

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
ИНСТИТУТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
КАФЕДРА КИБЕРНЕТИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИИКС

Протокол № 8/1/2024

от 28.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ЦИФРОВЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
7	2	72	16	16	16		24	0	30
Итого	2	72	16	16	16	16	24	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются методы расчета дискретно-непрерывных систем автоматического управления. В качестве инструмента анализа импульсных систем используется z-преобразование, которое выводится из преобразования Лапласа. Рассматриваются методы расчета дискретно-непрерывных систем, включая расчет в межтактовые моменты времени. Изучаются критерии устойчивости, включая нелинейные системы, описание систем в пространстве состояний, управляемость, наблюдаемость систем, методика построения наблюдателей состояния. Значительное внимание уделяется синтезу корректирующих устройств. Рассматриваются особенности применения метода гармонической линеаризации для расчета параметров автоколебаний в нелинейных дискретно-непрерывных системах и критерия абсолютной устойчивости, включая круговой критерий. Теоретические знания закрепляются в рамках лабораторных работ на компьютере.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Цифровые динамические системы» являются теоретическое освоение методов анализа и синтеза линейных и нелинейных дискретно-непрерывных систем автоматического управления и формирование практических навыков расчета таких систем как аналитическими, так и численными методами. Изучаются методы анализа устойчивости и качества систем, особое внимание уделяется частотным методам анализа и синтеза дискретно-непрерывных САУ.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания основ теории линейных и нелинейных систем автоматического управления, обыкновенных дифференциальных уравнений и операционного исчисления.

Полученные в курсе знания будут востребованы в рамках дисциплины «Цифровая обработка сигналов»

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
--	---------------------------	---	---

		опыта)	
научно-исследовательский			
анализ и математическое моделирование физических процессов	системы ядерно-энергетического комплекса	ПК-1.1 [1] - способен применять цифровые методы обработки информации <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-1.1[1] - знать методы и алгоритмы компьютерной обработки информации; У-ПК-1.1[1] - уметь обоснованно выбирать алгоритмы при обработке данных; В-ПК-1.1[1] - владеть навыками использования компьютера и/или реализации алгоритмов обработки информации в программном обеспечении
анализ и математическое моделирование физических процессов	системы ядерно-энергетического комплекса	ПК-1.1 [1] - способен применять цифровые методы обработки информации <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-1.1[1] - знать методы и алгоритмы компьютерной обработки информации. ; У-ПК-1.1[1] - уметь обоснованно выбирать алгоритмы при обработке данных. ; В-ПК-1.1[1] - владеть навыками использования компьютера и реализации алгоритмов обработки информации в программном обеспечении.
Роль инженера МО: 1. Реализация ML-моделей в продуктивных системах 2. Оптимизация производительности и масштабирование моделей 3. Разработка ML-пайплайнов и автоматизация процессов	– информационные и программные системы; – летательные аппараты; – математические модели процессов в сложных технических системах; – системы ядерно-энергетического комплекса.	ПК-1.14 [1] - (ML-8) Способен применять алгоритмы обучения на нестандартных объемах данных <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, Анализ опыта: Компетенстно-ролевая модель ИТМО ML Engineer Проектирует, разрабатывает и улучшает алгоритмы/модели машинного обучения	З-ПК-1.14[1] - знать продвинутые методы работы с несбалансированными данными (SMOTE weighted learning) (П).; У-ПК-1.14[1] - уметь проектировать и реализовать комплексные решения машинного обучения для нестандартных задач, включая разработку пайплайнов, оптимизацию моделей и интерпретацию результатов (Б).;

		для продуктов компании с учетом требований к производительности и работе в продуктиве (оптимизация инференса, компрессия моделей) Data Analyst - Выбирает и обучает (дообучает) ML модели, проводит валидацию, реализует шаги по улучшению качества моделей	В-ПК-1.14[1] - владеть методами разведочного анализа гипотез и проверять устойчивость моделей с помощью нестандартных симуляций, synthetic data, adversarial data (П).
Роль инженера МО: 1. Реализация ML-моделей в продуктивных системах 2. Оптимизация производительности и масштабирование моделей 3. Разработка ML-пайплайнов и автоматизация процессов	– информационные и программные системы; – летательные аппараты; – математические модели процессов в сложных технических системах; – системы ядерно-энергетического комплекса.	ПК-1.21 [1] - (MnI-1) Способен осуществлять трудовые функции, обусловленные профессиональной ролью, в области профессиональной деятельности. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, Анализ опыта: Компетентностно-ролевая модель ИТМО Интеллектуальное ассистирование и поддержка принятия решений в промышленности.	3-ПК-1.21[1] - знать проблемно-ориентированные технологии диагноза и прогноза в системах предиктивной аналитики оборудования (Б); У-ПК-1.21[1] - уметь применять технологии первичной обработки и анализа промышленных данных (П); В-ПК-1.21[1] - владеть методами разработки нейро-сетевых моделей устройств и физических процессов на основе технологических архивов предприятия (П)
анализ, математическое моделирование динамики систем, разработка законов управления	летательные аппараты	ПК-1.3 [1] - способен анализировать и синтезировать системы автоматического управления <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 32.001	3-ПК-1.3[1] - знать методы анализа и синтеза систем автоматического управления; У-ПК-1.3[1] - уметь применять методы теории автоматического управления при разработке киберфизических систем; В-ПК-1.3[1] - владеть навыками использования программного

			обеспечения для математического моделирования систем автоматического управления
анализ, математическое моделирование динамики систем, разработка законов управления	летательные аппараты	ПК-1.3 [1] - Способен анализировать и синтезировать системы автоматического управления <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 32.001	З-ПК-1.3[1] - знать методы анализа и синтеза систем автоматического управления ; У-ПК-1.3[1] - уметь применять методы теории автоматического управления при разработке киберфизических систем ; В-ПК-1.3[1] - владеть навыками использования программного обеспечения для математического моделирования систем автоматического управления
анализ и математическое моделирование физических процессов	системы ядерно-энергетического комплекса	ПК-1 [1] - Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать результаты научных исследований в области прикладной математики и информационных технологий <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-1[1] - знать основные методы научного познания, методы сбора и анализа информации;; У-ПК-1[1] - уметь анализировать информацию, строить логические схемы, интерпретировать результаты научных исследований, критически мыслить, сравнивать результаты различных исследований, формировать собственную позицию в рамках рассматриваемой задачи;; В-ПК-1[1] - владеть навыками работы с научной литературой и навыками

			интерпретации результатов научных исследований;
анализ и математическое моделирование физических процессов	системы ядерно-энергетического комплекса	ПК-2 [1] - Способен понимать, применять и совершенствовать современный математический аппарат <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-2[1] - знать современный математический аппарат, используемый при описании, решении и анализе различных прикладных задач; У-ПК-2[1] - использовать современный математический аппарат для построения математических моделей и алгоритмов решения различных прикладных задач; В-ПК-2[1] - владеть навыками применения современного математического аппарата для построения математических моделей различных процессов, для обработки экспериментальных, статистических и теоретических данных, для разработки новых алгоритмов и методов исследования задач различных типов
производственно-технологический			
разработка и сопровождение программного обеспечения	информационные и программные системы	ПК-1.2 [1] - способен разрабатывать и применять прикладные программы при решении задач в области киберфизических и информационных систем <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.057, Анализ опыта: разработка	З-ПК-1.2[1] - знать принципы построения и условия применения программ, используемых в задачах разработки и сопровождения киберфизических и информационных систем; У-ПК-1.2[1] - уметь обоснованно выбирать алгоритмы и программные средства для решения задач

		математического и программного обеспечения киберфизических систем	проектирования и сопровождения киберфизических и информационных систем; В-ПК-1.2[1] - владеть навыками использования прикладных программ при разработке и моделировании киберфизических и информационных систем
разработка и сопровождение программного обеспечения	информационные и программные системы	ПК-1.2 [1] - способен разрабатывать и применять прикладные программы при решении задач в области киберфизических и информационных систем <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.057, Анализ опыта: разработка математического и программного обеспечения киберфизических систем	З-ПК-1.2[1] - знать принципы построения и условия применения программ, используемых в задачах разработки и сопровождения киберфизических и информационных систем ; У-ПК-1.2[1] - уметь обоснованно выбирать алгоритмы и программные средства для решения задач проектирования и сопровождения киберфизических и информационных систем ; В-ПК-1.2[1] - владеть навыками использования прикладных программ при разработке и моделировании киберфизических и информационных систем

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор,	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов

	профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование профессионально значимых установок: не производить, не копировать и не использовать	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин "Информатика (Основы программирования)", Программирование (Объектно-ориентированное

	программные и технические средства, не приобретённые на законных основаниях; не нарушать признанные нормы авторского права; не нарушать тайны передачи сообщений, не практиковать вскрытие информационных систем и сетей передачи данных; соблюдать конфиденциальность доверенной информации (B40)	программирование)", "Программирование (Алгоритмы и структуры данных)" для формирования культуры написания и оформления программ, а также привития навыков командной работы за счет использования систем управления проектами и контроля версий. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплины "Проектная практика" для формирования культуры решения изобретательских задач, развития логического мышления, путем погружения студентов в научную и инновационную деятельность института и вовлечения в проектную работу. 3.Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин для формирования навыков цифровой гигиены, а также системности и гибкости мышления, посредством изучения методологических и технологических основ обеспечения информационной безопасности и кибербезопасности при выполнении и защите результатов учебных заданий и лабораторных работ по криптографическим методам защиты информации в компьютерных системах и сетях. 4.Использование воспитательного потенциала дисциплин "Информатика (Основы программирования)", Программирование (Объектно-ориентированное программирование)", "Программирование (Алгоритмы и структуры данных)" для формирования культуры безопасного программирования посредством тематического акцентирования в содержании дисциплин и учебных заданий. 5.Использование воспитательного потенциала дисциплины "Проектная практика" для
--	---	--

		формирования системного подхода по обеспечению информационной безопасности и кибербезопасности в различных сферах деятельности посредством исследования и перенятия опыта постановки и решения научно-практических задач организациями-партнерами.
--	--	--

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/8/8	ЛР-8 (10), Кл-8 (15)	25	КИ-8	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
2	Часть 2	9-16	8/8/8	ЛР-12 (10), ЛР-16 (10), ДЗ-13 (5)	25	КИ-16	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1,

							3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/16/16		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	30	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
ЗО	Зачет с оценкой
Кл	Коллоквиум
ДЗ	Домашнее задание
ЛР	Лабораторная работа
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	16	16	16
1-8	Часть 1	8	8	8
1 - 8	Математические модели систем с квантованием по времени и по уровню. Частотные характеристики. Типовые структуры цифровых систем управления. Особенности цифрового управления. Дискретно-непрерывные системы автоматического управления (ДНСАУ). Примеры ДНСАУ. Виды квантования в цифровых динамических системах. Математические модели аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей. Импульсный элемент. Экстраполяторы различных порядков. Применение теоремы Котельникова. Решетчатые функции и импульсные функции.	Всего аудиторных часов		
		8	8	8
		Онлайн		
		0	0	0

	Импульсные передаточные функции. Передаточные функции экстраполяторов 0-го и 1-го порядков. Z-преобразование. Способы вычисления z-преобразования. Связь преобразования Лапласа функции непрерывного времени и z-преобразования. Обратное z-преобразование, его свойства и способы вычисления. Структурные преобразования в цифровых системах. Преобразование последовательного соединения линейных динамических звеньев, разделенных и не разделенных квантователем по времени. Замыкание цифровых систем. Методы вычисления реакции системы в тактовые и межтактовые моменты времени. Метод дробного квантования. Модифицированное z-преобразование (z-m преобразование), его свойства, способы вычисления. Скрытые колебания в дискретно-непрерывных системах. Свойства z- и z-m- передаточных функций дискретных систем. Частотные характеристики. Преобразование полюсов цифровых систем. Частотные характеристики цифровых систем. Билинейное преобразование. Псевдочастота. Абсолютная псевдочастота. Области подобия. Преобразование комплексных плоскостей. Годографы и корневые годографы цифровых и дискретно-непрерывных систем и их свойства.			
9-16	Часть 2	8	8	8
9 - 12	Исследование устойчивости и точности систем линейных систем. Теоремы Ляпунова об устойчивости. Функции Ляпунова. Устойчивость в первом приближении. Алгебраические критерии устойчивости систем. Критерии Шур-Кона, Гурвица, Джури. Принцип аргумента. Критерии Михайлова и Михайлова-Найквиста. Логарифмический критерий Михайлова-Найквиста. Использование нормы матрицы для определения устойчивости автономной системы. Динамическая точность цифровых и дискретно-непрерывных систем управления. Коэффициенты ошибок.	Всего аудиторных часов		
		4	4	4
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Системы в пространстве состояний. Синтез корректирующих устройств. Нелинейные системы. Системы в пространстве состояний. Дискретно-непрерывные и дискретные системы в пространстве состояний. Получение разностных уравнений по передаточным функциям. Методы последовательного, параллельного и непосредственного программирования. Переходная матрица и ее свойства. Особенности переходной матрицы дискретной системы. Уравнения в пространстве состояний дискретно-непрерывной системы с экстраполятором 0-го и 1-го порядков. Управляемость и наблюдаемость. Критерии управляемости и наблюдаемости. Теоремы о влиянии обратной связи на управляемость и наблюдаемость. Теорема о связи	Всего аудиторных часов		
		4	4	4
		Онлайн		
		0	0	0

	управляемости и наблюдаемости со свойствами передаточной функции. Наблюдатели состояния полного и пониженного порядков Аппроксимация квантования по времени запаздыванием. Синтез цифровых корректирующих устройств. Применение билинейного преобразования для синтеза корректирующих устройств. Синтез аналоговых регуляторов в обратной связи. ПИД-регуляторы. Синтез систем с апериодическим переходным процессом. Нелинейные явления в ДНСАУ. Определение периодических режимов в нелинейных ДНСАУ. Гармоническая линеаризация нелинейных элементов в ДНСАУ. Применение метода гармонической линеаризации для нахождения автоколебаний в нелинейных ДНСАУ. Связь непрерывных и дискретных ко-эффективных гармонической линеаризации. Абсолютная устойчивость. Достаточное условие абсолютной устойчивости. Частотный критерий абсолютной устойчивости. Круговой критерий.			
--	---	--	--	--

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 8	Лабораторная работа 1 Исследование влияния квантования по времени на устойчивость и качество дискретно-непрерывных систем
9 - 12	Лабораторная работа 2 Устойчивость дискретно-непрерывных систем
13 - 16	Лабораторная работа 3 Синтез цифрового корректирующего устройства в дискретно-непрерывной системе

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 4	Основы z-преобразования Вычисление z-преобразования через ряд и преобразование Лапласа. Вычисление

	обратного z-преобразования.
5 - 8	Вычисление выхода в межтактовые моменты времени Использование метода дробного квантования и модифицированного z-преобразования для вычисления выхода дискретно-непрерывной системы в межтактовые моменты времени.
9 - 12	Алгебраические критерии устойчивости Оценка устойчивости системы с использованием критериев Шура-Кона, Гурвица, Джюри.
13 - 16	Системы в пространстве состояний Синтез наблюдателей состояния полного и пониженного порядка

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс базируется на сочетании и совмещении теоретической и практической подготовки студентов в рамках единых занятий. В начале занятий в форме лекции даются теоретические основы и описываются методы решения задачи, а затем в форме семинара проводится закрепление пройденного материала посредством решения задач, оценки различных вариантов решений, а также совместного обсуждения изученных приемов.

В рамках данного курса проводится серия лабораторных работ, состоящая в выполнении ряда заданий по ходу изучения дисциплины в компьютерных классах кафедры, оборудованных новейшей вычислительной техникой с последующей защитой лабораторных работ.

Теоретический материал курса представлен в виде текста лекций. Практические задания и темы лабораторных работ разработаны для выработки навыков практического применения методов анализа и синтеза дискретно-непрерывных САУ.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, Кл-8, ЛР-12, ЛР-16, ДЗ-13
	У-ПК-1	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, Кл-8, ЛР-12, ЛР-16, ДЗ-13
	В-ПК-1	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, Кл-8, ЛР-12, ЛР-16
ПК-1.1	З-ПК-1.1	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, Кл-8, ЛР-12, ЛР-16, ДЗ-13
	У-ПК-1.1	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, Кл-8, ЛР-12, ЛР-16, ДЗ-13
	В-ПК-1.1	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16
ПК-1.2	З-ПК-1.2	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, Кл-8, ЛР-12, ЛР-16, ДЗ-13

	У-ПК-1.2	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, Кл-8, ЛР-12, ЛР-16, ДЗ-13
	В-ПК-1.2	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16
ПК-1.3	З-ПК-1.3	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, Кл-8, ЛР-12, ЛР-16, ДЗ-13
	У-ПК-1.3	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, Кл-8, ЛР-12, ЛР-16, ДЗ-13
	В-ПК-1.3	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16
ПК-2	З-ПК-2	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, Кл-8, ЛР-12, ЛР-16, ДЗ-13
	У-ПК-2	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, Кл-8, ЛР-12, ЛР-16, ДЗ-13
	В-ПК-2	ЗО, КИ-8, КИ-16, ЛР-8, ЛР-12, ЛР-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные

			ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	--	--

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Г 14 Анализ и аналитический синтез цифровых систем управления : монография, Гайдук А. Р., Плаксиенко Е. А., Санкт-Петербург: Лань, 2018
2. 681.5 Ш23 Лабораторный практикум "Теория автоматического управления. Методы исследования нелинейных систем" : учебное пособие для вузов, Шапкарин А.В., Кулло И.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
3. ЭИ М 20 Сборник тестовых задач по теории автоматического управления : учебное пособие, Малышенко А. М., Вадутов О. С., Санкт-Петербург: Лань, 2016
4. 681.5 Ж92 Цифровые автоматические системы. Основы анализа : учебное пособие, Журомский В.М., Москва: МИФИ, 2010

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 65 Д69 Современные системы управления : , Бишоп Р., Дорф Р., Москва: Лаборатория базовых знаний; Юнимедиастайл, 2004
2. 62 Ц97 Теория нелинейных импульсных систем : , Попков Ю.С., Цыпкин Я.З., М.: Наука, 1973
3. 681.5 В93 Устройства и системы автоматического управления высокой точности : , Шидловский В.С., Сырянкин В.И., Выскуб В.Г., Томск: Изд-во Томского университета, 2009

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. СИНУС

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. LMS Система Вектор

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Проектор
2. Компьютерный класс ()

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Лабораторный практикум выполняется с использованием программы Sinus. Шаг моделирования систем следует выбирать меньше наименьшей постоянной времени моделируемой системы. При моделировании дискретно-непрерывной системы шаг моделирования должен быть существенно меньше такта квантования. При этом такт квантования должен быть кратен шагу моделирования. Для каждого графика не забывайте сохранять условия, при которых проводится моделирование. Это можно сделать, сохраняя файл модели.

Примеры использования программы Sinus для исследования дискретно-непрерывных систем

Пример 1. Система с квантованием по времени с тактом 0,05 и экстраполятором 0-го порядка. Зададим функциональный элемент «Экстраполятор» с параметром 0.05 и обозначим его e . Запишем систему

$$\begin{aligned} \text{Omg} &= 16.2 \\ u &= 3 * \sin(\text{Omg} * t + 0.4) \\ x1' &= 5 * x2 \\ x2' &= x3 - x2 \\ x3' &= 10 * (F(u - e(x1)) - x3) \end{aligned}$$

Шаг интегрирования зададим равным 0.01.

Пример 2. Сравним переходные процессы в системе с экстраполятором в прямой цепи после нелинейности и в импульсной системе. Зададим импульсный элемент с тем же тактом дискретизации, назвав его ie .

Система с импульсным элементом

$$\begin{aligned} \text{Omg} &= 16.2 \\ u &= 3 * \sin(\text{Omg} * t + 0.4) \\ x1' &= 5 * x2 \\ x2' &= x3 - x2 \\ x3' &= 10 * (ie(F(u - x1)) - x3) \end{aligned}$$

Система с экстраполятором 0-го порядка

$$\begin{aligned} \text{Omg} &= 16.2 \\ u &= 3 * \sin(\text{Omg} * t + 0.4) \\ x1' &= 5 * x2 \\ x2' &= x3 - x2 \end{aligned}$$

$$x_3' = 10 * (e^{ie(F(u-x_1))} - x_3)$$

или

$$\text{Omg} = 16.2$$

$$u = 3 * \sin(\text{Omg} * t + 0.4)$$

$$x_1' = 5 * x_2$$

$$x_2' = x_3 - x_2$$

$$x_3' = 10 * (e^{F(u-x_1)} - x_3)$$

Пример 3. Зададим дискретно-непрерывную по времени систему. Добавим перед нелинейностью дискретную подсистему, реализованную разностным уравнением

.

Представим это уравнение с использованием алгебраического уравнения с начальными условиями. Зададим импульсный элемент, обозначив его ie .

Записать уравнение в виде

$$y = y * 0.9 + 0.2 * u$$

будет ошибкой, если шаг моделирования по времени будет меньше такта дискретизации (а именно это и требуется для анализа такой системы), т. к. переменная y будет меняться на каждом шаге. С другой стороны

$$y = ie(y * 0.9 + 0.2 * u)$$

в межтактовые моменты времени обнулит переменную y . Верное решение

$$y = y + ie(-0.1 * y + 0.2 * u)$$

или

$$y = e^{(0.9 * y + 0.2 * u)},$$

где e – экстраполятор 0-го порядка. Окончательно запишем

$$\text{Omg} = 16.2$$

$$u = 3 * \sin(\text{Omg} * t + 0.4)$$

$$y = e^{(0.9 * y + 0.2 * e^{F(u-x_1)})}$$

$$x_1' = 5 * x_2$$

$$x_2' = x_3 - x_2$$

$$x_3' = 10 * (y - x_3)$$

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Указания к лабораторным занятиям

Лабораторный практикум включает 3 работы, объединенные общим вариантом задания. По каждой работе оформляется отчет с титульным листом, описанием полученных результатов и заключением. Работы объединены одним вариантом системы, на примере которого изучаются численные и аналитические методы анализа и синтеза дискретно-непрерывных САУ.

Практикум выполняется с использованием программы Sinus.exe. Важно следить, какой шаг моделирования выбирает студент и как он соотносится с тактом дискретизации, а также за соответствием структурной схемы и системы дифференциальных и разностных уравнений.

1. Исследование влияния квантования по времени и экстраполятора на переходные процессы дискретно-непрерывной системы.
2. Исследование устойчивости дискретно-непрерывной системы.
3. Синтез цифрового корректирующего устройства в дискретно-непрерывной системе.

Автор(ы):

Ктитров Сергей Викторович, к.т.н., доцент