

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

УТВЕРЖДАЮ  
Директор института



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**дисциплины (модуля)**

**Хаотическая динамика импульсных систем**  
(наименование дисциплины, модуля)

направление подготовки (специальность):

**15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств**  
(шифр и наименование направления бакалавриата, магистра, специальности)

Направленность программы (профиль, специализация):

**15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств**  
**(промышленность)**  
(наименование образовательной программы (профиль, специализация))

Квалификация

**магистр**  
(бакалавр, магистр, специалист)

Форма обучения

**очная**  
(очная, заочная и др.)

Институт: Информационных технологий и управляющих систем

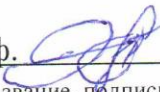
Кафедра: Техническая кибернетика

Белгород – 2015

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств (магистратура), приказ Минобрнауки России от 21 ноября 2014 г. № 1484

- плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, введенного в действие в 2015 году по направлению подготовки 15.04.04 Мехатроника и робототехника (магистратура).

Составитель (составители): д. т. н., проф.  (Ж.Т. Жусубалиев)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)


Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой  
Техническая кибернетика  
(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой: д.т.н., проф.  (В.Г. Рубанов)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

« 11 » марта 2015 г.

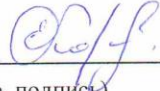
Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 13 » марта 2015 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой: д.т.н., проф.  (В.Г. Рубанов)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 14 » апреля 2015 г., протокол № 9

Председатель: канд. техн. наук, доц.  (Ю.И. Солопов)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

# 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Формируемые компетенции			Требования к результатам обучения
№	Код компетенции	Компетенция	
<b>Общекультурные</b>			
1	ОК-1	Способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <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».</p> <p><b>Уметь:</b> применять теоретические знания при решении практических задач динамики импульсных систем; ставить цели и выбирать пути её достижения; работать в коллективе; расширять свои знания; использовать в практической деятельности новые знания и умения.</p> <p><b>Владеть:</b> способностью к обобщению, анализу и восприятию информации; навыками использования физико-математического аппарата, необходимого для описания и исследования выбранных технических объектов, принципами поиска информации об объекте; навыками работы с импульсными системами различных классов, научными методами исследований.</p>
<b>Профессиональные</b>			
9	ПК -15	Способностью разрабатывать теоретические модели, позволяющие исследовать качество выпускаемой продукции, производственных и технологических процессов, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления, проводить анализ, синтез и оптимизацию процессов автоматизации, управления производством, жизненным циклом продукции и ее качеством на основе проблемно-ориентированных методов	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b> типы подсистем автоматизированных систем; принципы получения данных для построения математических моделей; примеры построения математических моделей узлов импульсных систем; программные средства для анализа и синтеза устройств управления для цифровых систем; методы синтеза цифровых регуляторов.</p> <p><b>Уметь:</b> составлять математические модели импульсных систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули, применять и использовать имеющиеся программные пакеты, разрабатывать новое программное обеспечение, необходимое для обработки информации, управления и диагностики в автоматизированных системах.</p>

			<p><b>Владеть:</b> практическими навыками построения элементарных и обобщенных звеньев моделируемой системы; программными пакетами Matlab, Mathcad, Adams+Easy5 с целью проведения вычислительных экспериментов, моделирования и расчета импульсных систем, их подсистем и отдельных модулей, а также систем управления и контроля; методикой проведения экспериментов и обработки результатов с применением современных информационных технологий на основе проблемно-ориентированных методов.</p>
--	--	--	---

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Содержание дисциплины основывается и является логическим продолжением следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Метод пространства состояния в теории управления
2	Теория матриц
3	Теория и практика научных исследований
4	Распределенные компьютерные информационно-управляющие системы
5	Алгоритмизация технологических процессов

Содержание дисциплины служит основой для изучения следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Динамика цифровых систем управления
2	Проектирование систем управления, контроля и диагностики
3	Методология проектно-конструкторских разработок

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 2
Общая трудоемкость дисциплины, час	<b>180</b>	<b>180</b>
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	<b>68</b>	<b>68</b>
лекции	17	34
лабораторные	17	17
практические	34	34
<b>Самостоятельная работа студентов, в том числе:</b>	<b>112</b>	<b>112</b>
Курсовой проект		
Курсовая работа		
Расчетно-графическое задания		
Индивидуальное домашнее задание		
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	<b>95</b>	<b>95</b>
Самостоятельная работа при подготовке к экзамену	36	36
Самостоятельная работа при подготовке к лабораторным занятиям	17	17
Самостоятельная работа при подготовке к практическим занятиям	34	34
Самостоятельная работа на 1 час лекций	8	8
Форма промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	<b>экзамен</b>	<b>экзамен</b>

*Примечание: предусматривать не менее*  
*0,5 академического часа самостоятельной работы на 1 час лекций,*  
*1 академического часа самостоятельной работы на 1 час лабораторных и практических занятий,*  
*36 академических часов самостоятельной работы на 1 экзамен,*  
*54 академических часов самостоятельной работы на 1 курсовой проект,*  
*36 академических часов самостоятельной работы на 1 курсовую работу,*  
*18 академических часов самостоятельной работы на 1 расчетно-графическую работу,*  
*9 академических часов самостоятельной работы на 1 индивидуальное домашнее задание.*

## 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>					
	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.	4	8	4	26
<b>2. Одномерные дискретные отображения и их бифуркации</b>					
	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.	4	8	4	26
<b>3. Двумерные дискретные отображения</b>					
	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	4	8	4	30
<b>4. Бифуркации и хаотическая динамика в импульсных системах</b>					
	Базовая модель импульсной системы со сложной динамикой. Математическая модель системы управления с широтно-импульсной модуляцией. Преобразование математической модели в	5	10	5	30

	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>34</b>	<b>17</b>	<b>112</b>

*Примечание: в колонку «самостоятельная работа» входят подготовка к лекционным, практическим, лабораторным занятиям.*

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
<b>семестр № 2</b>				
1	Элементы теории динамических систем.	Математические модели линейных импульсных систем. Изучение метода расчета периодических движений.	6	6
2	Одномерные дискретные отображения и их бифуркации.	Алгоритмы расчета итерационной и бифуркационной диаграмм. Поиск неподвижных точек и циклов. Решение задач.	4	4
		Исследование устойчивости неподвижных точек, циклов. Анализ бифуркаций. Решение задач.	4	4
3	Двумерные дискретные отображения.	Поиск неподвижных точек, циклов. Устойчивость неподвижных точек, циклов. Классификация гиперболических точек на фазовой плоскости. Решение задач.	6	6
		Бифуркации в двумерных отображениях. Решение задач.	6	6
4	Бифуркации и хаотическая динамика в импульсных системах.	Поиск периодических движений релейных и импульсных систем.	4	4
		Исследование локальной устойчивости периодических движений релейных и импульсных систем	4	4
<b>ИТОГО:</b>			<b>34</b>	<b>34</b>
			<b>ВСЕГО:</b>	<b>68</b>

#### 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
<b>семестр № 2</b>				
1	Элементы теории динамических систем	Алгоритм непосредственного поиска периодических движений импульсных систем. Написать программу для расчета периодического движения линейных импульсных систем.	3	3

2	Одномерные дискретные отображения и их бифуркации	Написать программу для расчета неподвижных точек и циклов. Решение тестовых задач.	2	2
		Написать программы для численного анализа бифуркаций: поиск неподвижных точек (циклов), расчет мультипликаторов, расчет точек бифуркаций, классификация бифуркаций. Проведение численного анализа бифуркаций на тестовых задачах.	3	3
3	Двумерные дискретные отображения	Разработать алгоритм численного поиска неподвижных точек (циклов) двумерных отображений методом Ньютона-Рафсона. Решение на ЭВМ тестовых задач.	2	2
		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.	3	3
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	2	2
		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.	2	2
ИТОГО:			17	17
ВСЕГО:				34



## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий)

*(Приводятся контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины, а также для контроля самостоятельной работы обучающегося по отдельным разделам дисциплины. Можно привести отдельный перечень для текущего и промежуточного контроля).*

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Элементы теории динамических систем	<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	<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 притягивающую неподвижную точку, а при каких – отталкивающую.</li> <li>2. Пусть <math>f(x) = x - x^2</math>. Покажите, что <math>x = 0</math> – неподвижная точка отображения <math>x \mapsto f(x)</math>. Опишите динамику отображения в окрестности <math>x = 0</math>.</li> <li>3. Найдите все неподвижные точки отображения <math>x \mapsto f(x)</math>, <math>f(x) = x - x^3</math> и исследуйте их локальную устойчивость.</li> <li>4. Покажите, что отображение <math>x \mapsto \frac{1}{2} \left( x + \frac{a}{x} \right)</math> можно использовать для вычисления квадратного корня из числа <math>a</math>. Найдите первые пять членов последовательности <math>x_k</math>, <math>x_{k+1} = f(x_k)</math>, <math>k = 0, 1, 2, \dots</math>, порождаемой этим отображением при <math>a = 2</math>. Величину <math>x_0</math> положите равной единице. Покажите, что неподвижная точка этого отображения устойчива.</li> <li>5. Найдите неподвижную точку и отвечающий ей</li> </ol>

		<p>мультипликатор для отображения <math>x \mapsto 1 - ax^2</math>. Используя этот результат, найдите порог касательной бифуркации, порог бифуркации удвоения периода и условие максимальной устойчивости неподвижной точки. Изобразите итерационные диаграммы до и после бифуркации</p> <p>6. Найдите значения параметра, отвечающие касательной бифуркации и бифуркации удвоения периода для неподвижной точки отображения <math>x \mapsto a - x^4</math>.</p> <p>7. Найдите неподвижные точки кубического отображения <math>x \mapsto ax - x^3</math> и исследуйте их устойчивость. Найдите значения параметра <math>a</math>, при которых неподвижные точки теряют устойчивость.</p> <p>8. Рассчитайте итерационные диаграммы до порога вилообразной бифуркации и после для кубического отображения <math>x \mapsto ax - x^3</math>.</p> <p>9. Покажите, что для отображения <math>x \mapsto \frac{ax}{\sqrt{1+x^2}}</math> имеет место бифуркация типа «вилка». Найдите бифуркационное значение параметра и изобразите итерационные до и после бифуркации.</p> <p>10. Найдите элементы 2-цикла отображения <math>x \mapsto 1 - ax^2</math> и определите его мультипликатор как функцию параметра <math>a</math>. Найдите порог рождения 2-цикла, порог бифуркации удвоения периода и 2-цикл максимальной устойчивости.</p> <p>11. Найдите функцию <math>F(x) = f(f(x))</math>, <math>f(x) = 1 - ax^2</math>. Изобразите график функции <math>F(x)</math> при различных <math>a</math> и обсудите бифуркацию рождения 2-цикла отображения <math>x \mapsto f(x)</math>. Укажите элементы 2-цикла на графике <math>F(x)</math>.</p> <p>12. Для кубического отображения вида <math>x \mapsto a - bx + x^3</math> найдите область устойчивости неподвижной точки на плоскости параметров <math>(a, b)</math>, ограниченную линиями касательной бифуркации и бифуркации удвоения периода.</p>
3	<p>Двумерные дискретные отображения</p>	<p>1. Пусть <math>X \mapsto AX</math>, <math>X = (x, y)^T</math> – линейное двумерное отображение. Классифицируйте неподвижные точки, если:  <math>A = \begin{bmatrix} 1/2 &amp; -2/3 \\ 2/3 &amp; 1/2 \end{bmatrix}</math>, <math>A = \begin{bmatrix} 1 &amp; 1/2 \\ 1/4 &amp; 3/4 \end{bmatrix}</math>, <math>A = \begin{bmatrix} -2 &amp; -1 \\ 1 &amp; -2 \end{bmatrix}</math></p> <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</math>, <math>\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</math>, <math>-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</math>, <math>y_{k+1} = by_k - cx_k + x_k^2</math>  найдите неподвижные точки, матрицу монодромии, а также</p>

		<p>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 импульсных системах	<p>1. Системы с импульсной модуляцией. Широтно-импульсная модуляция первого рода и второго рода. Схемы и модели модуляторов.</p> <p>2. Базовые модели импульсных систем с хаотической динамикой.</p> <p>3. Методика построения стробоскопического отображения. Построить стробоскопическое отображение для моделей систем управления с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).</p> <p>4. Алгоритмы поиска циклов и анализа их локальной устойчивости.</p> <p>5. Математические модели релейных систем.</p> <p>6. Получить уравнения периодов для поиска предельных циклов с двумя переключениями на периоде. Решение задач.</p> <p>7. Разработать алгоритм численного решения уравнений периодов методом Ньютона.</p> <p>8. Получить уравнение для расчета матрицы монодромии.</p> <p>9. Найдите матрицу пересчета в точках разрыва фундаментальной матрицы.</p> <p>10. Разработать алгоритм исследования локальной устойчивости периодических решений дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями на примере моделей релейных и импульсных систем.</p> <p>11. Получить уравнение для неподвижных точек для</p>

		<p>дискретной модели системы управления с ШИМ. Получить аналитическое выражения для матрицы монодромии. Сформулировать критерии локальной устойчивости.</p> <p>12. Получить уравнения для расчета бифуркаций неподвижных точек.</p>
--	--	---

## **5.2. Перечень тем курсовых проектов, курсовых работ, их краткое содержание и объем**

*(Характеризуя КП или КР, необходимо раскрыть их конкретную цель, количество, объем каждого КП или КР).*

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

## **5.3. Перечень индивидуальных домашних заданий, расчетно-графических заданий**

*(Необходимо указать перечень РГЗ или ИДЗ, раскрыть их конкретную цель, объем каждого РГЗ или ИДЗ).*

Выполнение индивидуальных домашних заданий и расчетно-графических заданий не предусмотрено учебным планом дисциплины.

## **5.4. Перечень контрольных работ**

*(Приводится перечень контрольных работ, указываются темы эссе, рефератов и т.д.).*

Выполнение контрольных работ не предусмотрено учебным планом дисциплины.

# **6. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

## **6.1. Перечень основной литературы**

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.-Петербур. 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. Айфрам-мович, 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

## 6.2. Перечень дополнительной литературы

*Приводится перечень дополнительной литературы, в который может входить также справочная и нормативная литература.*

1. 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»
2. 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»
3. 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»
4. 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»
5. 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»
6. 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»
7. 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»
8. 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»

9. 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».

### 1.3. Перечень интернет ресурсов

*Приводится перечень доступных Интернет-ресурсов.*

<http://www.elibrary.ru> – Научная электронная библиотека

<http://www.mssoftware.com> – Сайт производителя систем инженерного анализа MSC software

<http://www.gpntb.ru/> - Государственная публичная научно-техническая библиотека России

<http://elibrary.bmstu.ru> – Библиотека МГТУ им. Н.Баумана

<http://www.viniti.ru> – Всероссийский институт научной информации по техническим наукам(ВИНИТИ)

<http://www.unilib.neva.ru/rus/> - Фундаментальная библиотека Санкт-Петербургского государственного политехнического университета

<http://elibrary.eltech.ru> – Библиотека Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета

<http://www.ntb.bstu.ru> - Электронно-библиотечная система БГТУ им В.Г.Шухова

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

*Примечание: приводится необходимое материально-техническое обеспечение по видам учебных занятий, например: лекционные занятия – аудитория, оснащенная презентационной техникой, комплект электронных презентаций; практические занятия – компьютерный класс, специализированное ПО, лабораторные занятия – лаборатория \_\_\_\_ (наименование), оборудование \_\_\_\_\_ (перечисляется оборудование).*

*Приводится также перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем при необходимости).*

Преподавание дисциплины «Хаотическая динамика импульсных систем» осуществляется в лаборатории М231 при активном использовании ИКТ, используя в учебном процессе для улучшения наглядности и доступности следующее обеспечение:

- интерактивную доску с соответствующим программным обеспечением;
- мультимедиа и анимационный материал, поясняющее работу элементов и устройств;
- презентационное программное обеспечение для демонстрации презентаций по разнообразным темам, лицензия БГТУ;
- персональные компьютеры с операционной системой Microsoft Windows 7, 10, MSDN подписка БГТУ, офисным приложением Microsoft Office 2013, Лицензия БГТУ;
- среда математического моделирования Matlab 2014b, Simulink, Neural Networks Toolbox, Statistics and Machine Learning Toolbox, 10 лиц. №362444 бессрочная
- среда математического моделирования MathWorks Individual Licenses (per License): MATLAB 2016b, Simulink, Neural Networks Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox, Control System Toolbox, 10 лиц. №1145851 бессрочная.









## ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение №1.** Методические указания для обучающегося по освоению дисциплины (включая перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине).

Основой является модульный метод обучения, сущность которого состоит в том, что содержание обучения структурируется в автономные организационно-методические блоки – модули, содержание и объём которых могут варьировать в зависимости от дидактических целей. Сами модули формируются в виде разделов, объединяемых по тематическому признаку.

Информационные технологии предполагают использование электронных материалов, системных и программных средств. Применение персональных компьютеров при изучении дисциплины активизирует познавательную деятельность студентов в области современных информационных технологий.

Самостоятельная работа студентов предполагает активное, последовательное и подробное освоение ими соответствующих учебных материалов дисциплины по всем ее структурным разделам с использованием рекомендуемой основной и дополнительной литературы и интернет источников. При рассмотрении всех разделов дисциплины рекомендуется постоянная работа с Интернет-ресурсами, с вебинарами проводимыми на русском и английском языках. Итоговый контроль.