На семинарских занятиях рекомендуется вовлечение аудитории в активное обсуждение излагаемого материала и его расширение вопросами и

предложениями по тематике обсуждения. Часть семинарского занятия рекомендуется резервировать на обсуждение обучающимися излагаемого материала, достоинств и недостатков излагаемых методов и подходов. Приветствуется итоговое обсуждение в режиме *brainstorm*, где обучающимися предоставляется возможность поделиться идеями по применению и развитию материала, в том числе в связи с выполняемыми ими проектами.

7. Ресурсное обеспечение

7.1. Кадровое обеспечение

Руководитель программы: А.С.Ширяев кандидат физико-математических наук, научный руководитель направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус» .

Авторы программы:

А.С.Ширяев кандидат физико-математических наук, научный руководитель направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус» .

А.С. Матвеев, доктор физико-математических наук, профессор направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус» .

7.2. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы студентов по дисциплине:

В часы самостоятельной работы студенты используют интернет-ресурсы, ресурсы библиотеки АНО ВО «Университет «Сириус» и материалы, предоставляемые преподавателями курса.

7.3. Перечень основной учебной литературы:

1. А.С. Matveev, A.V. Savkin, M. Hoy, C. Wang. *Safe Robot Navigation among Moving and Steady Obstacles*. Butterworth-Heinemann. 2016.
2. S.G.Tzafestas. *Introduction to Mobile Robot Control*. Elsevier. 2014
3. Н. Choset, K. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. Kavraki, S. Thrun. *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementation*, MIT Press. 2005
4. *Motion and Operation Planning of Robotic Systems Background and Practical Approaches*. G. Carbone and F. Gomez-Bravo Editors, Springer International Publishing : Imprint: Springer, 2015,

7.4. Перечень дополнительной учебной литературы:

1. *Springer Handbook of Robotics*, Bruno Siciliano and Oussama Khatib, Editors, Springer International Publishing Switzerland, 2016. <https://proxy.library.spbu.ru:3316/10.1007/978-3-319-32552-1> (дата обращения: 30.04.2019)
- 2 A.V. Savkin, T.M. Cheng, Z. Xi, F. Javed, A.S. Matveev, H. Nguyen, *Decentralized Coverage Control Problems for Mobile Robotic Sensor and Actuator Networks*, IEEE Press and John Wiley & Sons, 2015, Hoboken, NJ,
3. A. Wayne. *Robot Kinematics and Motion Planning*. Nova Science Publishers. Inc. NY 2014
4. F. Farbod. *Autonomous Robots Modeling, Path Planning, and Control*. Boston, MA : Springer, US, 2009.

5. P. Corke. Robotics, Vision and Control Fundamental Algorithms in MATLAB. Springer Berlin Heidelberg : Imprint: Springer, 2011

7.5. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Сайты по тематике дисциплины:

1. <https://robotacademy.net.au/>
2. YALMIP. Программный пакет и документация: <https://yalmip.github.io>
3. SDPT3. Программный пакет и документация: <https://blog.nus.edu.sg/mattohkc/software/sdpt3/>
4. CVX. Программный пакет и документация: <http://cvxr.com/cvx/>
5. Sedumi. Программный пакет: https://sedumi.ie.lehigh.edu/?page_id=58

Периодические издания:

1. the International Journal of Robotics Research
2. IEEE Transactions on Robotics
3. IEEE Transactions on Automatic Control
4. Robotics and Autonomous Systems
5. IEEE Robotics and Automation Letters
6. Journal of Intelligent & Robotic Systems
7. Journal of Field Robotics

7.6. Описание материально-технической базы:

7.6.1. Аудиторный фонд и оборудование:

№ п.п.	Вид аудитории	Технические средства и оборудование (кол-во)	Расходные материалы (кол-во)
1.	Учебная аудитория для проведения лекционных и семинарских занятий	Три большие меловые или маркерные доски. Большой экран для проекции слайдов.	Мел или маркер 15 шт.

7.6.2. Оборудование для лабораторных и практических занятий: отсутствует

7.7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения:

1. Miktex с пакетом Beamer --- свободно распространяемый дистрибутив Tex для платформ Windows и Linux .

АВТНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»
(АНО ВО «УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»)

Научный центр информационных технологий и интеллектуального интеллект

СОГЛАСОВАНО
Ученым советом

АНО ВО «Университет «Сириус»
(протокол от «03» августа 2021 г. № 05)



УТВЕРЖДАЮ

Руководитель отдела по учебно-методической работе
АНО ВО «Университет «Сириус»
Г.В. Федоров
2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование и управление трюсовыми роботами

наименование дисциплины

Уровень высшего образования:
магистратура

бакалавриат, специалитет, магистратура, аспирантура

Направление подготовки (специальность):

01.04.02 Прикладная математика и информатика

код и название направления/специальности

Направленность (профиль):

Математическая робототехника и искусственный интеллект

код и название направления/специальности

Форма обучения:

очная

очная / очно-заочная / заочная

Федеральная территория «Сириус» - 2021 г.

1. Общая характеристика дисциплины

1.1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО):
Уровень высшего образования: магистратура;

Направление подготовки: 01.04.02 Прикладная математика и информатика;

Направленность (профиль): Математическая робототехника и искусственный интеллект (далее – образовательная программа, ОПОП ВО);
Форма реализации (очная, дистанционная): очная с возможностью применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

1.2. Место дисциплины в образовательной программе и описание взаимосвязи дисциплины с другими реализуемыми в АНО ВО «Университет «Сириус» образовательными модулями, образовательными программами, научными исследованиями и проектами:
В рамках ОПОП ВО дисциплина реализуется в третьем семестре.

Изучению дисциплины в рамках ОПОП ВО предшествует изучение дисциплины: Математические основы робототехники, Основы программирования на Python, Методы управления движением робототехнических систем.

Изучение дисциплины необходимо для освоения следующих дисциплин ОПОП ВО: нет.
Дисциплина может быть использована в качестве дисциплины по выбору.

1.3. Входные требования для освоения дисциплины: знание математического анализа, линейной алгебры и дифференциального исчисления в объеме программы бакалавриата по программам бакалавриата в рамках направлений подготовки из областей образования «Математические и естественные науки», «Инженерное дело, технологии и технические науки», умение использовать языки программирования и специализированные программные пакеты для выполнения вычислений на ЭВМ.

1.4. Цель дисциплины: формирование у обучающихся теоретических и практических знаний в области моделирования трасовых систем и роботов, планирования движения и управления подобными системами.

1.5. Задачи дисциплины: развитие у обучающихся навыков моделирования практических робототехнических систем, умения получать и обрабатывать данные с реальных датчиков, а также навыков синтеза систем управления и их практической реализации на трасовых роботах.

1.6. Язык преподавания: русский.

1.7. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с формируемыми компетенциями:

Формируемые компетенции (код компетенции, формулировка)	Индикаторы
ПК-3. Способен применять современные инженерные знания и подходы к решению практических задач.	ПК-3.4. Умеет проводить энергетический и динамический расчет тросовых систем
ПК-4. Способен разрабатывать и применять наукоемкое алгоритмическое обеспечение.	ПК-3.5. Умеет осуществлять настройку системы управления роботизированной тросовой системы ПК-4.4. Умеет синтезировать алгоритмы планирования и управления движением тросовых системам

2. Структура дисциплины

2.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:
 объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 академических часов, из которых 72 академических часов составляет контактная работа обучающихся с преподавателем (36 ак. часов занятий лекционного типа, 36 ак. часов практических занятий), 36 академических часов составляет самостоятельная работа обучающихся.

2.2. Календарный график реализации дисциплины (в случае реализации дисциплины в формате интенсива):

день	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 пара	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	пр	пр	пр	пр	сам	сам	сам	ЭКЗ
2 пара	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	пр	пр	пр	пр	сам	сам	сам	ЭКЗ
3 пара	лек	лек	лек	лек	пр	пр	пр	пр	пр	пр	пр	пр	пр	сам	сам	сам	сам	ЭКЗ
4 пара	сам	сам	сам	пр	пр	пр	пр	пр	пр	пр	сам	сам	сам	сам	сам	сам	сам	ЭКЗ

В таблице использованы следующие сокращения: “лек” – лекция, “пр” – практическое занятие, “сам” – самостоятельная работа, “ЭКЗ” – экзамен.

2.3. Учебный план дисциплины и её содержание, структурированное по темам (разделам):

Наименование разделов и тем дисциплины	В том числе						Самостоятельная работа обучающегося, ак. часы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), ак. часы из них							
	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего		
Введение. Краткая история дисциплины. Примеры тросовых систем в современной робототехнике. Достоинства и недостатки тросовых систем. Принцип работы приводов на основе скручивания нитей.	18	6	-	6	-	-	12	6
Математическое моделирование: кинематика. Уравнения связей. Геометрические связи в приводах на основе скручивания нитей (ПСН). Решение прямой и обратной задачи кинематики. Дифференциальная	18	6	-	6	-	-	12	6

<p>кинематика ПСН, матрица Якоби и вырожденные конфигурации. Анализ точности кинематической модели.</p>										<p>Проверка выполнения контрольного задания 1.</p>
<p>Математическое моделирование: статика и динамика. Запись дифференциальных уравнений на основе принципа наименьшего действия и подходов Лагранжа. Энергия в механических системах. Уравнения движения Лагранжа 1-го и 2-го типа. Динамические уравнения ПСН. Физические ограничения в тросовых системах. Идентификация и калибровка тросовых систем.</p>	18	6	-	-	6	-	12	-		<p>Проверка выполнения контрольного задания 2.</p>
<p>Поиск и планирование движения в тросовых системах. Формирование и решение задач оптимального управления без учета и с учетом ограничений. Сглаживание траекторий.</p>	18	6	-	-	6	-	12	6		<p>Проверка выполнения контрольного задания 3.</p>
<p>Управление тросовыми системами. Синтез линейных регуляторов для тросовых систем. Управление на основе моделей различной сложности. Управление по</p>	18	6	-	-	6	-	12	6		<p>Проверка выполнения контрольного задания 3.</p>

скорости и по энергии. Синтез нелинейных регуляторов. Оценка вектора состояния тросовых систем на основе различных методов.																				
Разработка и прототипирование тросовых систем. Примеры использования приводов на скрученных нитях в робототехнике (мобильные роботы, экзоскелеты, схваты). Кинематический, динамический и силовой расчет различных систем. Энергетический расчет приводов.	18	6	-	6	-	-	-	-	-	12	6									
Промежуточная аттестация	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									Экзамен
Итого	108	36	-	36	-	-	-	-	-	72	36									

3. Текущий контроль и промежуточная аттестация

Текущий контроль состоит в проверке выполнения обучающимися контрольных заданий. Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

3.1. Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине:

Для текущего контроля обучающийся представляет отчет о выполнении контрольных заданий, содержащий постановку задачи, описание предложенного метода ее решения, описание и текст программы, реализующей этот метод, и результаты расчетов на компьютере. По результатам проверки отчета обучающемуся выставляется оценка «зачтено» в случае успешного выполнения контрольного задания и «не зачтено» в противном случае. Обучающиеся, не выполнившие успешно хотя бы одно из контрольных заданий, не допускаются до экзамена.

Экзамен проводится в письменной форме. Обучающиеся в течении 90 минут решают 4 экзаменационных задания. После проверки решений экзаменатор при необходимости приглашает обучающегося и задает уточняющие вопросы по решениям заданий. В случае необходимости экзаменатор задает один или два вопроса по материалу курса, не вошедшему в список задач.

3.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине:

Критерии выставления экзаменационных оценок.

Оценка «отлично» выставляется при подробных и точных решениях экзаменационных заданий.

Оценка «хорошо» выставляется при правильных решениях экзаменационных заданий, но с упущенными некоторыми ключевыми моментами, и правильных ответов на дополнительные вопросы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется при правильном решении как минимум половины экзаменационных заданий и правильном ответе на один из двух дополнительных вопросов, либо при правильном решении одного экзаменационного задания, частично правильном решении других заданий и правильных ответах на оба дополнительных вопроса.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при неправильном решении более половины заданий экзаменационного билета и неправильном ответе на оба дополнительных вопроса. Оценка «неудовлетворительно» выставляется также в случае, если при выполнении практических заданий в течение семестра или при ответе на вопросы на экзамене обучающийся допустил грубую ошибку, демонстрирующую отсутствие базовых знаний, необходимых для обучения по образовательной программе.

4. Примеры оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости

Примеры контрольных заданий.

Задание 1. Моделирование динамики тросовых приводов на основе скручивания нитей.

Написать программу, описывающую поведение линейной тросовой системы при приложении различных управляющих воздействий на двигатель. Исследовать зависимость требуемого крутящего момента от параметров тросов (радиус, длина), а также от параметров приложенной полезной нагрузки. Построить графики крутящего момента двигателя от угла поворота и сокращения тросов. Исследовать и построить передаточное отношение привода на скручивании нитей для различных углов закручивания. Построить временные и фазовые характеристики крутящего момента для различных управляющих воздействий и приложенных нагрузок. Написать отчет о проделанной работе и полученных результатах.

Задание 2. Планирование траекторий движения тросовых систем.

Используя заданные статические и динамические параметры тросовой системы, произвести планирование оптимальной траектории движения полезной нагрузки в указанном диапазоне перемещения за требуемый интервал времени. Произвести сглаживание результирующей траектории и сравнение работы двух планировщиков движения. Оценить требуемый крутящий момент двигателя для генерации двух рассчитанных траекторий. Произвести моделирование работы системы при ограничениях на крутящий момент и скорость вращения двигателя. Написать отчет о проделанной работе и полученных результатах.

Задание 3. Разработка системы управления тросовой системой.

На основе заданных параметров роботизированной системы и желаемых траекторий движения, синтезировать регуляторы возрастающей сложности (ПД, ПД+, ПД с компенсирующим сигналом, обратная динамика, робастное управление) для отслеживания данных траекторий. Промоделировать движение систем управления и исследовать их производительность (требуемый крутящий момент, ошибки позиционирования, коэффициент перерегулирования, время установления переходного процесса). Запрограммировать различные системы управления на практической тросовой системе и построить временные и фазовые характеристики желаемой и реальной траектории движения для каждого случая. Проанализировать результаты. Написать отчет о проделанной работе и полученных результатах.

Примерный список экзаменационных заданий.

1. Запишите уравнения механической энергии тросовой робототехнической системы и выведите на их основе дифференциальные уравнения движения.
2. Произведите оценку различных составляющих крутящего момента (инерциальная, кориолисова, гравитационная) для заданных параметров движения и системы.
3. Напишите общий вид различных систем управления с обратной связью для тросовой системы (ПД-регулятор, линеаризация обратной связью, управление на основе обратной кинематики/динамики, робастное управление) и проведите оценку ошибки слежения за заданными траекториями для каждой из систем.
4. Произведите энергетический расчет системы для заданных динамических параметров и траектории движения.

5. Методические материалы для обучающихся

Методические рекомендации по организации учебной работы обучающихся направлены на повышение эффективности его аудиторной и самостоятельной работы по дисциплине.

Значительная часть времени по дисциплине отведена на самостоятельную работу. Основными задачами самостоятельной работы являются:

- проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе);
- выполнение контрольных заданий, включающих в себя решение теоретических задач и составление программ для получения результатов численного моделирования на компьютере;
- подготовка отчетов о выполнении контрольных заданий.

6. Дополнительные методические рекомендации для преподавателей

Изучение дисциплины предусматривает аудиторную и самостоятельную работу обучающихся. Учитывая форму обучения и количество часов по дисциплине, преподавателю рекомендуется выбирать для лекций и практических занятий наиболее сложные темы учебного курса. На практических занятиях обучающимся предлагаются задания, помогающие усвоить лекционный материал и иллюстрирующие основные понятия, и определения на конкретных примерах. Значительная часть практических занятий отводится на освоение основ управления практическими тросовыми системами, а также практическое применение теоретических знаний, полученных в ходе чтения лекций. В ходе выполнения практических заданий полезно

выбирать задачи, которые допускают решение разными методами, и предлагать обучающимся сравнить результаты разных решений, а также обсудить достоинства и недостатки методов. Контрольные задания желательно разбить на последовательные этапы и рекомендовать обучающимся обсуждать с преподавателем выполнение этапов задания.

7. Ресурсное обеспечение

7.1. Кадровое обеспечение

Гапонов И. Ю., кандидат технических наук, профессор института робототехники и компьютерного зрения АНО ВО «Университет Иннополис».

Авторы программы:

Гапонов И. Ю., кандидат технических наук, профессор института робототехники и компьютерного зрения АНО ВО «Университет Иннополис».
Неделчев С.И., аспирант института робототехники и компьютерного зрения АНО ВО «Университет Иннополис».

7.2. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

В рамках самостоятельной работы обучающиеся используют интернет-ресурсы с примерами решения задач моделирования и управления в средах MATLAB и на языке программирования Python, а также ресурсы со спецификациями и руководствами по эксплуатации практических двигателей (Maxon motor).

7.3. Перечень основной учебной литературы:

1. Igor Gaponov, Simeon Nedelchev, and Jee-Hwan Ryu. Twisted string actuation systems. Elsevier, 2021.
2. Айзерман М. А. Классическая механика. Физматлит, 2005.
3. Юревич Е. И. Управление роботами и робототехническими системами: Учеб. пособие. 2001.
4. Щербаков В. П. Прикладная и структурная механика волоконистых материалов. М.:«Тисо Принт». 2013

7.4. Перечень дополнительной учебной литературы:

1. Kevin W. Cassel. Variational methods with applications in science and engineering. Cambridge University Press, 2013.
2. Gianluca Palli, Ciro Natale, Chris May, Claudio Melchiorri, and Thomas Wurtz. Modeling and control of the twisted string actuation system. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 18(2): 664–673, 2013.
3. Igor Gaponov, Dmitry Popov, and Jee-Hwan Ryu. Twisted string actuation systems: A study of the mathematical model and a comparison of twisted strings. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 19(4): 1331–1342, 2013.
4. Simeon Nedelchev, Igor Gaponov, and Jee-Hwan Ryu. Accurate dynamic modeling of twisted string actuators accounting for string compliance and friction. IEEE Robotics and Automation Letters 5, no. 2 (2020): 3438-3443.

5. Simeon Nedelchev, Igor Garonov, and Jee-Hwan Ryu. High-bandwidth control of twisted string actuators. In 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 5359-5364. IEEE, 2019.

7.5. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Сайты по тематике дисциплины:

Документация к MATLAB: <https://www.mathworks.com/help/>

Документация к Google Colaboratory и Python: <https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb>

Периодические издания:

1. IEEE Transactions on Mechatronics
2. IEEE Robotics and Automation Letters
3. Science Robotics
4. Journal of Soft Robotics
5. Elsevier Mechanism and Machine Theory
6. Elsevier Sensors and Actuators
7. Proceedings of International Conference on Robotics and Automation (ICRA)
8. Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems

7.6. Описание материально-технической базы:

7.6.1. Аудиторный фонд и оборудование:

№ п.п.	Вид аудитории	Технические средства и оборудование (кол-во)	Расходные материалы (кол-во)
1.	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	Маркерная доска. Большой экран для проекции слайдов.	Маркер 15 шт.
2.	Компьютерный класс для проведения практических занятий	Маркерная доска. Большой экран для проекции слайдов.	Маркер 10 шт.

7.6.2. Оборудование для лабораторных и практических занятий: линейные и вращательные системы с одной степенью свободы с использованием приводов на основе скручивания нитей.

7.7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения:

Лицензионный пакет программ MATLAB/Simulink и/или бесплатный ресурс Google Colaboratory <https://colab.research.google.com/>

АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»
(АНО ВО «УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»)

Научный центр информационных технологий и искусственного интеллекта

СОГЛАСОВАНО
Ученым советом

АНО ВО «Университет «Сириус»
(протокол от «03» августа 2021 г. № 05)



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

Образовательная программа:

Математическая робототехника и искусственный интеллект

наименование образовательной программы

Уровень высшего образования:

магистратура

(бакалавриат / магистратура / подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре)

Направление подготовки (специальность):

01.04.02 Прикладная математика и информатика

(код и название направления/специальности)

Направленность (профиль):

Математическая робототехника и искусственный интеллект

название направленности (профиля)

Форма обучения:

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Федеральная территория «Сириус» - 2021 г.

Составители:

1. Ширяев А.С., кандидат физико-математических наук, научный руководитель направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».
2. Матвеев А.С., доктор физико-математических наук, зав.кафедрой теоретической кибернетики СПбГУ, профессор направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».
3. Соколов С.В., доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой теоретической механики МФТИ, руководитель магистерской программы «Современная механика и робототехника» МФТИ.
4. Фридман Л.М., кандидат физико-математических наук, доктор технических наук, профессор в UNAM (Мексика).
5. Иванов А.П., доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической механики МФТИ.
6. Смирнова В.Б., доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей математики и информатики СПбГУ.
7. Гусев С.В., кандидат физико-математических наук, профессор направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».
8. Гапонов И. Ю., кандидат технических наук, профессор института робототехники и компьютерного зрения АНО ВО «Университет Иннополис».
9. Robertsson A., Ph.D, Professor at Department of Automatic Control, Lund University, Sweden.
10. Полушин И.Г., доктор философии в области инженерных наук (Ph.D. in Electrical Engineering, Канада), кандидат технических наук, профессор в Университете Западного Онтарио (Western University, Канада).
11. Фрейдович Л.Б., доктор философии в математике (Ph.D. in Math, США), кандидат физико-математических наук, доцент в университете г. Умео (Umeå University, Швеция).
12. Шелелявый А.И., кандидат физико-математических наук, доцент кафедрой теоретической кибернетики СПбГУ.
13. Суров М.О., кандидат технических наук, инженер систем управления ООО "Эррайвал рус".

1. Общие положения

1.1. Итоговая аттестация выпускников, завершающих обучение по программам высшего образования, является заключительным и обязательным этапом оценки содержания и качества освоения студентами основной образовательной программы по направлению 01.04.02 Прикладная математика и информатика, профиль «Математическая робототехника и искусственный интеллект».

Итоговая аттестация относится к базовой части образовательной программы и завершается присвоением квалификации «Магистр». Успешное прохождение итоговой аттестации является основанием для выдачи обучающемуся документа о высшем образовании и о квалификации.

1.2. В итоговую аттестацию выпускников образовательной программы «*Математическая робототехника и искусственный интеллект*» входит:

- итоговый экзамен,
- подготовка и защита выпускной квалификационной работы.

1.3. Цель итоговой аттестации:

Получить подтверждение способности обучающегося к самостоятельной научно-исследовательской и инновационной практической деятельности по специальности.

1.4. Задачи итоговой аттестации:

- Оценить теоретические знания и практические умения и навыки, полученные при освоении дисциплин и прохождении практик, предусмотренных образовательной программой,
- Оценить научно-исследовательский потенциал обучающегося,
- Оценить способность обучающегося к инновационной деятельности.

1.5. Объем итоговой аттестации и виды учебной работы

Итоговая аттестация проходит в четвертом семестре на базе знаний, полученных обучающимися при изучении дисциплин направления **01.04.02 «Прикладная математика и информатика»**, профиль «*Математическая робототехника и искусственный интеллект*».

Общая трудоемкость итоговой аттестации составляет 9 зачетных единиц (324 ак. часа), в том числе:

- *Итоговый экзамен (3 з.е.; 108 ак. часов);*
- *Подготовка и защита выпускной квалификационной работы (6 з.е.; 216 ак. часов).*

1.6. Требования к результатам итоговой аттестации

К итоговой аттестации допускается обучающийся, не имеющий академической задолженности и в полном объеме выполнивший учебный план по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика, профиль Математическая робототехника и искусственный интеллект.

Выпускник, освоивший образовательную программу, должен обладать всеми компетенциями указанными в матрице компетенций по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика, профиль, Математическая робототехника и искусственный интеллект.

2. Программа итогового экзамена

Итоговый экзамен проводится в письменной форме.

На экзамене обучающиеся получают экзаменационный билет, включающий в себя вопросы по отдельным темам.

Темы и вопросы итогового экзамена:

№	Тема	Вопросы
1	Моделирование робототехнических систем	<ol style="list-style-type: none">1. Углы Эйлера. Кинематические уравнения Эйлера для сложного движения твердого тела.2. Методы решения прямой и обратной задач кинематики для робота-манипулятора простой структуры. Системы координат Денавита-Хартенберга.3. Уравнения Лагранжа второго рода в случае потенциальных сил. Теорема об изменении полной механической энергии.4. Методы вывода и свойства уравнений динамики робота-манипулятора с простой структурой.5. Движение тела сферической формы по неподвижной шероховатой поверхности.6. Уравнения Гамильтона для систем с идеальной неупругивающей связью7. Динамика тела на упругой плоскости8. Модель трения LuGre
2	Основы теории линейных систем управления	<ol style="list-style-type: none">1. Методы настройки ПИД регулятора2. Критерии полной управляемости и наблюдаемости линейной системы3. Критерии устойчивости линейной системы. Уравнение Ляпунова.

	<p>4. Наблюдатель Люенбергера</p> <p>5. Линейно-квадратичная задача оптимального управления</p> <p>6. Алгебраическое матричное уравнение Риккати.</p> <p>7. Критерии устойчивости линейной системы с периодическими коэффициентами.</p> <p>8. Дифференциальное матричное уравнение Риккати с периодическими коэффициентами.</p>
<p>3</p> <p>Основы теории нелинейных систем управления</p>	<p>1. Теоремы первого и второго методов Ляпунова.</p> <p>2. Решения дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями.</p> <p>3. Релейное управление со скользящим режимом. Достаточные условия устойчивости.</p> <p>4. Определение и примеры динамических систем, допускающих линеаризацию по обратной связи.</p> <p>5. Применение скользящих режимов для робастной стабилизации механических систем</p> <p>6. Лемма Калмана-Попова-Якубовича</p> <p>7. Круговой критерий абсолютной устойчивости нелинейных системами</p> <p>8. Критерий Попова абсолютной устойчивости нелинейных систем</p>
<p>4</p> <p>Обработка информации в робототехнических системах</p>	<p>1. Фильтр Калмана.</p> <p>2. Преобразования сигналов: непрерывное и дискретное преобразование Фурье, дискретное косинусное преобразование.</p> <p>3. Математические модели камер</p> <p>4. Фильтрация изображений: оконные фильтры, временные фильтры.</p> <p>5. Определение движений объектов по видеопотоку.</p> <p>6. Кластеризация и сегментация изображений.</p> <p>7. Методы классификации: линейные классификаторы, метод опорных векторов, дискретная оптимизация, случайный лес.</p> <p>8. Нейросети. Байесовские методы машинного обучения.</p>

<p>5 Программирование робототехнических систем</p>	<p>1. Основные типы данных языка C++ 2. Основы парадигмы объектно-ориентированного программирования. Инкапсуляция, наследование, полиморфизм. 3. Основные типы данных языка Python 4. Функции и функциональное программирование в языке Python 5. Объектно-ориентированное программирование в языке Python 6. Программирование роботов компании ABB на языке RAPID 7. Программирование роботов компании ABB с использованием Integrated Force Control. 8. Программирование роботов компании ABB с использованием низкоуровневого доступа к контроллеру робота (RGM Position Guidance).</p>
--	---

3. Требования к выпускной квалификационной работе и порядок ее выполнения

Выпускная квалификационная работа (далее – ВКР) рассматривается как самостоятельная заключительная работа обучающегося, в которой систематизируются, закрепляются и расширяются теоретические знания и практические умения и навыки, полученные при освоении дисциплин и прохождении практик, предусмотренных образовательной программой «*Математическая робототехника и искусственный интеллект*».

3.1. Требования к содержанию ВКР

Выпускная квалификационная работа должна отвечать следующим основным требованиям:

- должна быть посвящена актуальной теме исследований в области робототехники и искусственного интеллекта,
- должна быть выполнена на современном научном уровне,
- должна быть выполнена обучающимся самостоятельно, не должна содержать заимствований.

3.2. Тематика ВКР

Обучающимся предлагается подготовить ВКР по следующим темам:

1. Управление робототехническими системами.
2. Моделирование робототехнических систем.
3. Применение искусственного интеллекта в робототехнике.

4. Алгоритмы обработки информации в робототехнических системах.

5. Вычислительные методы математической робототехники.

3.3. Структура ВКР

Общий объем выпускной квалификационной работы 20 - 40 страниц печатного текста (кроме приложений).

Рекомендуется следующая типовая структура ВКР (при этом структура работы может уточняться обучающимся совместно с руководителем):

№ п.п.	Наименование раздела ВКР	Примерное кол-во страниц
	Введение	1 - 2
1.	Актуальность и состояние исследуемой проблемы и разработок.	2 - 5
2.	Объект и предмет исследования. Терминология.	2 - 5
3.	Формулировка основных результатов	2 - 5
4.	Обоснование результатов.	2 - 5
5.	Выводы и рекомендации по применению результатов.	1 - 3
6.	Список литературы	1 - 3
7.	Приложения, содержащие тексты программ и описание экспериментов.	2 - 20

3.4. Содержание ВКР

Указанные выше основные разделы ВКР должны иметь определенное внутреннее содержание. Требования к этому содержанию приведены ниже.

Определяются научным руководителем ВКР.

3.5. Оформление ВКР

Работа должна быть выполнена шрифтом размера 12 pt через 2 интервала. Рисунки и таблицы должны иметь пояснения, достаточные для понимания их содержания. Включенные в работу тексты программ должны иметь подробные описания.

3.6. Порядок защиты ВКР

Защита проводится на заседании экзаменационной комиссии. На доклад по теме работы отводится 10 минут. После доклада отводится 5 минут на ответы на вопросы членов комиссии. После этого заслушиваются либо зачитываются отзыв научного руководителя и рецензия.

4. Критерии оценки результатов сдачи итогового экзамена

Оценка «отлично» выставляется при верных и исчерпывающих ответах на все вопросы экзаменационного билета.

Оценка «хорошо» выставляется при правильных ответах на все вопросы экзаменационного билета, но с упущенными некоторыми ключевыми моментами либо на полные ответы на четыре вопроса из пяти.

Оценка «удовлетворительно» выставляется при правильных ответах на три вопроса экзаменационного билета из пяти.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если количество правильных ответов меньше трех.

5. Критерии оценки результатов защиты выпускной квалификационной работы

Конкретизация критериев оценки результатов			
Оценка			
«Отлично»	«Хорошо»	«Удовлетворительно»	«Неудовлетворительно»
Работа содержит новые актуальные результаты	Работа содержит новые актуальные результаты либо является реферативной	Работа содержит новые актуальные результаты либо является реферативной	Работа не содержит новых результатов либо реферативная работа не содержит рефератов важных публикаций по теме либо работа выполнена не самостоятельно
Полученные результаты строго обоснованы	Имеются недостатки в обосновании результатов	Обоснование результатов неубедительно	Сформулированные основные результаты ошибочны
Изложение материала является полным и систематическим	Имеются недостатки в изложении материала	Изложение материала фрагментарно	Изложение материала содержит ошибки либо не позволяет понять содержание работы

6. Учебно-методическое обеспечение итоговой аттестации

6.1. Основная литература:

1. G. Goodwin, S. Graebe, M. Salgado. "Control System Design." 2001

2. Халил Х. К. Нелинейные системы; пер. с англ. Макаров И.А.; ред. пер. с англ. Фрадков А.Л. - 3-е изд. - М.; Ижевск: Ин-т компьютерных исследований: Регулярная и хаотическая динамика, 2009. - XVIII, 812 с. - (Бестселлеры нелинейной науки). ISBN 978-5-93972-724-2.

3. Shtessel Y., C. Edwards, L. Fridman, and A. Levant, "Sliding Mode Control and Observation", ser. Control Engineering. Springer New York, 2014, 356 с. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-8176-4893-0>
 4. "Springer Handbook of Robotics." B. Siciliano B. and O. Khatib (Eds.) 2016. ISBN 978-3-319-32552-1
 5. W. Khalil and E. Dombre. "Modeling, Identification and Control of Robots." Butterworth-Heinemann. 2004
 6. Freidovich L. "Introduction to Robot Modeling and Control," 2020.
 7. Маркеев А.П. Динамика твердого тела, соприкасающегося с твердой поверхностью. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2014.
 8. Иванов А.П. Основы теории систем с трением. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011.
 9. Тимофеев Г.А. Теория механизмов и машин. М.: Юрайт, 2012.
 10. B. Stroustrup: [A Tour of C++ \(Second Edition\)](#). July 2018. Addison-Wesley. ISBN 978-0-13-499783-4. 240 pages. Softcover and electronic versions.
 11. Szeliski, Computer Vision: Algorithms and Applications, Springer, 2010 (online draft)
 12. Hartley and Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2004
 13. Goodfellow, Bengio, Courville, Deep Learning, MIT Press, 2016
 14. Мейерс Скотт, Эффективный и современный C++: 42 рекомендации по использованию C++11 и C++14. Вильямс, 2019.
 15. John M. Zelle, Python Programming An Introduction to Computer Science 3rd Revised edition, 2016
 16. Wes McKinney, Python for Data Analysis, 2e: Data Wrangling with Pandas, Numpy, and Ipython, 3 Nov. 2017
- 6.2. Дополнительная литература:
1. K. Astrom, R. Murray. "Feedback Systems. An Introduction for Scientists and Engineers." Princeton University Press. 2nd Edition. 2020
 2. Khalil, H.K. Nonlinear control, Boston: Pearson, 2015.
 3. A.Bloch. "Nonholonomic Mechanics and Control." Springer, 2015

4. Сачков Ю.Л. "Введение в геометрическую теорию управления." URSS, 2021
5. Журавлев В.Ф. Основы теоретической механики. . М.: Физматлит, 2008.
6. Болотин С. В., Карапетян А.В., Кугушев Е.И., Трещев Д.В. Теоретическая механика. М.: Академия, 2010.
7. Forsyth and Ponce, Computer Vision: A Modern Approach, Prentice Hall, 2002
8. Duda, Hart and Stork, Pattern Classification (2nd Edition), Wiley-Interscience, 2000
9. B. Stroustrup: [Programming -- Principles and Practice Using C++ \(Second Edition\)](#). May 2014. Addison-Wesley. ISBN 978-0321992789. 1312 pages. Softcover and electronic versions.
10. David Beazley, Brian K. Jones, Python Cookbook: Recipes for Mastering Python 3 3rd Edition
11. Joel Andersson, Joris Gillis, Moritz Diehl, User Documentation for CasADi, 2018

6.3. Электронные информационные ресурсы

1. Справочник по языку RAPID
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107046A8697&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
2. Описание пакета низкоуровневого доступа к контроллеру
<https://abb.sluzba.cz/Pages/Public/OmniCoreRoboticsDocumentationRW7/Controllers/RobotWare/en/3HAC073318-001.pdf>
3. Инструкция к пакету RobotStudio
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC032104-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
4. Описание пакета RobotStudio
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC026932-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

АВТНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»
(АНО ВО «УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»)

Научный центр информационных технологий и интеллектуального интеллекта

СОГЛАСОВАНО
Ученым советом

АНО ВО «Университет «Сириус»
(протокол от «03» августа 2021 г. № 05)



УТВЕРЖДАЮ

Руководитель отдела по учебно-методической работе
АНО ВО «Университет «Сириус»

Г.В. Федоров

«03» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Частотные методы исследования систем

наименование дисциплины

Уровень высшего образования:

магистратура

бакалавриат, специалитет, магистратура, аспирантура

Направление подготовки (специальность):

01.04.02 Прикладная математика и информатика

код и название направления/специальности

Направленность (профиль):

Математическая робототехника и интеллектуальный интеллект

код и название направления/специальности

Форма обучения:

очная

очная / очно-заочная / заочная

Федеральная территория «Сириус» - 2021 г.

1. Общая характеристика дисциплины

1.1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО):

Уровень высшего образования: магистратура;

Направление подготовки: 01.04.02 Прикладная математика и информатика;

Направленность (профиль): Математическая робототехника и искусственный интеллект (далее – образовательная программа, ОПОП ВО);

Форма реализации (очная, дистанционная): очная с возможностью применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

1.2. Место дисциплины в образовательной программе и описание взаимосвязи дисциплины с другими реализуемыми в АНО ВО «Университет «Сириус» образовательными модулями, образовательными программами, научными исследованиями и проектами:

В рамках ОПОП ВО дисциплина реализуется в третьем семестре.

Изучению дисциплины в рамках ОПОП ВО предшествует изучение дисциплин: математические основы робототехники, численные методы нелинейной и выпуклой оптимизации.

Изучение дисциплины необходимо для освоения следующих дисциплин ОПОП ВО: современные методы управления нелинейными системами, мобильная робототехника.

1.3. Входные требования для освоения дисциплины: знание математического анализа и линейной алгебры в объеме программы бакалавриата по программам бакалавриата в рамках направлений подготовки из областей образования «Математические и естественные науки», «Инженерное дело, технологии и технические науки», умение использовать языки программирования и специализированные программные пакеты для выполнения вычислений на ЭВМ.

1.4. Цель дисциплины: формирование у обучающихся теоретических знаний в области исследования устойчивости и робастности линейных и нелинейных систем управления.

1.5. Задачи дисциплины: развитие у обучающихся математического мышления, умения ставить, исследовать и решать задачи оптимизации, возникающие при разработке систем управления в робототехнике.

1.6. Язык преподавания: русский.

1.7. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с формируемыми компетенциями:

Формируемые компетенции (код компетенции, формулировка)	Индикаторы
ПК-1. Способен применять современные математические методы для решения практических задач.	ПК-1.4. Применяет частотные методы анализа систем для решения прикладных задач
	ПК-1.5. Применяет методы робастного управления для анализа влияния возмущений на работу систем управления

2. Структура дисциплины

2.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 академических часов, из которых 72 академических часов составляет контактная работа обучающихся с преподавателем (36 ак. часов занятий лекционного типа, 36 ак. часов практических занятий, часов аттестации), 36 академических часов составляет самостоятельная работа обучающихся.

2.2. Календарный график реализации дисциплины (в случае реализации дисциплины в формате интенсива):

день	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 пара	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	пр	пр	пр	сам	сам	сам	ЭКЗ
2 пара	лек	лек	лек	лек	лек	лек	лек	пр	пр	атт	пр	сам	сам	сам	сам	сам	сам	ЭКЗ
3 пара	пр	пр	пр	пр	пр	пр	пр	пр	пр	пр	пр	пр	сам	сам	сам	сам	сам	ЭКЗ
4 пара								сам	сам	сам	сам	сам	сам				атт	ЭКЗ

В таблице использованы следующие сокращения: лек – лекция, пр – практическое занятие, сам – самостоятельная работа, атт – текущая аттестация, экз – экзамен.

2.3. Учебный план дисциплины и её содержание, структурированное по темам (разделам):

Наименование разделов и тем дисциплины	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, ак. часы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), ак. часы из них					
	Ла	Пр	Се	Всего		
	Л	Пр	Се <td>Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации</td> <td></td> <td></td>	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации		
	е	акт	ми			
	к	иче	нар			
	ц	ски	ы			
	и	е	зан			
	и	ати	яти			
	я	я	я			

<p>Введение. Линейные и нелинейные системы. Основные классы. Примеры.</p>	6	2	-	2	-	-	4	2		
<p>Устойчивость и неустойчивость. Сравнительный анализ различных определений. Метод функций Ляпунова. Примеры теорем Ляпунова об устойчивости и неустойчивости нелинейных систем. Примеры функций Ляпунова.</p>	6	2	-	2	-	-	4	2		
<p>Линеаризация нелинейных систем. Применение методов линейной теории при исследовании нелинейных систем. Матричное уравнение Ляпунова и теорема о его разрешимости.</p>	6	2	-	2	-	-	4	2		
<p>Частотная передаточная функция линейной системы. Амплитудная и фазовая частотные характеристики. График частотной передаточной функции и его свойства. Критерии Михайлова и Найквиста.</p>	6	2	-	2	-	-	4	2		
<p>Абсолютная устойчивость. Виды и примеры квадратичных связей. Случай нескольких квадратичных</p>	18	6	-	6	-	-	12	6		

<p>связей. Проблема их агрегирования.</p> <p>Частотная теорема (лемма Якубовича-Попова-Калмана). Формулировка, обсуждение, обоснование.</p> <p>Частотная теорема и линейно-квадратичная теория оптимального управления. S – процедура. Результаты о неустойчивости S - процедуры. Их объяснение и применение.</p>	<p>12</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>8</p>	<p>4</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>4</p>	<p>8</p> <p>8</p>	<p>4</p> <p>4</p>						<p>Проверка выполнения контрольного задания 1.</p>	
	<p>12</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>8</p>	<p>4</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>4</p>	<p>8</p> <p>8</p>	<p>4</p> <p>4</p>						<p>Проверка выполнения контрольного задания 2.</p>	
<p>Квадратичные частотные условия для нелинейных систем.</p> <p>Круговой критерий (скалярный и матричный случаи). Критерий Попова (скалярный и матричный случаи). Диссипативность. Критерий диссипативности. Частотные критерии для систем с разрывной нелинейностью и неединственным положением равновесия. Частотные критерии для системы с импульсной модуляцией. Частотные критерии для системы с запаздываниями.</p> <p>Системы с дискретной моделью времени. Способы описания таких систем, определения устойчивости и неустойчивости, примеры. Метод функций Ляпунова для дискретных систем. Примеры теорем об устойчивости и</p>	<p>12</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>8</p>	<p>4</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>4</p>	<p>8</p> <p>8</p>	<p>4</p> <p>4</p>						<p>Проверка выполнения контрольного задания 1.</p>	
	<p>12</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>4</p> <p>-</p> <p>8</p>	<p>4</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>4</p>	<p>8</p> <p>8</p>	<p>4</p> <p>4</p>						<p>Проверка выполнения контрольного задания 2.</p>	

<p>неустойчивости нелинейных дискретных систем. Частотная теорема для систем с дискретным временем. Частотные критерии устойчивости для систем с дискретным временем.</p>								
<p>Методы описания линейных систем. Описание в пространстве состояний и передаточные матрицы. Блок-схемы. Построение модели в пространстве состояний по заданной передаточной матрице. Сбалансированная реализация системы. Упрощение модели с использованием сбалансированной реализации. Упрощение модели с учетом весовых функций.</p>	10	4	2	-	6	4		
<p>Пространства Харди и оптимальное управление. Внутренне устойчивые системы. Параметризация Юлы. Теорема Неванлинны-Пика. Н-бесконечность оптимизация. Использование весовых функций.</p>	10	4	2	-	6	4		Проверка выполнения контрольного задания 3.
<p>Робастность. Интервальная неопределенность. Теорема Харитонова. Частотные модели неопределенности. Дробно-линейные преобразования. Теорема о</p>	6	2	2		4	2		

малом коэффициенте усиления.												
Промежуточная аттестация	4						4				4	
Итого	108	36	32	4			72				36	
												Экзамен

3. Текущий контроль и промежуточная аттестация

Текущий контроль состоит в проверке выполнения обучающимися контрольных заданий. Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

3.1. Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине:

Для текущего контроля обучающийся представляет отчет о выполнении контрольных заданий, содержащий решения предложенных задач. Для задач, требующих применения компьютера, представляется описание и текст программы и результаты расчетов на компьютере. По результатам проверки отчета обучающемуся выставляется оценка «зачтено» в случае успешного выполнения контрольного задания и «не зачтено» в противном случае. Обучающиеся, не выполнившие успешно хотя бы одно из контрольных заданий, не допускаются до экзамена.

Экзамен проводится в письменно-устной форме. Обучающийся в течении 45 минут готовит ответа на два вопроса экзаменационного билета. После чего излагает материал экзаменатору в устной форме, используя подготовленный конспект. При необходимости во время ответа экзаменатор задаёт уточняющие вопросы по теме билета. После ответа по билету экзаменатор задаёт один или, при необходимости, два вопроса по материалу курса, не вошедшему в билет.

3.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине:

Критерии выставления экзаменационных оценок.

Оценка «отлично» выставляется при исчерпывающих ответах на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется при правильных ответах на вопросы экзаменационного билета, но с упущенными некоторыми ключевыми моментами, и правильных ответов на дополнительные вопросы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется при правильном ответе на один из вопросов экзаменационного билета и правильном ответе на один из двух дополнительных вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при неправильном ответе на оба вопроса экзаменационного билета или неправильном ответе на оба дополнительных вопроса. Оценка «неудовлетворительно» выставляется также в случае, если при выполнении практических заданий в течении семестра или при ответе на вопросы на экзамене обучающийся допустил грубую ошибку, демонстрирующую отсутствие базовых знаний, необходимых для обучения по образовательной программе.

4. Примеры оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости

Примеры задач для контрольных заданий.

1. Найдите амплитудно-фазовую частотную характеристику (частотную передаточную функцию), амплитудную частотную характеристику, и фазовую частотную характеристику линейной системы

$$\ddot{x} - 3\dot{x} + 2x = u$$

2. Постройте набросок годографа частотной передаточной функции от входа u к выходу $y = 3x_2 - x_1$ для системы, описываемой уравнениями

$$\dot{x}_1 = 2x_1 - x_2 + u$$

$$\dot{x}_2 = x_2 - x_1$$

Отметьте направление движения точки годографа при увеличении частоты, найдите точки пересечения с осями и исследуйте асимптотическое поведение для больших частот.

3. Постройте эрмитово расширение квадратичной формы

$$x_1^2 - x_2^2 + 3x_1x_2 + (x_3 - x_4)(x_5 + x_6) + (x_7 + x_8)^2$$

4. На основе кругового критерия найдите область значений параметров (l, m, n) , при которых положение 0 равновесия системы

$$\ddot{x} + l\dot{x} + mx + \varphi(x) = 0$$

асимптотически устойчиво в целом. Про гладкую нелинейную функцию $\varphi(\cdot)$ известно только то, что $0 \leq \frac{\varphi(x)}{x} \leq n \forall x \neq 0$, где $n > 0$ - известное число.

5. В системе

$$\begin{aligned}\ddot{x} + 2\alpha\dot{x} + x &= y \\ \dot{y} + \beta y &= \varphi(x)\end{aligned}$$

с параметрами $\alpha > 0$ и $\beta > 0$ гладкая нелинейная функция $\varphi(\cdot)$ удовлетворяет условию $0 \leq \frac{\varphi(x)}{x} \leq n \forall x \neq 0$. Покажите, что если $\beta > n$, то положение равновесия 0 этой системой асимптотически устойчиво в целом.

6. Построить минимальную реализацию в пространстве состояний для системы, представленной с помощью блок-схемы с заданными передаточными функциями блоков. Построить сбалансированную реализацию системы и упростить модель системы, отбросив наименьшее собственное значение матрицы.

7. Рассмотреть класс одновязных систем заданный в мультипликативной форме с ограниченным в Н-бесконечности нормой возмущением. Найти необходимые и достаточные условия при которых регулятор стабилизирует все системы из рассматриваемого класса.

Примерный список экзаменационных вопросов.

1. Основные определения устойчивости и неустойчивости систем.
2. Функции Ляпунова. Теорема об устойчивости по Ляпунову.
3. Линеаризация нелинейных систем.
4. Матричное уравнение Ляпунова и теорема о его разрешимости.
5. Критерии Михайлова устойчивости системы.
6. Критерий Найквиста устойчивости системы.
7. Понятие об абсолютной устойчивости.
8. Виды и примеры квадратичных связей.
9. Частотная теорема.
10. Линеинно-квадратичная задача оптимального управления.
11. S-процедура.
12. Круговой критерий устойчивости.
13. Критерий устойчивости Попова.
14. Критерий диссипативности.

15. Частотные критерии для систем в не единственном положении равновесия.
16. Частотные критерии для систем с импульсной модуляцией.
17. Частотные критерии для систем с запаздыванием.
18. Метод функций Ляпунова для систем с дискретным временем.
19. Частотная теорема для систем с дискретным временем.
20. Частотные критерии устойчивости для систем с дискретным временем.
21. Построение модели в пространстве состояний по заданной передаточной матрице линейной системы.
22. Построение сбалансированной реализации системы.
23. Упрощение модели системы с использованием сбалансированной реализации.
24. Пространства Харди. Определения и свойства.
25. Параметризация Юлы.
26. Теорема Неванлинны-Пика.
27. Задача H -бесконечность оптимального управления.
28. Интервальная неопределенность. Теорема Харитонова.
29. Частотные модели неопределенности.
30. Теорема о малом коэффициенте усиления.
31. Структурная сингулярная величина и ее применение.

5. Методические материалы для обучающихся

Методические рекомендации по организации учебной работы обучающихся направлены на повышение эффективности его аудиторной и самостоятельной работы по дисциплине.

Значительная часть времени по дисциплине отведена на самостоятельную работу. Основными задачами самостоятельной работы являются:

- проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе);
- выполнение контрольных заданий, включающих в себя решение теоретических задач и составление программ;
- подготовка отчетов о выполнении контрольных заданий.

6. Дополнительные методические рекомендации для преподавателей

Изучение дисциплины предусматривает аудиторную и самостоятельную работу обучающихся. Учитывая форму обучения и количество часов по дисциплине, преподавателю рекомендуется выбирать для лекций и практических занятий наиболее сложные темы учебного курса. На практических занятиях обучающимся предлагаются задания, помогающие усвоить лекционный материал и иллюстрирующие основные понятия и определения на конкретных примерах. Значительная часть практических занятий отводится на выполнение расчётов, решение задач и освоение пакетов программ. Здесь особое внимание необходимо уделить приведению математической задачи к виду, пригодному для применения имеющихся пакетов программ. В качестве примеров полезно выбирать задачи, которые допускают решение разными методами, и предлагать обучающимся сравнить результаты

разных решений. Обсудить достоинства и недостатки методов. Контрольные задания желательно разбить на последовательные этапы и рекомендовать обучающимся обсуждать с преподавателем выполнение этапов задания.

7. Ресурсное обеспечение

7.1. Кадровое обеспечение

Руководитель программы: Ширяев А.С., кандидат физико-математических наук, научный руководитель направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».

Авторы программы:

Ширяев А.С., кандидат физико-математических наук, научный руководитель направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».

Матвеев А.С., доктор физико-математических наук, профессор направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».

Смирнова В.Б., доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей математики и информатики СПбГУ.

Гусев С.В., кандидат физико-математических наук, профессор направления «Математическая робототехника и искусственный интеллект» АНО ВО «Университет «Сириус».

Шепелявый А.И., кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической кибернетики СПбГУ.

7.2. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

В часы самостоятельной работы студенты используют интернет-ресурсы, ресурсы библиотеки АНО ВО «Университет «Сириус» и материалы, предоставляемые преподавателями курса.

7.3. Перечень основной учебной литературы:

1. J. Wang, Z. Duan, Y. Yang ANALYSIS AND CONTROL OF NONLINEAR SYSTEMS WITH STATIONARY SETS: TIME-DOMAIN AND FREQUENCY-DOMAIN METHODS. World Scientific, 2009, 336 pages.
2. Wu, Y. He, J. She, Stability Analysis and Robust Control of Time-Delay Systems, Springer, 2010.
3. Андриевский Б.Р., Барабанов А.Е., Бондарко В.А., Брокетт Р.У. Нелинейные системы: частотные и матричные неравенства. Физматлит. 2008.
4. Б.Т.Поляк, П.С.Щербаков. Робастная устойчивость и управление. - М.:Наука, 2002. 303с.
5. Alok Sinha. Linear Systems. Optimal and Robust Control. Taylor & Francis, 2007, 472p.

7.4. Перечень дополнительной учебной литературы:

1. А.И. Баркин. Абсолютная устойчивость систем управления. Едиториал УРСС, 2020.
2. Х. Халил. Нелинейные системы. Институт компьютерных исследований. 2009.
3. L.Fortuna, M.Frasca. eds., Optimal and Robust control. Advanced Topics with MATLAB. Taylor & Francis, 2012, 229p.
4. J.J.Bongiorno Jr., K.Park, Design of Linear Multivariable Feedback Control Systems. Springer. 2020. 453p.

7.5. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Сайты по тематике дисциплины:

1. Документация к MATLAB
Control System Toolbox [https://www.mathworks.com/help/control/Robust Control Toolbox](https://www.mathworks.com/help/control/Robust%20Control%20Toolbox) <https://www.mathworks.com/help/robust/>

Периодические издания:

1. SIAM Journal on Control and Optimization
2. IEEE Transactions on Automatic Control
3. Автоматика и телемеханика

7.6. Описание материально-технической базы:

7.6.1. Аудиторный фонд и оборудование:

№ п.п.	Вид аудитории	Технические средства и оборудование (кол-во)	Расходные материалы (кол-во)
1.	Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий	Три большие меловые или маркерные доски. Большой экран для проекции слайдов.	Мел или маркер 25 шт.

7.6.2. Оборудование для лабораторных и практических занятий: отсутствует

7.7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения:

1. Лицензионный пакет программ MATLAB/Simulink и/или свободно распространяемый Octave с пакетами Control System, Robust Control.