

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В. Г. ШУХОВА»  
(БГТУ им. В. Г. Шухова)

СОГЛАСОВАНО  
Директор института  
магистратуры  
И. В. Ярмоленко  
« 20 » 05 2021 г.



УТВЕРЖДАЮ  
Директор института ЭИТУС  
А. В. Белоусов  
« 20 » 05 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**дисциплины (модуля)**

Хаотическая динамика импульсных систем

Направление подготовки (специальность):

15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Направленность программы (профиль, специализация):

Автоматизация технологических процессов и производств (промышленность)

Квалификация:

магистр

Форма обучения

очная

Институт Магистратуры

Кафедра Технической кибернетики

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств (уровень магистратуры), утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1452 от 25 ноября 2020 г.
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В. Г. Шухова в 2021 году.

Составитель (составители):

д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень и звание)

  
(подпись)

Ж. Т. Жусубалиев  
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 14 » 05 2021 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой:

д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень и звание)

  
(подпись)

В. Г. Рубанов  
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа согласована с выпускающей(ими) кафедрой(ами)

Технической кибернетики

(наименование кафедры/кафедр)

Заведующий кафедрой:

д-р техн. наук, проф.  
(ученая степень и звание)

  
(подпись)

В. Г. Рубанов  
(инициалы, фамилия)

« 14 » 05 2021 г.

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 20 » 05 2021 г., протокол № 9

Председатель:

канд. техн. наук, доц.  
(ученая степень и звание)

  
(подпись)

А. Н. Семернин  
(инициалы, фамилия)

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Общепрофессиональные компетенции	ОПК-5. Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	ОПК-5.2. Разрабатывает аналитические и численные методы при создании математических моделей импульсных систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули	<p><b>Знать:</b> о целостности процессов и явлений, происходящих в природе, как объектах управления, взаимодействующих с внешней средой и о системе знаний, составляющих основу дисциплины «Хаотическая динамика импульсных систем», принципы получения данных для построения математических моделей; примеры построения математических моделей узлов импульсных систем, аналитические, численные и численно-аналитические методы математического моделирования импульсных систем.</p> <p><b>Уметь:</b> применять теоретические знания при создании математических моделей импульсных систем управления, разрабатывать численные методы для проведения моделирования нелинейных систем управления</p> <p><b>Владеть:</b> навыками использования физико-математического аппарата, необходимого для описания и исследования выбранных технических объектов, навыками работы с импульсными системами различных классов, научными методами исследований.</p>
	ОПК-11. Способен разрабатывать современные методы исследования автоматизированного оборудования в машиностроении	ОПК-11.2. Применяет теорию хаотической динамики импульсных систем для разработки современных методов исследования автоматизированного оборудования в машиностроении	<p><b>Знать:</b> методы теории хаотической динамики, типы подсистем автоматизированных систем; программные средства и заложенные в них теоретические основы для анализа нелинейной динамики импульсных систем управления.</p> <p><b>Уметь:</b> составлять математические модели импульсных систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-</p>

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
			сенсорные и управляющие модули, применять имеющиеся программные пакеты и разрабатывать новое программное обеспечение, необходимое для анализа хаотической динамики импульсных систем и ее учета при синтезе систем управления. <b>Владеть:</b> практическими навыками разработки методов исследования нелинейных систем автоматического управления.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

**1. Компетенция ОПК-5.** Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Теория матриц
2	Хаотическая динамика импульсных систем

**2. Компетенция ОПК-11.** Способен разрабатывать современные методы исследования автоматизированного оборудования в машиностроении

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Метод пространства состояния в теории управления
2	Хаотическая динамика импульсных систем
3	Динамика цифровых систем управления

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зач. единиц, 180 часов.

Форма промежуточной аттестации экзамен.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 2
Общая трудоемкость дисциплины, час	180	180
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в том числе:</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
лекции	17	17
лабораторные	34	34
практические	17	17
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	4	4
<b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
курсовой проект		
курсовая работа	0	0
расчетно-графическое задание	0	0
индивидуальное домашнее задание	0	0
самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	72	72
экзамен	36	36

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Наименование тем, их содержание и объем

Курс 1 Семестр 2

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
<b>1. Элементы теории динамических систем</b>					
	<p>Определение динамической системы. Понятие фазового пространства. Автономные и неавтономные системы. Потоки и дискретные отображения. Простейшие примеры дискретных отображений. Метод сечений Пуанкаре. Стробоскопическое отображение. Математические модели релейных и импульсных систем с хаотической динамикой в непрерывном и дискретном времени.</p>	4	4	8	26
<b>2. Одномерные дискретные отображения и их бифуркации</b>					
	<p>Простейшие свойства одномерных отображений. Неподвижные точки. Устойчивые и неустойчивые неподвижные точки. Мультипликатор и его геометрическая интерпретация. Циклы. Задача поиска циклов в одномерных отображениях. Мультипликаторы циклов. Бифуркации в одномерных отображениях. Касательная бифуркация, бифуркация вилки, бифуркация удвоения периода, транскритическая бифуркация. Нормальные формы и бифуркационные условия.</p>	4	4	8	26
<b>3. Двумерные дискретные отображения</b>					
	<p>Неподвижные точки двумерных отображений. Матрица монодромии и мультипликаторы. Устойчивость неподвижных точек. Треугольник устойчивости. Циклы двумерных отображений. Матрица монодромии и мультипликаторы циклов. Гиперболические неподвижные точки и циклы. Устойчивые и неустойчивые инвариантные множества. Бифуркации в двумерных отображениях: седло-узловая бифуркация, бифуркация удвоения периода. Бифуркация Неймарка-Саккера. Аттракторы в виде замкнутых инвариантных кривых. Языки Арнольда. Число вращения</p>	4	4	8	30
<b>4. Бифуркации и хаотическая динамика в импульсных системах</b>					
	<p>Базовая модель импульсной системы со сложной динамикой. Математическая модель системы управления с широтно-импульсной модуляцией. Преобразова-</p>	5	5	10	30

	ние математической модели в каноническую форму. Методика получения стробоскопического отображения. Модели релейных систем с гистерезисом. Элементы теории устойчивости периодических режимов в динамических системах с разрывной правой частью. Алгоритмы поиска периодических движений и анализа их локальной устойчивости. Бифуркационный анализ импульсных систем с хаотической динамикой.				
	<b>ВСЕГО</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>112</b>

#### 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
<u>семестр № 2</u>				
1	Элементы теории динамических систем.	Математические модели линейных импульсных систем. Изучение метода расчета периодических движений.	2	2
2	Одномерные дискретные отображения и их бифуркации.	Алгоритмы расчета итерационной и бифуркационной диаграмм. Поиск неподвижных точек и циклов. Решение задач.	3	3
		Исследование устойчивости неподвижных точек, циклов. Анализ бифуркаций. Решение задач.	2	2
3	Двумерные дискретные отображения.	Поиск неподвижных точек, циклов. Устойчивость неподвижных точек, циклов. Классификация гиперболических точек на фазовой плоскости. Решение задач.	3	3
		Бифуркации в двумерных отображениях. Решение задач.	2	2
4	Бифуркации и хаотическая динамика в импульсных системах.	Поиск периодических движений релейных и импульсных систем.	3	3
		Исследование локальной устойчивости периодических движений релейных и импульсных систем	2	2
<b>ИТОГО:</b>			<b>17</b>	<b>17</b>
<b>ВСЕГО:</b>			<b>34</b>	<b>34</b>

#### 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
<u>семестр № 2</u>				
1	Элементы теории динамических систем	Алгоритм непосредственного поиска периодических движений импульсных систем. Написать программу для расчета	6	6

		периодического движения линейных импульсных систем.		
2	Одномерные дискретные отображения и их бифуркации	Написать программу для расчета неподвижных точек и циклов. Решение тестовых задач.	4	4
		Написать программы для численного анализа бифуркаций: поиск неподвижных точек (циклов), расчет мультипликаторов, расчет точек бифуркаций, классификация бифуркаций. Проведение численного анализа бифуркаций на тестовых задачах.	4	4
3	Двумерные дискретные отображения	Разработать алгоритм численного поиска неподвижных точек (циклов) двумерных отображений методом Ньютона-Рафсона. Решение на ЭВМ тестовых задач.	6	6
		Устойчивость неподвижных точек (циклов): численная реализация алгоритма расчета матрицы монодромии и мультипликаторов. Расчет фазовых портретов на плоскости гиперболических неподвижных точек. Численный анализ бифуркаций в двумерных отображениях. Решение на ЭВМ тестовых задач.	6	6
4	Бифуркации и хаотическая динамика в импульсных системах	Разработать алгоритм и написать программу численного расчета периодических движений импульсных систем методом уравнений периодов. Решение на ЭВМ тестовых задач	4	4
		Разработать алгоритм и написать программу численного исследования устойчивости периодических решений дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями. Решение тестовых задач на примерах моделей релейных и импульсных систем.	4	4
ИТОГО:			34	34
ВСЕГО:				68

#### 4.4. Содержание курсового проекта/работы

Не предусмотрено учебным планом.

#### 4.5. Содержание расчетно-графического задания, индивидуальных домашних заданий

В процессе выполнения расчетно-графического задания осуществляется контактная работа обучающегося с преподавателем. Консультации проводятся в аудитория и/или посредством электронной информационно-образовательной среды университета.



## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 5.1. Реализация компетенций

**1. Компетенция ОПК-5.** Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ОПК-5.2. Разрабатывает аналитические и численные методы при создании математических моделей импульсных систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули	Защита лабораторных работ, экзамен

**2. Компетенция ОПК-11.** Способен разрабатывать современные методы исследования автоматизированного оборудования в машиностроении

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ОПК-11.2. Применяет теорию хаотической динамики импульсных систем для разработки современных методов исследования автоматизированного оборудования в машиностроении	Защита лабораторных работ, экзамен

### 5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

#### 5.2.1. Перечень типовых вопросов и заданий для экзамена

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Элементы теории динамических систем (ОПК-5)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Классификация диссипативных динамических систем: автономные и неавтономные системы; дискретные системы и системы с непрерывным временем.</li> <li>2. Определение фазового пространства.</li> <li>3. Предельные инвариантные множества: состояния равновесия, предельные циклы.</li> <li>4. Отображение Пуанкаре.</li> <li>5. Стробоскопическое отображение.</li> <li>6. Метод Хенона.</li> <li>7. Математические модели линейных импульсных систем.</li> <li>8. Решение задачи Коши для моделей линейных импульсных систем.</li> <li>9. Определение экспоненциальной матрицы. Свойства экспоненциальной матрицы.</li> <li>10. Алгоритмы расчета экспоненциальной матрицы. Алгоритм непосредственного расчета периодического режима линейных импульсных систем.</li> </ol>
2	Одномерные дискретные отображения и их бифуркации (ОПК-11)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Пусть <math>f(x) = ax + b</math>, где <math>a, b</math> – константы. При каких значениях <math>a, b</math> отображение <math>x \mapsto f(x)</math> имеет притягива-</li> </ol>

- ющую неподвижную точку, а при каких – отталкивающую.
2. Пусть  $f(x) = x - x^2$ . Покажите, что  $x = 0$  – неподвижная точка отображения  $x \mapsto f(x)$ . Опишите динамику отображения в окрестности  $x = 0$ .
  3. Найдите все неподвижные точки отображения  $x \mapsto f(x)$ ,  $f(x) = x - x^3$  и исследуйте их локальную устойчивость.
  4. Покажите, что отображение  $x \mapsto \frac{1}{2} \left( x + \frac{a}{x} \right)$  можно использовать для вычисления квадратного корня из числа  $a$ . Найдите первые пять членов последовательности  $x_k$ ,  $x_{k+1} = f(x_k)$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ , порождаемой этим отображением при  $a = 2$ . Величину  $x_0$  положите равной единице. Покажите, что неподвижная точка этого отображения устойчива.
  5. Найдите неподвижную точку и отвечающий ей мультипликатор для отображения  $x \mapsto 1 - ax^2$ . Используя этот результат, найдите порог касательной бифуркации, порог бифуркации удвоения периода и условие максимальной устойчивости неподвижной точки. Изобразите итерационные диаграммы до и после бифуркации
  6. Найдите значения параметра, отвечающие касательной бифуркации и бифуркации удвоения периода для неподвижной точки отображения  $x \mapsto a - x^4$ .
  7. Найдите неподвижные точки кубического отображения  $x \mapsto ax - x^3$  и исследуйте их устойчивость. Найдите значения параметра  $a$ , при которых неподвижные точки теряют устойчивость.
  8. Рассчитайте итерационные диаграммы до порога вилообразной бифуркации и после для кубического отображения  $x \mapsto ax - x^3$ .
  9. Покажите, что для отображения  $x \mapsto \frac{ax}{\sqrt{1+x^2}}$  имеет место бифуркация типа «вилка». Найдите бифуркационное значение параметра и изобразите итерационные до и после бифуркации.
  10. Найдите элементы 2-цикла отображения  $x \mapsto 1 - ax^2$  и определите его мультипликатор как функцию параметра  $a$ . Найдите порог рождения 2-цикла, порог бифуркации удвоения периода и 2-цикл максимальной устойчивости.
  11. Найдите функцию  $F(x) = f(f(x))$ ,  $f(x) = 1 - ax^2$ . Изобразите график функции  $F(x)$  при различных  $a$  и обсудите бифуркацию рождения 2-цикла отображения  $x \mapsto f(x)$ . Укажите элементы 2-цикла на графике  $F(x)$ .
  12. Для кубического отображения вида  $x \mapsto a - bx + x^3$  найдите область устойчивости неподвижной точки на плоскости параметров  $(a, b)$ , ограниченную линиями касательной бифуркации и бифуркации удвоения перио-

3	Двумерные дискретные отображения (ОПК-11)	<p>да.</p> <p>1. Пусть <math>X \mapsto AX</math>, <math>X = (x, y)^T</math> – линейное двумерное отображение. Классифицируйте неподвижные точки, если:</p> $A = \begin{bmatrix} 1/2 & -2/3 \\ 2/3 & 1/2 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 \\ 1/4 & 3/4 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} -2 & -1 \\ 1 & -2 \end{bmatrix}$ <p>2. Изобразите качественно динамику двумерного отображения на фазовой плоскости в окрестности неподвижной точки в случаях, когда</p> <p>(а) мультипликаторы <math>\rho_1, \rho_2, \rho_1 \neq \rho_2</math> действительные и:  <math>0 &lt; \rho_{1,2} &lt; 1</math>; <math>-1 &lt; \rho_{1,2} &lt; 0</math>; <math>0 &lt; \rho_1 &lt; 1, -1 &lt; \rho_2 &lt; 0</math>;  <math>\rho_{1,2} &lt; -1</math>; <math>\rho_{1,2} &gt; 1</math>.</p> <p>(б) мультипликаторы комплексные <math>\rho_{1,2} = \alpha \pm i\beta</math>: <math> \rho_{1,2}  &lt; 1</math>;  <math> \rho_{1,2}  &gt; 1</math>. В обоих случаях аргумент равен <math>\pi/5</math>.</p> <p>3. Для двумерного отображения  <math>x_{k+1} = y_k, y_{k+1} = by_k - cx_k + x_k^2</math>  найдите неподвижные точки, матрицу монодромии, а также ее след и определитель как функции параметров <math>b</math> и <math>c</math>. Найдите линии бифуркации седло-узел, бифуркации удвоения периода и бифуркации Неймарка-Саккера и нанесите их на плоскость <math>(b, c)</math>.</p> <p>4. Для двумерного отображения  <math>x_{k+1} = ax_k + y_k, y_{k+1} = bx_k + x_k^3</math>  найдите границы области устойчивости неподвижных точек на плоскости параметров <math>(a, b)</math>.</p> <p>5. Найдите диапазон значений параметра <math>a</math>, в котором нетривиальная неподвижная точка двумерного отображения  <math>(x, y) \mapsto (y, ay(1-x))</math> является устойчивой.</p> <p>6. Для двумерного отображения  <math>(x, y) \mapsto (1-ax^2 + by, x)</math> найдите неподвижные точки, матрицу монодромии, а также ее след и определитель как функции параметров <math>a, b</math>. Найдите аналитическое выражение для линии касательной бифуркации и бифуркации удвоения периода неподвижной точки и нанесите их на плоскость параметров <math>(a, b)</math>.</p> <p>7. Найдите элементы 2-цикла двумерного отображения  <math>(x, y) \mapsto (1-ax^2 + y, bx)</math> как функции параметров <math>a, b</math>. Найдите аналитическое выражение для линии рождения 2-цикла и для линии бифуркации удвоения периода 2-цикла.</p> <p>8. Покажите, что для произвольного двумерного отображения область устойчивости неподвижной точки на плоскости след <math>S</math> и определитель <math>\Delta</math> матрицы Якоби имеет вид треугольника, ограниченного тремя линиями:  <math>1 + S + \Delta = 0, 1 - S + \Delta = 0, \Delta = 1</math>.</p>
4	Бифуркации и хаотическая динамика в им-	1. Системы с импульсной модуляцией. Широтно-импульсная модуляция первого рода и второго рода.

	<p>пульсных системах (ОПК-5)</p>	<p>Схемы и модели модуляторов.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Базовые модели импульсных систем с хаотической динамикой.</li> <li>3. Методика построения стробоскопического отображения.</li> </ol> <p>Построить стробоскопическое отображение для моделей систем управления с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Алгоритмы поиска циклов и анализа их локальной устойчивости.</li> <li>5. Математические модели релейных систем.</li> <li>6. Получить уравнения периодов для поиска предельных циклов с двумя переключениями на периоде. Решение задач.</li> <li>7. Разработать алгоритм численного решения уравнений периодов методом Ньютона.</li> <li>8. Получить уравнение для расчета матрицы монодромии.</li> <li>9. Найдите матрицу пересчета в точках разрыва фундаментальной матрицы.</li> <li>10. Разработать алгоритм исследования локальной устойчивости периодических решений дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями на примере моделей релейных и импульсных систем.</li> <li>11. Получить уравнение для неподвижных точек для дискретной модели системы управления с ШИМ. Получить аналитическое выражения для матрицы монодромии. Сформулировать критерии локальной устойчивости.</li> <li>12. Получить уравнения для расчета бифуркаций неподвижных точек.</li> </ol>
--	----------------------------------	--

### **5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсового проекта / курсовой работы**

Выполнение курсовых проектов и курсовых работ не предусмотрено учебным планом дисциплины.

### **5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре**

В лабораторном практикуме по дисциплине представлен перечень работ, обозначены цель и задачи, необходимые теоретические и методические указания к работе, перечень контрольных вопросов.

Защита лабораторных работ возможна после проверки правильности выполнения задания, оформления отчета. Защита проводится в форме собеседования преподавателя со студентом по теме работы. Примерный перечень контрольных вопросов для защиты лабораторных работ представлен в таблице.

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
1.	Лабораторная работа №1. Элементы теории динамических систем. (ОПК-5)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Алгоритм непосредственного поиска периодических движений импульсных систем.</li> <li>2. Написать программу для расчета периодического движения линейных импульсных систем.</li> </ol>

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
2.	Лабораторная работа №2. Одномерные дискретные отображения и их бифуркации. (ОПК-11)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Написать программу для расчета неподвижных точек и циклов. Решение тестовых задач.</li> <li>2. Написать программы для численного анализа бифуркаций: поиск неподвижных точек (циклов), расчет мультипликаторов, расчет точек бифуркаций.</li> <li>3. Классификация бифуркаций. Проведение численного анализа бифуркаций на тестовых задачах.</li> </ol>
3.	Лабораторная работа №3. Двумерные дискретные отображения. (ОПК-11)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработать алгоритм численного поиска неподвижных точек (циклов) двумерных отображений методом Ньютона-Рафсона. Решение на ЭВМ тестовых задач.</li> <li>2. Устойчивость неподвижных точек (циклов): численная реализация алгоритма расчета матрицы монодромии и мультипликаторов.</li> <li>3. Расчет фазовых портретов на плоскости гиперболических неподвижных точек.</li> <li>4. Численный анализ бифуркаций в двумерных отображениях. Решение на ЭВМ тестовых задач.</li> </ol>
4.	Лабораторная работа №4. Бифуркации и хаотическая динамика в импульсных системах. (ОПК-5)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработать алгоритм и написать программу численного расчета периодических движений импульсных систем методом уравнений периодов. Решение на ЭВМ тестовых задач.</li> <li>2. Разработать алгоритм и написать программу численного исследования устойчивости периодических решений дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями.</li> <li>3. Решение тестовых задач на примерах моделей релейных и импульсных систем.</li> </ol>

**Практические занятия.** Практические занятия призваны повышать уровень умений и навыков студентов. Предусматривается проверка выполнения домашних заданий и участие в решении задач по пройденному материалу. По итогам проведения практических занятий предусмотрено ответы на контрольные вопросы.

№	Тема практического (семинарского) занятия	Примеры контрольных заданий
1.	Практическое занятие №1. Элементы теории динамических систем. (ОПК-5)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Математические модели линейных систем.</li> <li>2. Математические модели линейных импульсных систем.</li> <li>3. Методы расчета периодических движений.</li> </ol>
2.	Практическое занятие №2. Одномерные дискретные отображения и их бифуркации. (ОПК-11)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Алгоритмы расчета итерационной и бифуркационной диаграмм.</li> <li>2. Поиск неподвижных точек и циклов.</li> <li>3. Исследование устойчивости неподвижных точек и циклов.</li> <li>4. Анализ бифуркаций.</li> </ol>
3.	Практическое занятие №3. Двумерные дискретные отображения. (ОПК-11)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поиск неподвижных точек и циклов.</li> <li>2. Устойчивость неподвижных точек и циклов.</li> <li>3. Классификация гиперболических точек на фазовой плоскости.</li> <li>4. Бифуркации в двумерных отображениях.</li> </ol>
4.	Практическое занятие №4. Бифуркации и хаотическая динамика в импульсных системах. (ОПК-5)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поиск периодических движений релейных и импульсных систем.</li> <li>2. Поиск периодических движений релейных и импульсных систем.</li> </ol>

№	Тема практического (семинарского) занятия	Примеры контрольных заданий
		3. Исследование локальной устойчивости периодических движений релейных и импульсных систем.

#### 5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Знание терминов, классификаций, основных принципов
	Объем освоенного материала
	Полнота ответов на вопросы
	Четкость изложения и интерпретации знаний
Умения	Умение разрабатывать и использовать аналитические и численные методы при создании математических моделей импульсных систем
	Умение применять теорию хаотической динамики импульсных систем для разработки современных методов исследования автоматизированного оборудования в машиностроении
Навыки	Владеть методами хаотической динамики для составления моделей, анализа и синтеза нелинейных систем управления
	Владеть навыками работы с программным обеспечением для анализа нелинейной динамики

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание терминов, классификаций, основных принципов	Не знает терминов классификаций, основных принципов	Знает термины классификации, основные принципы, но допускает неточности формулировок	Знает термины классификации, основные принципы	Знает термины классификации, основные принципы, может корректно сформулировать их самостоятельно
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Знает только основной материал дисциплины, не усвоил его деталей	Знает материал дисциплины в достаточном объеме	Обладает твердым и полным знанием материала дисциплины, владеет дополнительными знаниями

Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство вопросов	Дает неполные ответы на все вопросы	Дает ответы на вопросы, но не все – полные	Дает полные, развернутые ответы на поставленные вопросы
Четкость изложения и интерпретации знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания с нарушениями в логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности	Излагает знания в логической последовательности, самостоятельно их интерпретируя и анализируя
	Не иллюстрирует изложение поясняющими схемами, рисунками и примерами	Выполняет поясняющие схемы и рисунки небрежно и с ошибками	Выполняет поясняющие рисунки и схемы корректно и понятно	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и аккуратно, раскрывая полноту усвоенных знаний
	Неверно излагает и интерпретирует знания	Допускает неточности в изложении и интерпретации знаний	Грамотно и по существу излагает знания	Грамотно и точно излагает знания, делает самостоятельные выводы

#### Оценка сформированности компетенций по показателю Умения.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Умение разрабатывать и использовать аналитические и численные методы при создании математических моделей импульсных систем	Не умеет разрабатывать и использовать аналитические и численные методы при создании математических моделей импульсных систем	Умеет с дополнительной помощью использовать аналитические и численные методы при создании математических моделей простых импульсных систем	Умеет разрабатывать и использовать аналитические и численные методы при создании математических моделей простых импульсных систем	Умеет разрабатывать и использовать новые аналитические и численные методы при создании математических моделей импульсных систем
Умение применять теорию хаотической динамики импульсных систем для разработки современных методов исследования автоматизированного оборудования в машиностроении	Не умеет применять теорию хаотической динамики импульсных систем для разработки современных методов исследования автоматизированного оборудования в машиностроении	Умеет с дополнительной помощью применять теорию хаотической динамики импульсных систем для разработки современных методов исследования автоматизированного оборудования в машиностроении	Умеет применять теорию хаотической динамики для разработки современных методов исследования существующего автоматизированного оборудования в машиностроении	Умеет применять теорию хаотической динамики импульсных систем для разработки методов исследования нового автоматизированного оборудования в машиностроении

## Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Владеть методами хаотической динамики для составления моделей, анализа и синтеза нелинейных систем управления	В принципе не понимает как использовать методы хаотической динамики для составления моделей, анализа и синтеза нелинейных систем управления	Имеет поверхностное представление о том как используется методы хаотической динамики для составления моделей, анализа и синтеза нелинейных систем управления	Владеет базовыми методами хаотической динамики для составления моделей, анализа и синтеза нелинейных систем управления	Владеет охватываемыми учебной программой методами хаотической динамики для составления моделей, анализа и синтеза нелинейных систем управления
Владеть навыками работы с программным обеспечением для анализа нелинейной динамики	В принципе не понимает как работать с программным обеспечением для анализа нелинейной динамики	Имеет поверхностное представление о том как работать с программным обеспечением для анализа нелинейной динамики	Владеет навыками работы с программным обеспечением для анализа нелинейной динамики типовых моделей	Владеет навыками работы с программным обеспечением для анализа нелинейной динамики моделей заданного класса

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Лаборатория теории автоматического управления и моделирования средств управления УК 4, № 231	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, экран, ноутбук; проектор с переносным экраном; 6 персональных компьютеров с доступом в сеть Интернет; стенд для исследования мобильных роботов, шкаф автоматизации лабораторной установки для изучения САР уровня
2	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель; компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет», имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду
3	Методический кабинет	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук



## 6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения	Реквизиты подтверждающего документа
1	Microsoft Windows 10 Корпоративная	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017
2	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
3	Kaspersky Endpoint Security «Стандартный Russian Edition»	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018. Срок действия лицензии до 19.08.2020 Гражданско-правовой Договор (Контракт) № 27782 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 03.06.2020. Срок действия лицензии 19.08.2022г.
4	MathWorks	Лицензия №1145851 бессрочная
5	MSC Easy5, Patran, Nastran, Adams	Соглашение RE008959BST-1 от 26.11.2018 бессрочная

## 6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Жусубалиев, Ж. Т. Бифуркации и хаотическая динамика в импульсных системах. Учебное пособие/ Ж. Т. Жусубалиев, В. Г. Рубанов, В. С. Титов, О.О. Яночкина. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. - 141 с.
2. Zhusubaliyev, Zh.T. and E. Mosekilde, 2003. Bifurcations and Chaos in Piecewise-Smooth Dynamical Systems. Singapore: World Scientific, pp: 363. - ISBN 981-238-420-0.
3. Banerjee, S. and G. C. Verghese, 2001. Nonlinear Phenomena in Power Electronics, IEEE Press, New York, USA. — Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/1971996>.
4. Bernardo, Di. M., C. J. Budd, A. R. Champneys and P. Kowalczyk, 2008. Piecewise-smooth Dynamical Systems: Theory and Applications, in: Applied Mathematical Sciences, vol. 163, Springer, pp: 483. — Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/1971996>.
5. Jian-Qiao Sun, Albert C.J. Luo, Bifurcation and Chaos in Complex Systems, Volume 1 (Edited Series on Advances in Nonlinear Science and Complexity)? 2006. Department of Applied Mathematics, The University of Western Ontario, London, Ontario, N6A 5B7. — Режим доступа: <http://b-ok.org/book/918272/18132c>
6. Гелиг, А. Х. Колебания и устойчивость нелинейных импульсных систем / А. Х. Гелиг, А. Н. Чурилов. - СПб.: Изд-во С. - Петерб. ун-та, 1993. 263 с.
7. Цыпкин, Я. З. Теория линейных импульсных систем / Я. З. Цыпкин. М.: Физматгиз, 1963. - 384 с.
8. Цыпкин, Я. З. Теория нелинейных импульсных систем / Я. З. Цыпкин, Ю. С. Попков. - М.: Наука, 1973. - 414 с.

9. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е. П. Попов. - СПб.: Профессия, 2003.
10. Кобзев, А. В. Модуляционные источники питания РЭА / А. В. Кобзев, Г. Я. Михальченко, Н. М. Музыченко. - Томск: Радио и связь, Том. отделение, 1990. - 336 с. - ISBN 5-256-00515-4.
11. Кузнецов, С. П. Динамический хаос: курс лекций / С. П. Кузнецов. М.: Физматлит, 2001. - 296 с. - ISBN 5-94052-044-8.
12. Филиппов, А. Ф. Дифференциальные уравнения с разрывной правой частью / А. Ф. Филиппов. - М.: Наука, 1985. - 224 с.
13. Фейгин, М. И. Вынужденные колебания систем с разрывными нелинейностями / М. И. Фейгин. - М.: Наука, 1994. - 288 с.
14. Leine, R. I. Dynamics and Bifurcations of Non-Smooth Mechanical Systems / R. I. Leine, H. Nijmeijer. - Berlin: Springer-Verlag, 2004.
15. Арнольд, В. И. Теория бифуркаций / В. И. Арнольд, В. С. Айфрамович, Ю. С. Ильященко [и др.]. - М.: ВИНТИ, 1986. - 215 с.
16. Kuznetsov, Yu. A. Elements of Applied Bifurcation Theory / Yu. A. Kuznetsov. - New York: Springer-Verlag, 2004. - 525 p.
17. Малинецкий, Г. Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент: Введение в нелинейную динамику / Г. Г. Малинецкий. - М.: Эдиториал УРСС, 2002. - 256 с. - ISBN 5-8360-0132-4.
18. Баушев, В. С. Математическое моделирование и автоматизация проектирования электронных схем: учебное пособие / В. С. Баушев. - Томск: ТАСУР, 1995. - 91 с.
19. Zhusubaliyev, Zh. T. Chaos in Pulse-Width Modulated Control Systems: Handbook of Chaos Control / Zh. T. Zhusubaliyev, E. Mosekilde. 2<sup>nd</sup> Edition, Sholl and Schuster. Weinheim: Wiley-VCH, 2007. - 550 p. - ISBN: 978-3-527-40605-0
20. Пиковский, А. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление / А. Пиковский, М. Розенблюм, Ю. Куртс. - М.: Техносфера, 2003. - ISBN 5-94836-02-2
21. Гукенхеймер Дж. Нелинейные колебания, динамические системы и бифуркации векторных полей/ Дж. Гукенхеймер, Ф. Холмс – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. -561с. - ISBN 5-93972-200-8
22. Давид, Е. Стюарт Динамика систем с неравенствами [Электронный ресурс]: удары и жесткие связи/ Давид Е. Стюарт— Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2013.— 544 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28885>.— ЭБС «IPRbooks»
23. Каданцев, В.Н. Устойчивость и эволюция динамических систем. Основы синергетики. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Каданцев В.Н.— Электрон. текстовые данные. — Саратов: Вузовское образование, 2013.— 205 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13431>.— ЭБС «IPRbooks»

24. Каданцев, В.Н. Устойчивость и эволюция динамических систем. Основы синергетики. Часть 2 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Каданцев В.Н.— Электрон. текстовые данные. — Саратов: Вузовское образование, 2013.— 210 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13432>.— ЭБС «IPRbooks»
25. Краснопольская, Т.С. Регулярная и хаотическая динамика систем с ограниченным возбуждением [Электронный ресурс]/ Краснопольская Т.С., Швец А.Ю.— Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2008.— 280 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16616>.— ЭБС «IPRbooks»
26. Заславский, Г.М. Гамильтонов хаос и фрактальная динамика [Электронный ресурс]/ Заславский Г.М.— Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2010.— 472 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16509>.— ЭБС «IPRbooks»
27. Методы качественной теории в нелинейной динамике. Часть 1 [Электронный ресурс]/ Л.П. Шильников [и др.]. — Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2004.— 116 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16568>.— ЭБС «IPRbooks»
28. Методы качественной теории в нелинейной динамике. Часть 2 [Электронный ресурс]/ Л.П. Шильников [и др.]. — Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2009.— 548 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16569>.— ЭБС «IPRbooks»
29. Структуры в динамике. Конечномерные детерминированные системы [Электронный ресурс]/ Х.В. Брур [и др.]. — Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2003.— 336 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16630>.— ЭБС «IPRbooks»
30. Динамические модели процессов в клетках и субклеточных наноструктурах [Электронный ресурс]/ В.Д. Лахно [и др.]. — Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2010.— 448 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16513>.— ЭБС «IPRbooks».

## 7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа утверждена на 20\_\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_\_ учебный год  
без изменений.

Протокол № \_\_\_\_\_ заседания кафедры от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В. Г. Рубанов  
подпись ФИО

Директор института \_\_\_\_\_ И.В. Ярмоленко  
подпись ФИО