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)

«Математические основы робототехники»

1. Трудоемкость дисциплины (модуля): 6 з.е.

2. Место дисциплины (модуля) в учебном плане:

Обязательная часть «Профессиональной подготовки» в рамках Блока 1. Дисциплины (модули), реализуется в 1 семестре.

3. Цель дисциплины (модуля): формирование у обучающихся базовых теоретических и инженерных знаний в области современных математических методов теории управления линейными и нелинейными динамическими системами.

4. Задачи дисциплины (модуля):

– развить у обучающихся математическое мышление, умение ставить, исследовать и решать теоретические и практические задачи, используя методы теории управления линейными и нелинейными динамическими системами.

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

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	**Краткое содержание**
Раздел 1. Введение в теорию управления и принципы обратной связи.	Исторические этапы развития теории управления. Типы проектирования систем управления. Интеграция систем. Постановка задачи. Типовое решение задачи управления методом инверсии. Обратная связь с высоким коэффициентом усиления и инверсия. Переход от архитектуры с открытым контуром к архитектуре с замкнутым контуром. Компромиссы при выборе коэффициента усиления обратной связи.
Раздел 2. Моделирование и непрерывные сигналы и системы.	Сложность моделей. Построение моделей. Структуры моделей. Модели в пространстве состояний. Модели дифференциальных и разностных уравнений высокого порядка. Ошибки моделирования. Линеаризация. Линейные модели с непрерывным временем. Преобразование Лапласа. Свойства и примеры. Передаточные функции. Устойчивость передаточных функций. Импульсный и ступенчатый отклики линейных систем с непрерывным временем. Полюсы, нули и временные отклики. Частотный отклик. Преобразование Фурье. Часто встречающиеся модели. Ошибки моделирования для линейных систем. Пределы ошибок моделирования.
Раздел 3. Анализ замкнутых SISO-систем управления.	Структуры обратной связи. Номинальные функции чувствительности. Устойчивость

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	замкнутого контура на основе характеристического многочлена. Частотная характеристика. Относительная устойчивость: запасы устойчивости и пики чувствительности. Робастность.
Раздел 4. Классическое ПИД-управление и синтез SISO - регуляторов.	Эмпирическая настройка ПИД-регулятора: метод колебаний Зиглера-Никольса (З-Н). Методы, основанные на использовании кривой отклика. Компенсаторы опережения-запаздывания. Полиномиальный подход. Синтез ПИ- и ПИД-регуляторов с использованием расстановки полюсов. Предиктор Смита.
Раздел 5. Фундаментальные ограничения SISO-управления.	Ограничения, связанные с погрешностями модели. Структурные ограничения. Интегральные ограничения Боде на чувствительность. Интегральные ограничения на комплементарную чувствительность. Интегральное ограничение Пуассона на чувствительность. Интегральное ограничение Пуассона на комплементарную чувствительность.
Раздел 6. Структурные проблемы SISO-систем управления и ограничения.	Модели детерминированных возмущений и опорных сигналов. Принцип внутренней модели для возмущений. Принцип внутренней модели для слежения за опорным сигналом. Прямое управление. Каскадное управление. Нарастание сигнала. Схема подавления нарастания сигнала. Насыщение состояния. Введение в модельное прогнозирующее управление.
Раздел 7. Модели дискретных систем и цифровое управление	Дискретизация. Восстановление сигнала. Линейные модели дискретного времени. Оператор сдвига и Z-преобразование. Дискретные передаточные функции. Дискретные модели в дельта-области. Дискретное дельта-преобразование. Дискретные передаточные функции. Передаточные функции и импульсные характеристики. Устойчивость дискретных систем. Дискретные модели квантованных непрерывных систем. Использование непрерывной модели пространства состояний.

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	Частотная характеристика дискретных систем. Дискретные функции чувствительности. Нули систем с дискретным временем.
Раздел 8. Параметризация SISO-регулятора и управление	Проектирование на основе оптимизации. Аффинная параметризация: случай устойчивости. Синтез ПИД-регулятора с использованием аффинной параметризации. Аффинная параметризация для систем с временными задержками. Нежелательные полюса в замкнутом контуре. Аффинная параметризация: случай неустойчивости в разомкнутом контуре. Оптимальный Q-синтез (аффинный синтез). Проектирование робастного управления с доверительными границами. Фундаментальные ограничения управления с минимальными затратами. Ограничения в частотной области.
Раздел 9. Линейные модели в пространстве состояний.	Линейные модели в пространстве состояний с непрерывным временем. Преобразования подобия и передаточные функции. Переход от передаточной функции к представлению в пространстве состояний. Управляемость и стабилизируемость. Наблюдаемость и обнаруживаемость. Каноническое разложение. Устранение полюсов и нулей и свойства системы.
Раздел 10. Синтез с использованием методов пространства состояний.	Определение полюсов с помощью обратной связи по состоянию. Наблюдатели. Сочетание обратной связи по состоянию с наблюдателем. Интерпретация через передаточную функцию. Переосмысление аффинной параметризации всех стабилизирующих регуляторов. Интерпретация принципа внутренней модели в пространстве состояний. Компромиссы при использовании обратной связи по состоянию и наблюдателей. Учет ограничений на входные сигналы в контексте обратной связи по оценке состояния.
Раздел 11. Введение в нелинейное управление	Управление. Линейное управление нелинейным объектом. Линейные регуляторы с переключением. Управление системами с гладкими нелинейностями. Статические нелинейности входных сигналов. Гладкие

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	динамические нелинейности для устойчивых и устойчиво обратимых моделей. Вопросы, связанные с возмущениями в нелинейном управлении. Негладкие нелинейности. Устойчивость нелинейных систем.
Раздел 12. Проектирование МИМО-систем управления. Обратная связь с оценкой состояния	Динамическое программирование и оптимальное управление. Линейно-квадратичный регулятор (LQR). Свойства линейно-квадратичного оптимального регулятора. Сопоставление моделей на основе линейно-квадратичных оптимальных регуляторов. Оптимальные регуляторы дискретного времени. Связь с расстановкой полюсов. Построение наблюдателей. Линейные оптимальные фильтры. Обратная связь с оценкой состояния. Интерпретация передаточной функции. Обеспечение интегрального действия при синтезе LQR.
Раздел 13. Введение в теорию управления и принципы обратной связи.	Этапы развития теории управления. Типы проектирования систем управления. Интеграция систем. Постановка задачи. Типовое решение задачи управления методом инверсии. Обратная связь с высоким коэффициентом усиления и инверсия. Переход от архитектуры с открытым контуром к архитектуре с замкнутым контуром. Компромиссы при выборе коэффициента усиления обратной связи.

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-1.5. Применяет частотные методы анализа систем для решения прикладных задач робототехники
ПК-2. Способен использовать современный математический аппарат для решения профессиональных задач в области	ИПК-2.1. Применяет математические методы для анализа моделей динамических систем с обратной связью

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
прикладной математики, робототехники и искусственного интеллекта	
ПК-3. Способен применять современные инженерные знания и подходы для решения профессиональных задач в области прикладной математики, робототехники и искусственного интеллекта	ИПК-3.1. Применяет инженерные подходы при решении задач синтеза управления для линейных и нелинейных динамических систем
	ИПК-3.2. Применяет инженерные подходы для анализа моделей динамических систем с обратной связью