

**Федеральное государственное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской  
академии наук»  
(ФИЦ ИУ РАН)**

Утверждена

Ученым советом ФИЦ ИУ РАН,  
протокол № 1 от «27» ноября 2015 г.  
Председатель Ученого совета,  
директор ФИЦ ИУ РАН  
\_\_\_\_\_ И.А. Соколов  
«30» ноября 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Основы математической теории управления нелинейными системами»»**

**Направление подготовки**

09.06.01 Информатика и вычислительная техника

**Профиль (направленность программы)**

05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

**Квалификация выпускника**

Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения**

очная

Москва, 2015

Направление подготовки: 09.06.01 Информатика и вычислительная техника

Профиль (направленность программы): 05.13.18 - Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

Дисциплина: «Основы математической теории управления нелинейными системами»»

Форма обучения: очная

Рабочая программа составлена с учетом ФГОС ВО по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 года № 875, зарегистрировано в Минюсте Российской Федерации 20 августа 2014 года № 33685.

#### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РЕКОМЕНДОВАНА

отделом ФИЦ ИУ РАН Имитационные системы и исследование операций

наименование лаборатории (группы)

Руководитель отдела \_\_\_\_\_ / Елкин В.И./

«\_\_»\_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

ИСПОЛНИТЕЛИ (разработчики программы):

В.И.Елкин, ФИЦ ИУ РАН, зав. отделом, д.ф.-м.н., профессор.

Рабочая программа зарегистрирована в аспирантуре под учетным номером \_\_\_\_\_ на правах учебно-методического издания.

Начальник отдела докторантуры и аспирантуры \_\_\_\_\_ / Клименко С..И. /  
\_\_\_\_\_

## Оглавление

АННОТАЦИЯ .....	4
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	4
2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	4
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	6
3.1. Структура дисциплины .....	6
3.2. Содержание разделов дисциплины .....	6
3.3. Семинарские занятия .....	10
3.4. Практические занятия .....	11
3.5. Самостоятельная работа.....	11
4. ТЕКУЩАЯ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ.	
ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ .....	12
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	13
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	13

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Основы математической теории управления нелинейными системами» реализуется в рамках Блока 1 Основной профессиональной образовательной программы высшего образования - программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН) по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника, профиль (направленность программы) 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» аспирантам очной формы обучения.

Рабочая программа разработана с учетом требований ФГОС ВО по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 года № 875, зарегистрировано в Минюсте Российской Федерации 20 августа 2014 года № 33685.

Основным источником материалов для формирования содержания программы являются: материалы конференций, симпозиумов, семинаров, Интернет-ресурсы, научные издания и монографические исследования и публикации.

Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану составляет - 5 зач.ед. (180 часов), из них лекций - 68 час., семинарских занятий – 0 час., практических занятий – 0 час. и часов самостоятельной работы – 112 час. Дисциплина реализуется на 2 курсе, 4 семестре, продолжительность обучения – 1 семестр.

Текущая аттестация проводится не менее 2 раз в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренные настоящей программой.

Промежуточная оценка знания осуществляется в период зачетно-экзаменационной сессии в форме: зачета.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели и задачи дисциплины «Основы математической теории управления нелинейными системами»

#### **Цель:**

Целью освоения дисциплины «Основы математической теории управления нелинейными системами» является формирование у аспирантов знаний и навыков работы с понятиями дифференциальной геометрии, теории групп в приложении их к задачам управления.

#### **Задачи:**

Дисциплина «Основы математической теории управления нелинейными системами» призвана помочь аспирантам овладеть навыками и знаниями, необходимыми для выполнения научно-исследовательской работы, включая выполнение кандидатской диссертации и сдачи кандидатского экзамена по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации.

### 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Основы математической теории управления нелинейными системами» направлен на формирование компетенций или отдельных их элементов в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника, профиль (направленность программы) 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

аспирантам очной формы обучения:

а) универсальных (УК)

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6).

**б) общепрофессиональных (ОПК):**

- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в области профессиональной деятельности (ОПК-4);
- способность представлять полученные результаты научно-исследовательской деятельности на высоком уровне и с учетом соблюдения авторских прав (ОПК-6);
- владение методами проведения патентных исследований, лицензирования и защиты авторских прав при создании инновационных продуктов в области профессиональной деятельности (ОПК-7);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-8).

**в) профессиональных (ПК):**

- готовность использовать знание основных методов искусственного интеллекта в последующей профессиональной деятельности в качестве научных сотрудников, преподавателей вузов, инженеров, технологов (ПК-1);
- готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности в области моделирования и анализа сложных естественных и искусственных систем (ПК-3);
- способность к созданию математических и информационных моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере (ПК-4);
- способность применять на практике умения и навыки в организации исследовательских работ и проводить научные исследования, готовность к участию в инновационной деятельности (ПК-5).

В результате освоения дисциплины «Основы математической теории управления нелинейными системами» обучающийся должен:

**Знать:**

- фундаментальные понятия математической теории управления нелинейными системами;
- современные проблемы соответствующих разделов теории управления нелинейными системами
- понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем в разделах, входящих в базовую часть цикла математической теории управления нелинейными системами;
- основные свойства соответствующих математических объектов;

- аналитические подходы и методы для решения типовых прикладных задач математической теории управления нелинейными системами.

**Уметь:**

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач теории управления нелинейными системами;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач теории управления нелинейными системами, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов;
- точно представить математические знания в области теории управления нелинейными системами в устной и письменной форме.

**Владеть:**

- навыками освоения большого объема информации и решения задач теории управления нелинейными системами ( в том числе, сложных);
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов теории управления нелинейными системами;
- предметным языком теории управления нелинейными системами и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Структура дисциплины

##### Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебных работ

Вид учебной работы	Трудоемкость					
	общая		Из них			
	Зач. Ед.	Час.	Лекц.	Прак.	Сем.	Сам.р.
<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ</b> по Учебному плану	5	180	68			112
<i><b>Аудиторные занятия</b></i>						
Лекции (Л)	1,9	68	68			
Практические занятия (ПЗ)						
Семинары (С)						
<i><b>Самостоятельная работа (СР) без учёта промежуточного контроля:</b></i>						
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарским и практическим занятиям) и самостоятельное изучение тем дисциплины	3,1	112				112
<i><b>Вид контроля:</b></i> зачет (является составной частью кандидатского экзамена)						

#### 3.2. Содержание разделов дисциплины

### Общее содержание дисциплины

№ раздела	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Количество часов
1	Бинарные отношения и группы	Отношения эквивалентности и частичного порядка. Множество всех отношений эквивалентности, определенных на заданном множестве, как пример частично упорядоченного множества. Группы преобразований. Бинарные отношения, порождаемые группой преобразований. Транзитивность и примитивность групп преобразований. Подгруппы и фактор-группы.	18
2	Геометрия в области пространства.	Системы координат. Замена координат. Евклидово пространство. Кривые. Квадратичные формы. Контравариантные векторы и ковариантные векторы. Простейшие группы преобразований области.	32
3	Гладкие многообразия	Определение гладкого многообразия. Примеры многообразий (элементарные многообразия поверхности в евклидовом пространстве, группы преобразований как многообразия). Отображения многообразий. Субмерсии и иммерсии. Регулярные отношения эквивалентности. Касательные и кокасательные пространства. Дифференциал отображения. Примеры вычисления касательных и кокасательных пространств.	30
4	Элементы тензорного анализа	Общее определение тензора. Примеры тензоров (контравариантный вектор и ковариантный вектор). Алгебраические операции над тензорами.	24
5	Векторные поля и распределения	Семейства векторных полей, полные семейства, алгебры Ли векторных полей. Интегралы	26

		<p>векторных полей. Теорема Томаса-Веблена об интегралах полного семейства.</p> <p>Распределения, порождаемые семействами векторных полей.</p> <p>Инволютивные распределения.</p> <p>Инвариантные и интегральные многообразия распределения.</p> <p>Теорема Фробениуса.</p>	
6	Группы диффеоморфизмов	<p>Однопараметрические группы диффеоморфизмов. Связь с векторными полями и обыкновенными дифференциальными уравнениями. Производная Ли. Группы диффеоморфизмов, порождаемые семействами векторных полей.</p> <p>Элементы теории групп Ли.</p> <p>Транзитивность и примитивность групп диффеоморфизмов. Теорема Чжоу-Рашевского.</p>	26
7	Обыкновенные дифференциальные уравнения с управлениями (управляемые динамические системы).	<p>Понятие управляемой динамической системы как модели управляемого объекта. Типичные задачи управления.</p> <p>Геометрические и алгебраические объекты, ассоциируемые с управляемыми динамическими системами.</p> <p>Интерпретация управляемой системы как группы диффеоморфизмов.</p> <p>Управляемость. Связь с понятием транзитивности групп.</p> <p>Наблюдаемость. Связь с понятием импримитивности групп.</p> <p>Декомпозиция. Связь с понятием группы симметрий. Приложения к задачам управления (минимальная реализация, инвариантность по возмущениям, терминальное управление).</p>	24

### Лекционный курс

Порядковый	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоемкость
------------	--	--------------



номер лекции		час.	зач. ед.*
	<b>Тема 1. Бинарные отношения и группы.</b>		
1	1.1. Отношения эквивалентности и частичного порядка. Множество всех отношений эквивалентности, определенных на заданном множестве, как пример частично упорядоченного множества.	2	
2	1.2. Группы преобразований.	2	
3	1.3. Бинарные отношения, порождаемые группой преобразований.	2	
4	1.4. Бинарные отношения, порождаемые группой преобразований.		
5	1.5. Транзитивность и примитивность групп преобразований.	2	
6	1.6. Подгруппы и фактор-группы.	2	
	<b>.Тема 2. Геометрия в области пространства.</b>		
7	2.1. Системы координат. Замена координат	2	
8	2.2. Евклидово пространство. Кривые.	2	
9	2.3. Квадратичные формы.	2	
10	2.4. Контравариантные векторы и ковариантные векторы.	2	
11	2.5. Простейшие группы преобразований области.	2	
	<b>Тема 3. Гладкие многообразия.</b>		
12	3.1. Определение гладкого многообразия. Примеры многообразий (элементарные многообразия, поверхности в евклидовом пространстве, группы преобразований как многообразия).	2	
13	3.2. Отображения многообразий. Субмерсии и иммерсии. Регулярные отношения эквивалентности.	2	
14	3.3. Касательные и кокасательные пространства. Дифференциал отображения.	2	
15	3.4. Примеры вычисления касательных и кокасательных пространств.	2	
	<b>Тема 4. Элементы тензорного анализа.</b>		
16	4.1. Общее определение тензора. Примеры тензоров (контравариантный вектор и ковариантный вектор).	2	
17	4.2. Алгебраические операции над тензорами.	2	
	<b>Тема 5. Векторные поля и распределения.</b>		

18	5.1. Семейства векторных полей, полные семейства, алгебры Ли векторных полей.	2	
19	5.2 Интегралы векторных полей. Теорема Томаса-Веблена об интегралах полного семейства.	2	
20	5.3. Распределения, порождаемые семействами векторных полей. Инволютивные распределения.	2	
21	5.4. Инвариантные и интегральные многообразия распределения. Теорема Фробениуса.	2	
22	<b>Тема 6. Группы диффеоморфизмов.</b> 6.1. Однопараметрические группы диффеоморфизмов. Связь с векторными полями и обыкновенными дифференциальными уравнениями.	2	
23	6.2. Производная Ли.	2	
24	6.3. Группы диффеоморфизмов, порождаемые семействами векторных полей.	2	
25	6.4. Элементы теории групп Ли.	2	
26	6.5. Транзитивность и примитивность групп диффеоморфизмов. Теорема Чжоу-Рашевского.	2	
27	<b>Тема 7. Обыкновенные дифференциальные уравнения с управлениями (управляемые динамические системы).</b> 7.1. Понятие управляемой динамической системы как модели управляемого объекта. Типичные задачи управления.	2	
28	7.2. Геометрические и алгебраические объекты, ассоциируемые с управляемыми	2	
29	динамическими системами.	2	
30	7.3. Интерпретация нелинейной управляемой системы как группы диффеоморфизмов.	2	
31	7.4. Интерпретация аффинной управляемой системы как системы Пфаффа.	2	
32	7.5. Управляемость. Связь с понятием транзитивности групп.	2	
33	7.6. Наблюдаемость. Связь с понятием импримитивности групп.	2	
34	7.7. Декомпозиция. Связь с понятием группы симметрий.	2	
	7.8. Приложения к задачам управления (минимальная реализация, инвариантность по возмущениям, терминальное управление).	2	
<b>ИТОГО</b>		<b>68</b>	<b>1.9</b>

### 3.3. Семинарские занятия

Не предусмотрены

### 3.4. Практические занятия

Не предусмотрены

### 3.5. Самостоятельная работа аспирантов

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов включает следующие виды деятельности:

- конспектирование и реферирование первоисточников и другой научной и учебной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе);
- изучение учебного материала, перенесенного с аудиторных занятий на самостоятельную проработку;
- написание рефератов;
- выполнение переводов научных текстов с иностранных языков;
- индивидуальные домашние задания расчетного, исследовательского и т.п. характера

#### Содержание и объем самостоятельной работы аспирантов

Разделы и темы рабочей программы самостоятельного изучения	Перечень домашних заданий и других вопросов для самостоятельного изучения	Сроки выполнения (№ недели)	Трудоемкость	
			час.	зач. ед.
Бинарные отношения и группы	Спроектировать интеллектуальную систему и написать систему правил моделирования сложных движений автономной транспортной платформы в задаче преследования цели.	2н-4н	16	0,44
Геометрия в области пространства	Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе)	5н-9н	19	0,52
Гладкие многообразия	Создание ПО и выполнение индивидуального задания:	10н-12н	21	0,58
Элементы тензорного анализа	Проработка учебного материала по конспектам	12н	18	0,5
Векторные поля и распределения	Создание ПО и выполнение индивидуального задания	13н-16н	19	0,52
Группы диффеоморфизмов. Управляемые системы.	Подготовка рефератов по материалам международных конференций	16н-176н	19	0,52

## 4. ТЕКУЩАЯ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

**Текущая аттестация аспирантов.** Текущая аттестация аспирантов проводится в соответствии с локальным актом ФИЦ ИУ РАН - Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ФИЦ ИУ РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме опроса, а также оценки вопроса-ответа в рамках участия обучающихся в дискуссиях и различных контрольных мероприятиях по оцениванию фактических результатов обучения, осуществляемых преподавателем, ведущим дисциплину.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина – активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- степень усвоения теоретических знаний и уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы, проводимых в рамках семинаров, практических занятий и самостоятельной работы.

Оценивание обучающегося на занятиях осуществляется с использованием нормативных оценок по 4-х бальной системе (5-отлично, 4-хорошо, 3-удовлетворительно, 2-неудовлетворительно).

**Промежуточная аттестация аспирантов.** Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине проводится в соответствии с локальным актом ФИЦ ИУ РАН - Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ФИЦ ИУ РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется в форме зачета в период зачетно-экзаменационной сессии в соответствии с Графиком учебного процесса по приказу (распоряжению заместителя директора по научной работе). Аспирант допускается к зачету в случае выполнения аспирантом всех учебных заданий и мероприятий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

**Оценивание аспиранта на промежуточной аттестации в форме зачета.**

Оценка зачета (нормативная)	Требования к знаниям и критерии выставления оценок
<i>Зачтено</i>	Аспирант при ответе демонстрирует содержание тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями, имеет представление об особенностях математической теории управления нелинейными системами теории интеллектуальных систем, обладает навыком по проектированию управляемых систем. Информирован и способен делать анализ проблем и намечать пути их решения
<i>Не зачтено</i>	Аспирант при ответе демонстрирует плохое знание значительной части основного материала в области математической теории управления нелинейными системами. Не информирован или слабо разбирается в проблемах, и или не в состоянии наметить пути их решения.

### Вопросы для итогового контроля:

1. Отношения эквивалентности и частичного порядка. Множество всех отношений эквивалентности, определенных на заданном множестве, как пример частично упорядоченного множества.
2. Группы преобразований.
3. Бинарные отношения, порождаемые группой преобразований.
4. Бинарные отношения, порождаемые группой преобразований.
5. Транзитивность и примитивность групп преобразований.
6. Подгруппы и фактор-группы.
7. Системы координат. Замена координат
8. Евклидово пространство. Кривые.
9. Квадратичные формы.
10. Контравариантные векторы и ковариантные векторы.
11. Простейшие группы преобразований области.
12. Определение гладкого многообразия. Примеры многообразий (элементарные многообразия, поверхности в евклидовом пространстве, группы преобразований как многообразия).
13. Отображения многообразий. Субмерсии и иммерсии. Регулярные отношения эквивалентности.
14. Касательные и кокасательные пространства. Дифференциал отображения.
15. Примеры вычисления касательных и кокасательных пространств.
16. Общее определение тензора. Примеры тензоров (контравариантный вектор и ковариантный вектор).
17. Алгебраические операции над тензорами.
18. Семейства векторных полей, полные семейства, алгебры Ли векторных полей.
19. Интегралы векторных полей. Теорема Томаса-Веблена об интегралах полного семейства.
20. Распределения, порождаемые семействами векторных полей. Инволютивные распределения.
21. Инвариантные и интегральные многообразия распределения. Теорема Фробениуса.
22. Однопараметрические группы диффеоморфизмов. Связь с векторными полями и обыкновенными дифференциальными уравнениями.
23. Производная Ли.
24. Группы диффеоморфизмов, порождаемые семействами векторных полей.
25. Транзитивность и примитивность групп диффеоморфизмов. Теорема Чжоу-Рашевского.
26. Понятие управляемой динамической системы как модели управляемого объекта. Типичные задачи управления.
27. Геометрические и алгебраические объекты, ассоциируемые с управляемыми динамическими системами.
28. Интерпретация нелинейной управляемой системы как группы диффеоморфизмов.
29. Интерпретация аффинной управляемой системы как системы Пфаффа.
30. Управляемость. Связь с понятием транзитивности групп.
31. Наблюдаемость. Связь с понятием импримитивности групп.
32. Декомпозиция. Связь с понятием группы симметрий.
33. Приложения к задачам управления (минимальная реализация, инвариантность по возмущениям, терминальное управление).

### **Возможные темы рефератов:**

Условие декомпозиции нелинейных управляемых на независимые системы.  
Наблюдаемость линейных систем.  
Управляемость линейных систем.  
Условие инвариантности по возмущениям управляемых систем.  
Методы решения задач терминального управления.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. В.И.Елкин. Редукция нелинейных управляемых систем. Декомпозиция и инвариантность по возмущениям. М.: Фазис, 2003, 207 с.
2. В.И.Елкин. Введение в дифференциально-геометрическую теорию управляемых динамических систем. Макс Пресс. 2006.  
В.И.Елкин. Основы геометрической теории нелинейных управляемых систем. М.: Наука, 2014

### **Дополнительная литература и Интернет-ресурсы**

1. В.И.Арнольд. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Наука. 1968.
2. Б.А.Дубровин, С.П.Новиков, А.Т.Фоменко. Современная геометрия. М.: Наука. 1979.
3. В.И.Арнольд. Дополнительные главы теории обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Наука. 1978.
4. М.М.Постников. Лекции по геометрии. Семестр III. Гладкие многообразия. М.: Наука. 1987.

Информационные ресурсы: Журналы Дифференциальные уравнения, Автоматика и телемеханика.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования по специальности для подготовки аспирантов по научной специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

### **ИСПОЛНИТЕЛИ (разработчики программы):**

д.ф.-м.н., проф.

В.И.Елкин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.