

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 25.09.2023 17:31:55

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2eb454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Дискретные и нелинейные системы автоматического управления

Закреплена за подразделением

Кафедра инженерной кибернетики

Направление подготовки

01.03.04 ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

Профиль

Алгоритмы и методы наукоемкого программного обеспечения

Квалификация **Бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 108

Формы контроля в семестрах:  
экзамен 6

в том числе:

аудиторные занятия 51

самостоятельная работа 30

часов на контроль 27

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	6 (3.2)		Итого	
	18			
Неделя	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Лабораторные	34	34	34	34
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	30	30	30	30
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

*Ассистент, Каменщиков Михаил Александрович*

Рабочая программа

**Дискретные и нелинейные системы автоматического управления**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 01.03.04 ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

01.03.04 ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА, 01.03.04-БПМ-22.plx Алгоритмы и методы наукоемкого программного обеспечения, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

01.03.04 ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА, Алгоритмы и методы наукоемкого программного обеспечения, утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра инженерной кибернетики**

Протокол от 23.06.2021 г., №11

Руководитель подразделения Ефимов А.Р.

### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Изложить основы теории дискретных и нелинейных систем автоматического управления: классификация дискретных систем и их математическое описание, устойчивость и оценка качества дискретных систем, методы синтеза дискретных систем управления, нелинейные статические характеристики, релейные системы, системы с переменной структурой, устойчивость нелинейных систем. Ознакомить с основными методами исследования нелинейных систем: метод фазовой плоскости, метод гармонической линеаризации, метод функций Ляпунова. Дать представление об анализе, синтезе и моделировании дискретных и нелинейных систем автоматического управления в среде Matlab.
-----	--

### 2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

	Блок ОП:	Б1.В.ДВ.03
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Математическое моделирование	
2.1.2	Основы теории информации и автоматов	
2.1.3	Основы электротехники и электроники	
2.1.4	Теория систем автоматического управления	
2.1.5	Теория случайных процессов	
2.1.6	Функциональный анализ	
2.1.7	Численные методы	
2.1.8	Алгоритмы дискретной математики	
2.1.9	Математика	
2.1.10	Основы теории информации и автоматов	
2.1.11	Учебная практика по ознакомлению с технологиями разработки наукоемкого ПО	
2.1.12	Комбинаторика и теория графов	
2.1.13	Технологии программирования	
2.1.14	Физика	
2.1.15	Инженерная компьютерная графика	
2.1.16	Объектно-ориентированное программирование	
2.1.17	Основы дискретной математики	
2.1.18	Введение в специальность	
2.1.19	Вычислительные машины, сети и системы	
2.1.20	Программирование и алгоритмизация	
2.1.21	Учебная практика по ознакомлению с технологиями разработки робототехнических и киберфизических систем	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Введение в разработку приложений дополненной и виртуальной реальностей	
2.2.2	Нейронные сети	
2.2.3	Обработка естественного языка	
2.2.4	Системный анализ и принятие решений	
2.2.5	Экспертные и рекомендательные системы	
2.2.6	Глубокое обучение	
2.2.7	Параллельные вычисления	
2.2.8	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.9	Преддипломная практика для апробации темы выпускной квалификационной работы	
2.2.10	Системы обеспечения информационной безопасности и блокчейн	
2.2.11	Специальные главы баз данных	
2.2.12	Системы автоматизированного проектирования	
2.2.13	Динамика и управление движением робототехническими системами	
2.2.14	Искусственный интеллект и мультиагентные системы	
2.2.15	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.16	Преддипломная практика для апробации темы выпускной квалификационной работы	

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

<b>ОПК-1: Способен применять знание фундаментальной математики и естественно-научных дисциплин при решении задач в области естественных наук и инженерной практике</b>
<b>Знать:</b>
ОПК-1-31 основные понятия, формулировки определений теории дискретных и нелинейных систем автоматического управления
<b>УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач</b>
<b>Знать:</b>
УК-1-31 формулировки теорем и критериев, показателей качества для дискретных и нелинейных систем автоматического управления
<b>ОПК-1: Способен применять знание фундаментальной математики и естественно-научных дисциплин при решении задач в области естественных наук и инженерной практике</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-1-У1 записывать в различной форме математическую модель дискретных и нелинейных систем автоматического управления
<b>УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач</b>
<b>Уметь:</b>
УК-1-У1 вычислять передаточные функции, исследовать устойчивость дискретных и нелинейных систем автоматического управления
<b>ОПК-1: Способен применять знание фундаментальной математики и естественно-научных дисциплин при решении задач в области естественных наук и инженерной практике</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-1-В1 методами анализа дискретных и нелинейных систем автоматического управления
<b>УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач</b>
<b>Владеть:</b>
УК-1-В1 методами синтеза дискретных и нелинейных систем автоматического управления

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. 1. Математическое описание дискретных систем управления</b>							
1.1	Классификация дискретных систем (импульсные, цифровые, релейные). Примеры. /Лек/	6	2	УК-1-31 ОПК-1-31	Л1.3Л2.3			
1.2	Импульсные системы. АИМ-системы. Решетчатые функции. /Лаб/	6	4	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1			Р1
1.3	Описание импульсных систем во временной области. /Ср/	6	3	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.2Л2.2			
	<b>Раздел 2. 2. Устойчивость дискретных систем</b>							
2.1	Определение устойчивости. Критерии устойчивости: по передаточной функции, по матрице системы. /Лек/	6	2	УК-1-31 ОПК-1-31	Л1.3Л2.3			
2.2	Критерий Найквиста. /Лаб/	6	4	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1			Р1

2.3	Влияние квантования по времени на устойчивость. Алгебраические критерии устойчивости. /Ср/	6	3	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.2Л2.2			
<b>Раздел 3. 3. Оценка качества дискретных систем</b>								
3.1	Показатели качества в переходном процессе. Прямые и косвенные показатели качества. /Лек/	6	2	УК-1-31 ОПК-1-31	Л1.3Л2.3			
3.2	Особенности переходного процесса дискретных систем. Показатели качества в установившемся режиме. Коэффициенты ошибки. /Лаб/	6	4	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1			Р3
3.3	Вычисление коэффициентов ошибки. Статические и астатические системы. Структура астатических систем. /Ср/	6	4	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.2Л2.2			
<b>Раздел 4. 4. Синтез дискретных систем управления</b>								
4.1	Метод полиномиальных уравнений. /Лек/	6	2	УК-1-31 ОПК-1-31	Л1.3Л2.3			
4.2	Метод желаемых передаточных функций. /Лаб/	6	4	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1			Р4
4.3	Синтез дискретной системы по непрерывной модели. Метод полиномиальных уравнений. /Ср/	6	4	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.2Л2.2			
<b>Раздел 5. 5. Устойчивость нелинейных систем управления</b>								
5.1	Особенности нелинейных систем. /Лек/	6	2	УК-1-31 ОПК-1-31	Л1.4Л2.3			
5.2	Виды движений в нелинейных системах: устойчивые, асимптотически устойчивые, орбитально устойчивые. /Лаб/	6	4	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1			Р2
5.3	Исследование устойчивости по первому приближению /Ср/	6	4	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.2Л2.2			
<b>Раздел 6. 6. Метод фазовой плоскости</b>								
6.1	Фазовые портреты нелинейных систем. /Лек/	6	2	УК-1-31 ОПК-1-31	Л1.4Л2.3			
6.2	Нелинейная система со скользящим процессом /Лаб/	6	4	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1			Р5
6.3	Условия скольжения /Ср/	6	4	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.2Л2.2			
<b>Раздел 7. 7. Метод гармонической линеаризации</b>								

7.1	Орбитальная устойчивость. /Лек/	6	2	УК-1-31 ОПК-1-31	Л1.4Л2.3			
7.2	Автоколебания. /Лаб/	6	4	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1			P2
7.3	Вычисление коэффициентов гармонической линеаризации. /Ср/	6	4	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.2Л2.2			
	<b>Раздел 8. 8. Метод функций Ляпунова</b>							
8.1	Знакопостоянные и знакоопределенные функции. /Лек/	6	3	УК-1-31 ОПК-1-31	Л1.4Л2.3			
8.2	Теоремы Ляпунова об устойчивости. /Лаб/	6	6	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1			P2
8.3	Метод функций Ляпунова. /Ср/	6	4	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.2Л2.2			

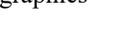
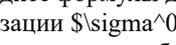
### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Самостоятельная работа №1	ОПК-1-31;УК-1-31;ОПК-1-У1	<p>1 Сформулируйте определение <math>Z^{\varepsilon}</math>-преобразования. Сформулируйте свойство <math>Z^{\varepsilon}</math>-преобразования об умножении оригинала на линейную функцию. Выведите формулы для <math>Z</math>-изображений решетчатых функций: <math>x_{[IT]}=1[IT]</math>, <math>x_{[IT]}=-IT</math>.</p> <p>2 Сформулируйте определение <math>Z^{\varepsilon}</math>-преобразования. Сформулируйте свойство <math>Z^{\varepsilon}</math>-преобразования об умножении оригинала на показательную функцию. Выведите формулы для <math>Z</math>-изображений решетчатых функций: <math>x_{[IT]}=1[IT]</math>, <math>x_{[IT]}=e^{-\alpha IT}</math>.</p> <p>3 Сформулируйте определение <math>Z</math>-преобразования. Выведите формулу для <math>Z</math>-изображения решетчатой функции <math>x_{[(1+m)T]}</math>, где <math>m&gt;0</math>.</p> <p>4 Сформулируйте определение <math>Z</math>-преобразования. Выведите формулу для <math>Z</math>-изображения решетчатой функции <math>x_{[(1-m)T]}</math>, где <math>m&gt;0</math>.</p> <p>5 Получите из уравнений системы <math>\begin{cases} x_{[(1+1)T]} = ax_{[IT]} + bu_{[IT]}, \\ x_{[0]}=0, \\ y_{[IT]} = cx_{[IT]} + du_{[IT]} \end{cases}</math> дискретную передаточную функцию системы.</p> <p>6 Сформулируйте определения: <math>Z_T</math>-преобразования, обратного преобразования Лапласа, <math>Z_{\sim}</math>-преобразования. Выведите формулу для <math>Z_T</math>-преобразования изображения по Лапласу <math>W(s) = \frac{1}{s+\alpha}</math>.</p> <p>7 Сформулируйте определение непрерывного преобразования Лапласа. Выведите формулу для передаточной функции формирующего элемента (ФЭ), вырабатывающего прямоугольные импульсы длительности <math>\tau</math>.</p> <p>8 Дайте обоснование тому, что импульсный элемент (АИМ-элемент) можно разбить на два блока: идеальный импульсный элемент и формирующий элемент. Форму импульсов обозначьте <math>f(t)</math>.</p> <p>9 Выведите непрерывно-дискретное и дискретное уравнение для участка цепи из двух элементов: АИМ-элемент, затем блок с ПФ</p>

		<p><math>W(s)</math>. Обозначьте вход <math>u</math>, выход --- <math>y</math>.</p> <p>10 Выведите линеаризованное непрерывно-дискретное уравнение, описывающее участок цепи из двух элементов: ШИМ-элемент, затем блок с ПФ <math>W(s)</math>.</p> <p>11 Выведите линеаризованное дискретное уравнение, описывающее участок цепи из двух элементов: ШИМ-элемент, затем блок с ПФ <math>W(s)</math>.</p> <p>12 Запишите общую формулу для выхода <math>y[kT]</math> линейной дискретной системы вида: <math>\begin{cases} x[(k+1)T] = Ax[kT] + Bg[kT], \\ y[kT] = Cx[kT]. \end{cases}</math> Найдите переходную матрицу <math>A^k</math> для линейной системы вида: <math>\begin{cases} x_1[(k+1)T] = 2x_1[kT] - x_2[kT], \\ x_2[(k+1)T] = x_1[kT]. \end{cases}</math></p> <p>13 Запишите общую формулу для выхода <math>y[kT]</math> линейной дискретной системы вида: <math>\begin{cases} x[(k+1)T] = Ax[kT] + Bg[kT], \\ y[kT] = Cx[kT]. \end{cases}</math> Найдите переходную матрицу <math>A^k</math> для линейной системы вида: <math>\begin{cases} x_1[(k+1)T] = 2x_1[kT] + x_2[kT], \\ x_2[(k+1)T] = x_2[kT]. \end{cases}</math></p> <p>14 Сформулируйте критерий устойчивости полиномов, основанный на преобразовании единичного круга в левую полуплоскость. Исследовать на дискретную устойчивость полином <math>\alpha^*(z) = z^3 - z^2 + 2z + 1</math>, используя отображение единичного круга в левую полуплоскость.</p> <p>15 Сформулируйте необходимое условие дискретной устойчивости полиномов. Сформулируйте критерий Джюри. Исследовать на дискретную устойчивость полином <math>\alpha^*(z) = z^3 - z^2 + 2z + 1</math>, используя критерий Джюри.</p> <p>16 Сформулируйте определения: переходной функции, обратного <math>Z</math>-преобразования. Определите переходную функцию <math>h[kT]</math>, если ее <math>Z</math>-изображение имеет вид: <math>H^*(z) = \frac{2z+1}{z^2+3z+2}</math>.</p> <p>17 Сформулируйте определения: переходной функции, обратного <math>Z</math>-преобразования. Определите переходную функцию <math>h[kT]</math>, если ее <math>Z</math>-изображение имеет вид: <math>H^*(z) = \frac{z+1}{z^2+4z+4}</math>.</p> <p>18 Сформулируйте определения: статической системы управления, астатической системы управления порядка <math>r</math>, коэффициент ошибки (общая формула вычисления). Сформулируйте и докажите формулу для вычисления коэффициентов ошибки для астатических систем (достаточно дать схему доказательства).</p>
--	--	---

КМ2	Самостоятельная работа №2	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31;УК-1-У1	<p>1 Запишите 4 особенности нелинейных систем. Сформулируйте определение положения равновесия (особой точки) нелинейной системы. Найти все особые точки и построить фазовый портрет нелинейной системы вида: <math>\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1(1+x_1^2) - 2x_2, \\ \dot{x}_2 = x_1+x_2. \end{cases}</math></p> <p>2 Запишите 4 особенности нелинейных систем. Сформулируйте определение предельного цикла нелинейной системы. Найти предельный цикл и построить фазовый портрет нелинейной системы вида: <math>\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_2 + x_1(1 - x_1^2 - x_2^2), \\ \dot{x}_2 = x_1 + x_2(1 - x_1^2 - x_2^2). \end{cases}</math></p> <p>3 Сформулируйте определение (в терминах <math>\varepsilon</math>-<math>\delta</math>) устойчивости по Ляпунову и равномерной устойчивости по Ляпунову решения (невозмущенного движения) <math>x = \varphi(t)</math> нелинейной системы <math>\dot{x} = f(t, x)</math>. Показать эквивалентность устойчивости по Ляпунову решения <math>x = \varphi(t)</math> нелинейной системы <math>\dot{x} = f(t, x)</math> и нулевого решения (положения равновесия) <math>y = 0</math> нелинейной системы <math>\dot{y} = f(t, y + \varphi) - f(t, \varphi)</math>.</p> <p>4 Сформулируйте определение (в терминах <math>\varepsilon</math>-<math>\delta</math>) устойчивости по Ляпунову и асимптотической устойчивости решения (невозмущенного движения) <math>x = \varphi(t)</math> нелинейной системы <math>\dot{x} = f(t, x)</math>. Показать эквивалентность устойчивости по Ляпунову решения <math>x = \varphi(t)</math> нелинейной системы <math>\dot{x} = f(t, x)</math> и нулевого решения (положения равновесия) <math>y = 0</math> нелинейной системы <math>\dot{y} = f(t, y + \varphi) - f(t, \varphi)</math>.</p> <p>5 Запишите 3 метода исследования нелинейных систем. Сформулируйте для нелинейной стационарной системы вида <math>\dot{x} = f(x), f(0) = 0</math> следующие определения: устойчивости по Лагранжу; глобальной устойчивости положения равновесия <math>x = 0</math>; области притяжения положения равновесия <math>x = 0</math>; глобальной асимптотической устойчивости положения равновесия <math>x = 0</math>; неустойчивости (в терминах <math>\varepsilon</math>-<math>\delta</math>) положения равновесия <math>x = 0</math>.</p> <p>6 Запишите 3 метода исследования нелинейных систем. Сформулируйте для нелинейной нестационарной системы вида <math>\dot{x} = f(t, x)</math> следующие определения: орбитальной устойчивости решения (невозмущенного решения) <math>x = \varphi(t)</math>; асимптотически орбитальной устойчивости решения (невозмущенного решения) <math>x = \varphi(t)</math>. Сформулируйте для нелинейной стационарной системы вида <math>\dot{x} = f(x), f(0) = 0</math> определение экспоненциальной устойчивости положения равновесия <math>x = 0</math>.</p> <p>7 Сформулируйте теорему Ляпунова об устойчивости по первому приближению для нелинейных стационарных систем вида <math>\dot{x} = f(x), f(0) = 0</math>. Сформулируйте определение старшего показателя Ляпунова <math>\lambda_1(A)</math> для линейных нестационарных систем вида <math>\dot{x} = A(t)x</math>. Сформулируйте теорему об асимптотической по первому приближению для нелинейных нестационарных систем вида <math>\dot{x} = f(t, x), f(t, 0) = 0</math>.</p> <p>8 Методом фазовой плоскости исследуйте устойчивость положения равновесия нелинейной системы , в которой нелинейное звено <math>f(e)</math> имеет релейную характеристику с зоной нечувствительности с высотой <math>c = 1</math> и зоной нечувствительности <math>a = 1</math>.</p> <p>9 Методом фазовой плоскости исследуйте устойчивость положения равновесия нелинейной системы , в которой нелинейное звено <math>f(e)</math> имеет идеальную релейную характеристику с высотой <math>c = 1</math>.</p>
-----	---------------------------	-----------------------------------	---

- 10 Выведите формулы для коэффициентов гармонической линеаризации  $q(A)$ ,  $q'(A)$  при симметричных колебаниях релейной характеристики с зоной нечувствительности с высотой  $c$  и зоной нечувствительности  $a$ .
- 11 Сформулируйте критерий Найквиста. Сформулируйте определение амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ). Дайте обоснование уравнению  $W_{\text{л}}(j\omega)W_{\text{н}}(A)W_{\text{л}}(j\omega)=-1$ , в котором  $W_{\text{н}}(A)$  --- частотная передаточная функция линеаризованной по методу гармонической линеаризации нелинейности,  $W_{\text{л}}(j\omega)$  --- частотная передаточная функция линейной части системы .
- 12 Сформулируйте критерий Найквиста. Сформулируйте определение предельного цикла. Дайте обоснование условию устойчивости предельного цикла  $\left. \frac{dq(A)}{dA} \right|_{A=A^*} < 0$ , в котором  $A^*$  --- амплитуда автоколебаний, полученная по методу гармонической линеаризации.
- 13 В типовой структурной схеме нелинейной системы  нелинейное звено  $f(e)$  имеет релейную характеристику с зоной нечувствительности с высотой  $c=\pi$  и зоной нечувствительности  $a=0.45$ , линейная часть имеет передаточную функцию  $W(s)=\frac{4.1}{(0.5s+1)^2}$  и задающее воздействие  $g=0$ . Исследуйте автоколебания. Указание: в случае наличия автоколебаний укажите параметры автоколебаний с точностью 2 знака после запятой.
- 14 Выведите формулы для коэффициентов гармонической линеаризации  $\sigma^0(e^0, A)$ ,  $q(e^0, A)$ ,  $q'(e^0, A)$  при несимметричных колебаниях идеальной релейной характеристики с высотой  $c$ .
- 15 В типовой структурной схеме нелинейной системы  нелинейное звено имеет характеристику идеального реле с высотой  $c=\pi$ , линейные звенья имеют передаточные функции  $W_1(s)=\frac{1}{0.5s+1}$ ,  $W_2(s)=\frac{1}{s}$ ,  $\left(0.5s+1\right)$  и внешние воздействия  $g=1$  и  $h=0.5$ . Исследуйте автоколебания. Указание: в случае наличия автоколебаний укажите параметры автоколебаний с точностью 2 знака после запятой.
- 16 Сформулируйте теорему Ляпунова об устойчивости положения равновесия для нелинейных стационарных (автономных) систем вида  $\dot{x}=-f(x)$ ,  $f(0)=0$ . Сформулируйте определение положительно определенной функции  $V(x)$  в области  $D$ . Методом функций Ляпунова исследовать устойчивость положения равновесия  $x=0$  системы вида:  $\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -x_1. \end{cases}$
- 17 Сформулируйте теорему Ляпунова об асимптотической устойчивости положения равновесия для нелинейных стационарных (автономных) систем вида  $\dot{x}=-f(x)$ ,  $f(0)=0$ . Сформулируйте определение отрицательно определенной функции  $V(x)$  в области  $D$ . Методом функций Ляпунова исследовать устойчивость положения равновесия  $x=0$  нелинейной системы вида:  $\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1^3 + 2x_2, \\ \dot{x}_2 = -x_1 - 3x_2^3. \end{cases}$
- 18 Сформулируйте теорему Ляпунова (первую) о неустойчивости положения равновесия для нелинейных стационарных (автономных) систем вида  $\dot{x}=-f(x)$ ,  $f(0)=0$ . Сформулируйте определение положительно определенной функции  $V(x)$  в области  $D$ . Методом функций Ляпунова исследовать устойчивость положения равновесия  $x=0$  нелинейной системы вида:  $\begin{cases} \dot{x}_1 = 3x_1^3 + x_2, \\ \dot{x}_2 = 2(-x_1 + x_2^3). \end{cases}$



КМЗ	Экзамен	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31;УК-1-У1	<p>1 Дискретные системы управления</p> <p>1.1 Импульсные, релейные и цифровые элементы. Определения импульсных, дискретных и цифровых систем. Примеры элементов и систем. Понятие модуляции, квантования, импульсного элемента, идеального импульсного элемента, формирующего элемента. Уравнения состояния дискретной и непрерывно-дискретной модели АИМ-системы. Передаточная функция элемента, формирующего прямоугольные импульсы</p> <p>1.2 Z-преобразование решетчатых функций и его свойства. Модифицированное Z-преобразование. Описание импульсных систем с помощью передаточных функций. Вычисление передаточных функций. Определение Z-преобразования, его свойства, подходы к вычислению.</p> <p>1.3 Преобразование структурных схем дискретных систем. Метод пространства состояний описание динамических систем. Определение уравнений в пространстве состояния объекта по передаточной функции. Примеры.</p> <p>1.4 Общее решение уравнения состояния. Нахождение временных функций по данной модели в пространстве состояний. Вычисление переходной матрицы. Пример.</p> <p>1.5 Устойчивость дискретной системы. Необходимое условие дискретной устойчивости полиномов. Исследование устойчивости полинома, основанное на преобразовании единичного круга в левую полуплоскость.</p> <p>1.6 Устойчивость дискретной системы. Критерий Джюри. Влияние квантования по времени на устойчивость. Пример.</p> <p>1.7 Дискретная модель цифровой системы управления. АЦП, ЦВУ, ЦАП. Алгоритм синтеза цифрового регулятора для решения задачи стабилизации непрерывного объекта. Пример.</p> <p>1.8 Дискретная модель ШИМ-системы управления. Связь с АИМ-системами: линеаризация. Формула для вычисления передаточной функции типовой дискретной модели ШИМ-системы.</p> <p>1.9 Дискретное преобразование Лапласа, частотные характеристики. Связь между дискретным и непрерывным преобразованиями Лапласа. Частотный критерий устойчивости. Пример.</p> <p>1.10 Показатели качества дискретных систем в переходном и установившемся режимах. Особенности переходного процесса дискретных систем. Пример.</p> <p>1.11 Статические и астатические системы. Вычисление коэффициентов ошибки астатических систем. Пример.</p> <p>1.12 Синтез дискретных систем управления. Типовые алгоритмы управления дискретными системами. Алгоритм синтеза регулятора по желаемой передаточной функции. Пример.</p> <p>2 Нелинейные системы управления</p> <p>2.1 Нелинейные системы управления. Природа нелинейных зависимостей и типы нелинейностей. Особенности нелинейных систем. Положение равновесия. Виды движений в нелинейных системах: устойчивые, асимптотически устойчивые, орбитально устойчивые и др.</p> <p>2.2 Определение устойчивости (в том числе равномерной, асимптотической устойчивости) по Ляпунову. Исследование устойчивости по первому приближению стационарной системы. Примеры. Устойчивость по Лагранжу.</p> <p>2.3 Исследование устойчивости по первому приближению нестационарной системы. Показатели Ляпунова. Экспоненциальная устойчивость.</p> <p>2.4 Метод фазовой плоскости анализа и синтеза систем. Фазовые портреты и типы особых точек линейных систем. Фазовые портреты нелинейных систем. Пример.</p> <p>2.5 Метод фазовой плоскости анализа и синтеза систем. Нелинейная система с реле с зоной нечувствительности. Нелинейная система со скользящим процессом. Условия скольжения. Примеры.</p> <p>2.6 Орбитальная устойчивость. Автоколебания. Метод гармонической линеаризации для исследований симметричных</p>
-----	---------	-----------------------------------	--

		<p>автоколебаний.</p> <p>2.7 Орбитальная устойчивость. Автоколебания. Метод гармонической линеаризации для исследований несимметричных автоколебаний.</p> <p>2.8 Виды типовых нелинейностей. Вычисление коэффициентов гармонической линеаризации для идеального реле (несимметричные автоколебания), реле с зоной нечувствительности (симметричные автоколебания).</p> <p>2.9 Метод функций Ляпунова. Знакопостоянные и знакоопределенные функции. Теоремы Ляпунова об устойчивости (асимптотической устойчивости, неустойчивости) положения равновесия для стационарных динамических систем. Примеры.</p> <p>Список базовых определений и понятий по семестровому курсу</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дискретная система</li> <li>2. Сигнал квантованный по уровню</li> <li>3. Сигнал квантованный по времени</li> <li>4. Импульсный элемент, импульсная модуляция (АИМ, ШИМ)</li> <li>5. Решетчатая функция</li> <li>6. Общая формула для решения линейной дискретной системы</li> <li>7. Z-преобразование и ограничения на оригинал</li> <li>8. Модифицированное <math>\square\square</math>-преобразование</li> <li>9. <math>\square\square</math>-преобразование</li> <li>10. Модифицированное <math>\square\square\square</math>-преобразование</li> <li>11. Устойчивая дискретная система</li> <li>12. Устойчивый полином (в дискретном времени)</li> <li>13. Функциональная схема цифровой системы управления и ее описание</li> <li>14. Передаточная функция фиксатора нулевого порядка</li> <li>15. Дискретное преобразование Лапласа</li> <li>16. Частотная передаточная функция (дискретная) и связь с передаточной функцией в Z-преобразованиях</li> <li>17. Оптимальная по переходному процессу дискретная система</li> <li>18. Весовая функция дискретной модели</li> <li>19. Формулы вычисления коэффициентов ошибок для астатических (астатизм порядка <math>r</math>) дискретных систем.</li> <li>20. Типовые алгоритмы управления дискретными системами</li> <li>21. Нелинейная система управления (общий вид, 4 особенности)</li> <li>22. Предельный цикл</li> <li>23. Автоколебания</li> <li>24. Устойчивое по Ляпунову невозмущенное движение нелинейной системы (в терминах <math>\varepsilon</math>-<math>\delta</math>)</li> <li>25. Равномерно устойчивое по Ляпунову невозмущенное движение нелинейной системы (в терминах <math>\varepsilon</math>-<math>\delta</math>)</li> <li>26. Асимптотически устойчивое по Ляпунову невозмущенное движение нелинейной системы (в терминах <math>\varepsilon</math>-<math>\Delta</math>)</li> <li>27. Орбитально устойчивое невозмущенное движение нелинейной системы (в терминах <math>\varepsilon</math>-<math>\delta</math>)</li> <li>28. Асимптотически орбитально устойчивое невозмущенное движение нелинейной системы (в терминах <math>\varepsilon</math>-<math>\Delta</math>)</li> <li>29. Устойчивость по Лагранжу нелинейной системы</li> <li>30. Старший (первый) показатель Ляпунова для линейных нестационарных систем</li> <li>31. Общий вид нелинейной системы с переключениями и условие попадания на поверхность скольжения.</li> <li>32. Знакоопределенная функция и знакопостоянная функция</li> </ol>
--	--	---

<b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b>			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Контрольная работа №1	ОПК-1-У1;УК-1-У1	Работа состоит из четырех задач на темы: Математическое описание дискретных систем управления. Устойчивость дискретных систем.
P2	Контрольная работа №2	ОПК-1-В1;УК-1-В1;УК-1-У1	Работа состоит из четырех задач на темы: Оценка качества дискретных систем. Синтез дискретных систем управления. Метод гармонической линеаризации. Метод функций Ляпунова.
P3	Лабораторная работа №1	ОПК-1-В1	Работа состоит из задания на тему: Оценка качества дискретных систем. Кроме того, необходимо написать программу, представляющую собой список команд на одном из языков программирования и решающую предложенное задание.
P4	Лабораторная работа №2	УК-1-В1	Работа состоит из задания на тему: Синтез дискретных систем управления. Кроме того, необходимо написать программу, представляющую собой список команд на одном из языков программирования и решающую предложенное задание.
P5	Лабораторная работа №3	УК-1-У1;УК-1-В1	Работа состоит из задания на тему: Метод фазовой плоскости. Кроме того, необходимо написать программу, представляющую собой список команд на одном из языков программирования и решающую предложенное задание.

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзаменационный билет состоит из блиц-опроса (3 случайных определения), 2-х теоретических вопросов и одной задачи. Задачи в билетах являются типовыми и подобные задачи решаются по ходу выполнения работ дисциплины.

Пример экзаменационного билета:  
Кафедра инженерной кибернетики

Экзаменационный билет № 1

1. Сформулировать критерий Джюри. Привести пример влияния квантования по времени на устойчивость.
2. Перечислить виды типовых нелинейностей. Вычислить коэффициенты гармонической линеаризации для идеального реле (несимметричные автоколебания), реле с зоной нечувствительности (симметричные автоколебания).
3. Определить  $Z_T$  – изображение при периоде  $T = 0.1$  следующей передаточной функции:  $W(s)=1/(s+3)^2$ .

Блиц-опрос:

1. Сформулировать определение устойчивого полинома в дискретном времени.
2. Сформулировать определение  $Z_T$  преобразования.
3. Сформулировать определение асимптотически орбитально устойчивого невозмущенного движения нелинейной системы.

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Итоговая оценка определяется на основании результатов работы в семестре (контрольных работ по практике (8 баллов), самостоятельных работ по теории (2 балла), лабораторных работ (3 балла)) и ответа на экзамене.

Шкала оценивания результатов работы в семестре

Оценка Критерий оценивания ( сумма набранных баллов за "практику", "теорию", "лабораторные работы", соответственно)  
«Отлично» - "практика" $\geq 6$ ; "теория" $\geq 1.6$ ; "лабораторные работы" $= 3$   
«Хорошо» - "практика" $\geq 5$ ; "теория" $\geq 1.3$ ; "лабораторные работы" $= 3$   
«Удовлетворительно» - "практика" $\geq 4$ ; "теория" $\geq 1$ ; "лабораторные работы" $= 3$   
«Неудовлетворительно» - "практика" $< 4$ ; "теория" $< 1$ ; "лабораторные работы" $< 3$

Итоговая оценка не может отличаться от оценки за работу в семестре более чем на один балл в большую сторону.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Дмитриева В. В., Певзнер Л. Д.	Лабораторный практикум по дисциплине "Теория автоматического управления": учебное пособие для вузов: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Московский государственный горный университет, 2010

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.2	Дмитриева В. В.	Практикум для самостоятельной подготовки к практическим занятиям по дисциплине "Теория автоматического управления": учеб. пособие для студ., обуч. по спец. 220201 "Управление и информатика в технических системах"	Библиотека МИСиС	М.: Горная книга, 2012
Л1.3	Нетушил А. В.	Теория автоматического управления: учебник для студ.	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1976
Л1.4	Нетушил А. В., Балтрушевич А. В., Бурляев В. В., др., Нетушил А. В.	Теория автоматического управления: Нелинейные системы, управления при случайных воздействиях: учебник для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1983

### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Певзнер Л. Д., Дмитриева В. В.	Лабораторный практикум по дисциплине "Теория автоматического управления": учеб. пособие для студ. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МГТУ, 2007
Л2.2	Дмитриева В. В.	Практикум для самостоятельной подготовки к практическим занятиям по дисц. "Теория автоматического управления": учеб. пособие для студ., обуч. по спец. 220201 "Управление и информатика в технических системах"	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МГТУ, 2008
Л2.3	Душин С. Е., Зотов Н. С., Имаев Д. Х., др., Яковлев В. Б.	Теория автоматического управления: учебник для студ. вузов, обуч. по напр. подготовки бакалавров и магистров "Автоматизация и управление"	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 2003

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	LMS Canvas
П.2	MS Teams
П.3	MATLAB

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	Документация Matlab ( <a href="https://docs.exponenta.ru/">https://docs.exponenta.ru/</a> )
И.2	Matlab Documentation ( <a href="https://mathworks.com/help/matlab/">https://mathworks.com/help/matlab/</a> )

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Б-907	Учебная аудитория:	1 стационарный компьютер, пакет лицензионных программ MS Office, комплект учебной мебели на 42 посадочных места, демонстрационное оборудование: доска, проектор мультимедийный x 2, экран x 2, колонки
Б-904а	Учебная аудитория:	20 стационарных компьютеров (core i5-3470 8gb RAM), пакет лицензионных программ MS Office, демонстрационное оборудование: доска, проектор мультимедийный, экран, колонки, комплект учебной мебели

Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
---------------------------------------	--	--

### **8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Для изучения дисциплины рекомендуется изучать тему занятия до его проведения, используя рекомендованную литературу.