Приложение № 4
к образовательной программе высшего образования – программе магистратуры
по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика
(направленность (профиль) «Математическая робототехника и искусственный интеллект»)

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 7835bcdac1c89a3da835a18f6045494f3f404337
Владелец: Некрасова Людмила Андреевна
Действителен: с 08.07.2026 до 08.07.2027

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

«Частотные методы исследования нелинейных систем»

1. Трудоемкость дисциплины (модуля): 3 з.е.

2. Место дисциплины (модуля) в учебном плане:

Часть, формируемая участниками образовательных отношений, «Профессиональной подготовки» - «Дисциплины (модули) по выбору (4 из списка)» в рамках Блока 1. Дисциплины (модули), реализуется в 3 семестре.

3. Цель дисциплины (модуля): формирование у обучающихся системного представления об основных задачах и подходах для частотных методов исследования нелинейных многомерных систем управления, их роли при решении задач анализа и синтеза, имеющих важное значение для подготовки к дальнейшей профессиональной деятельности в области математической робототехники.

4. Задачи дисциплины (модуля):

– познакомить с основными понятиями, приемами исследования и результатами частотных методов анализа и синтеза многомерных нелинейных систем управления. Достичь уровня, достаточного для понимания и применения как классических, так и новых результатов к различным задачам управления в рамках частотных методов;

– сформировать у обучающихся теоретические знания в области исследования устойчивости линейных и нелинейных систем управления, развить у обучающихся математическое мышление, умение ставить, исследовать и решать задачи, возникающие при разработке систем управления в робототехнике;

– развить у обучающихся математическое мышление, умение ставить и решать теоретические и практические задачи с помощью современных аналитических методов исследования многомерных нелинейных систем управления. Заложить основы применения частотных методов исследования многомерных нелинейных систем управлений для решения различных теоретических и прикладных задач анализа и синтеза таких систем.

5. Перечень разделов (тем) дисциплины (модуля) и их краткое содержание:

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	**Краткое содержание**
Раздел 1. Введение	Общая характеристика содержания и структуры курса, основных задач, математического аппарата, методов решения и их особенностей.
Раздел 2. Частотные методы исследования линейных систем	Сведения по теории линейных систем управления, виды математических моделей, их основные характеристики и свойства: передаточная функция, частотная характеристика и на ее основе качественный анализ линейных систем, устойчивость, управляемость, наблюдаемость, стабилизируемость, их взаимосвязь. Критерии управляемости, наблюдаемости, алгебраические и частотные критерии

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	устойчивости. Особенности математического аппарата: основные сведения из спектральной теории матриц, дифференциальных уравнений, теории функций комплексного переменного, о преобразованиях Лапласа и Фурье, о функциях от матриц. Блок-диаграммы. Комплексификация системы, комплексные сигналы и их прохождение через линейную систему. Наследование основных свойств системы ее комплексным расширением. Трансформация частотного спектра сигнала при прохождении через линейную стационарную стандартную систему. Особенности применения частотных методов исследования для линейных систем управления с дискретным временем.
Раздел 3. Введение в теорию нелинейных систем	Математические модели нелинейных систем, способы их описания, виды нелинейностей, особенности определений, существования, единственности и продолжимости решений нелинейных систем управления. Обзор аналитических и приближенных методов исследования нелинейных систем. Основные способы линеаризации нелинейных систем. Применение методов линейной теории при исследовании нелинейных систем. Устойчивость и неустойчивость нелинейных систем. Сравнительный анализ различных определений. Метод функций Ляпунова. Примеры теорем Ляпунова об устойчивости и неустойчивости нелинейных систем. Применение метода функций Ляпунова для анализа линейных систем. Матричное уравнение Ляпунова, условия разрешимости, теорема о расположении собственных чисел у матрицы, являющейся его решением. Особенности исследования систем управления с дискретным временем.
Раздел 4. Элементы теории абсолютной устойчивости	Постановка задачи, основные определения, абсолютная (абсолютная экспоненциальная) устойчивость. Минимальная устойчивость (определение, смысл), связь с системами сравнения. Система в форме Лурье, секторное

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	условие. Квадратичные и эрмитовы формы, эрмитово расширение квадратичной формы, наследуемые свойства. Случай нескольких квадратичных связей. Мотивация их применения, особенности использования для формирования частотных условий. Частотное условие, порядок формирования по свойствам нелинейности, особенности в случае нескольких квадратичных связей. Элементы теории абсолютной устойчивости для систем с дискретным временем.
Раздел 5. Частотная теорема (KYP-Lemma) и S-процедура.	Частотная теорема, варианты формулировок: частотная теорема для вырожденного и невырожденного случаев, частотная теорема о существовании решения строгого и нестрогого матричных неравенств Ляпунова при наличии линейной связи. Частотная теорема как критерий существования квадратичной функции ляпуновского типа, частотная теорема как критерий разрешимости определенных алгебраических соотношений. S-процедура, определение, мотивация, связь с анализом устойчивости многомерных нелинейных систем. Теорема о неущербности S-процедуры.
Раздел 6. Квадратичный критерий абсолютной устойчивости.	Квадратичный критерий абсолютной устойчивости для локальной квадратичной связи. Круговой критерий для систем с одной нелинейностью в случае конечного и бесконечного секторов. Использование кругового критерия для оценок скорости роста или убывания решений. Круговой критерий в комплексном случае для систем с одной нелинейностью с конечным сектором. Гипотезы Айзермана и Барбашина. Локальная связь для системы в форме Лурье с векторными входом и выходом. Круговой критерий для нескольких нелинейностей. Квадратичный критерий абсолютной устойчивости для интегральной квадратичной связи. Критерий Попова для скалярного случая. Критерий Попова для системы с несколькими нелинейностями. Связь кругового критерия и критерия Попова с критериями, которые могут

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	быть получены на основе функций Ляпунова вида “квадратичная форма плюс интеграл от нелинейности”. Методика применения квадратичного критерия в случае одной и многих нелинейностей. Особенности квадратичного критерия для систем с дискретным временем.
Раздел 7. Линейно-квадратичная задача	Линейно-квадратичная стационарная задача оптимального управления на бесконечном интервале времени. Постановка, мотивация. Частотная теорема для линейно-квадратичной стационарной задачи оптимального управления на бесконечном интервале времени. Частотное условие существования оптимального управления. Связь с квадратичной функцией ляпуновского типа. Алгоритмы определения оптимального регулятора для линейно-квадратичной стационарной задачи оптимального управления на бесконечном интервале времени. Обзор результатов для других постановок задачи и других систем, их особенности для систем с дискретным временем.
Раздел 8. Заключение	Обзор современного состояния обсуждаемой проблематики и перспективы развития, применения частотных методов к исследованию устойчивости, неустойчивости, дихотомии, нелинейных колебаний и автоколебаний, оценкам переходных процессов для нелинейных многомерных систем управления.

6. Образовательные результаты освоения дисциплины (модуля):

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-1. Способен применять современные математические методы для решения профессиональных задач в области прикладной математики, робототехники и искусственного интеллекта	ИПК-1.1. Применяет математические методы при решении задач синтеза управления для линейных и нелинейных динамических систем
	ИПК-1.3. Применяет методы качественной теории дифференциальных уравнений для решения задач управления роботами

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
	ИПК-1.5. Применяет частотные методы анализа систем для решения прикладных задач робототехники