

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

« 23 »



2015 г.

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.

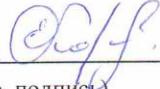
Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 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	
Общекультурные			
1	ОК-1	Способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p>Знать: 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>Уметь: 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>Владеть: 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>
Профессиональные			
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>Знать: 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>Уметь: 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>Владеть: 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	180	180
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	68	68
лекции	17	34
лабораторные	17	17
практические	34	34
Самостоятельная работа студентов, в том числе:	112	112
Курсовой проект		
Курсовая работа		
Расчетно-графическое задания		
Индивидуальное домашнее задание		
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	95	95
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)	экзамен	экзамен

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
1. Элементы теории динамических систем					
	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
2. Одномерные дискретные отображения и их бифуркации					
	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
3. Двумерные дискретные отображения					
	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
4. Бифуркации и хаотическая динамика в импульсных системах					
	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.				
	ВСЕГО	17	34	17	112

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
семестр № 2				
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
ИТОГО:			34	34
			ВСЕГО:	68

4.3. Содержание лабораторных занятий

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

		<p>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</p> <p>6. Найдите значения параметра, отвечающие касательной бифуркации и бифуркации удвоения периода для неподвижной точки отображения $x \mapsto a - x^4$.</p> <p>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.</p> <p>8. Рассчитайте итерационные диаграммы до порога вилообразной бифуркации и после для кубического отображения $x \mapsto ax - x^3$.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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 $F(x)$.</p> <p>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 периода.</p>
3	<p>Двумерные дискретные отображения</p>	<p>1. Пусть $X \mapsto AX$, $X = (x, y)^T$ – линейное двумерное отображение. Классифицируйте неподвижные точки, если: $A = \begin{bmatrix} 1/2 & -2/3 \\ 2/3 & 1/2 \end{bmatrix}$, $A = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 \\ 1/4 & 3/4 \end{bmatrix}$, $A = \begin{bmatrix} -2 & -1 \\ 1 & -2 \end{bmatrix}$</p> <p>2. Изобразите качественно динамику двумерного отображения на фазовой плоскости в окрестности неподвижной точки в случаях, когда</p> <p>(а) мультипликаторы ρ_1, ρ_2, $\rho_1 \neq \rho_2$ действительные и: $0 < \rho_{1,2} < 1$; $-1 < \rho_{1,2} < 0$; $0 < \rho_1 < 1$, $-1 < \rho_2 < 0$; $\rho_{1,2} < -1$; $\rho_{1,2} > 1$.</p> <p>(б) мультипликаторы комплексные $\rho_{1,2} = \alpha \pm i\beta$: $\rho_{1,2} < 1$; $\rho_{1,2} > 1$. В обоих случаях аргумент равен $\pi/5$.</p> <p>3. Для двумерного отображения $x_{k+1} = y_k$, $y_{k+1} = by_k - cx_k + x_k^2$ найдите неподвижные точки, матрицу монодромии, а также</p>

		<p>ее след и определитель как функции параметров b и c. Найдите линии бифуркации седло-узел, бифуркации удвоения периода и бифуркации Неймарка-Саккера и нанесите их на плоскость (b, c).</p> <p>4. Для двумерного отображения $x_{k+1} = ax_k + y_k, y_{k+1} = bx_k + x_k^3$ найдите границы области устойчивости неподвижных точек на плоскости параметров (a, b).</p> <p>5. Найдите диапазон значений параметра a, в котором нетривиальная неподвижная точка двумерного отображения $(x, y) \mapsto (y, ay(1-x))$ является устойчивой.</p> <p>6. Для двумерного отображения $(x, y) \mapsto (1-ax^2 + by, x)$ найдите неподвижные точки, матрицу монодромии, а также ее след и определитель как функции параметров a, b. Найдите аналитическое выражение для линии касательной бифуркации и бифуркации удвоения периода неподвижной точки и нанесите их на плоскость параметров (a, b).</p> <p>7. Найдите элементы 2-цикла двумерного отображения $(x, y) \mapsto (1-ax^2 + y, bx)$ как функции параметров a, b. 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 S и определитель Δ матрицы Якоби имеет вид треугольника, ограниченного тремя линиями: $1 + S + \Delta = 0, 1 - S + \Delta = 0, \Delta = 1$.</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. 2nd 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.