

**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  
«Математическое моделирование»**

**Направление подготовки**  
09.06.01 Информатика и вычислительная техника

**Профиль (направленность программы)**  
05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации

**Квалификация выпускника**  
Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения**  
очная

Москва, 2015

Направление подготовки: 09.06.01 Информатика и вычислительная техника  
Профиль (направленность программы): 05.13.01 Системный анализ, управление и  
обработка информации

Дисциплина: «Математическое моделирование»

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

лабораторией 2-1 ФИЦ ИУ РАН Математические методы анализа и синтеза сложных систем

Руководитель лаборатории \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_Крищенко А.П.\_\_\_\_\_/

«\_\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2015г.

ИСПОЛНИТЕЛИ (разработчики программы):

Крищенко А.П., ФИЦ ИУ РАН, зав. лаб., чл.-корр РАН, 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. Практические (семинарские) занятия.....	10
3.4. Самостоятельная работа аспирантов. ....	10
4. ТЕКУЩАЯ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ .....	11
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	13
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ....	13

## **АННОТАЦИЯ**

Дисциплина «Математическое моделирование» 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) 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации 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.

Для усвоения дисциплины обучаемый должен обладать базовой естественнонаучной подготовкой и навыками специалиста или магистра по направлению подготовки «Прикладная математика» или аналогичным направлениям

Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану составляет - 3 зач.ед. (108 часов), из них лекций - 68 час., семинарских занятий – 0 час., практических занятий – 0 час. и часов самостоятельной работы – 40 час. Дисциплина реализуется на 2 курсе, 3 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**

Целью освоения дисциплины «Математическое моделирование» является формирование у исследователей теоретических знаний в области теории математического моделирования и обучение применению математического аппарата нелинейной теории управления к решению задач моделирования процессов управления различными системами на основе их нелинейных моделей.

Дисциплина «Математическое моделирование» 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 «Математическое моделирование» 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) 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации 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 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);

в) профессиональных (ПК):

- готовность использовать знание основных методов математического моделирования 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 «Математическое моделирование» обучающийся должен:**

иметь представление

- о методах и моделях линейного программирования;
- о моделях теории игр;
- об идентификационных статистических моделях;
- о методах экспертных оценок;
- о способах моделирования технических систем;
- о моделировании случайных процессов;
- о принципах построения агрегативных и имитационных моделей.

знать и уметь использовать

- классификацию, области применимости и свойства математических моделей отдельных классов;
- общие принципы построения математических моделей;
- методику построения математических моделей.

### 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	3	108	68			40
<b>Аудиторные занятия</b>						
Лекции (Л)	1,9	68	68			
Практические занятия (ПЗ)						
Семинары (С)						
<b>Самостоятельная работа (СР) без учёта промежуточного контроля:</b>						
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарским и практическим занятиям) и самостоятельное изучение тем дисциплины	1,1	40				40
<b>Вид контроля:</b> зачет (является составной частью кандидатского экзамена)						

#### 3.2. Содержание разделов дисциплины

##### Общее содержание дисциплины

№ раздела	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Количество часов
1	Введение в теорию математического моделирования	Понятие модели. Классификация моделей. Примеры математических моделей. Требования, предъявляемые к моделям. Математическая модель: принципы построения, цели. Иерархия моделей. Основные этапы моделирования: постановка задачи, формализация, выбор метода решения и его реализация, анализ результатов, проверка адекватности модели. Вычислительная сложность и программная реализация.	14
2	Математические модели систем с управлением.	Математический и физический маятник. Колесный робот. Движение центра масс твердого тела. Задача ориентации. Модели	16

		динамики популяций. Модели развития сахарного диабета и рака. Модели групповой динамики. Экономические модели.	
3	Математические схемы моделирования сложных систем	Основные подходы. Учет входных воздействий, внешней среды, внутренних параметров, выходных характеристик. Дифференциальные уравнения и уравнения математической физики. Теория автоматов. Статистические методы. Методы теории массового обслуживания. Методы многокритериальной оптимизации. Методы прогнозирования. Игровые методы.	18
4	Имитационное моделирование систем	Процедура имитационного моделирования. Имитация функционирования системы. Алгоритмы имитационного моделирования: по принципу особых состояний; по дискретному времени. Моделирование случайных воздействий.	18
5	Методы и средства определения выходных характеристик	Качественные и численные методы, нахождение переходных процессов, статистических характеристик, конечных состояний. Бифуркационный анализ. Аппаратные и программные средства математического моделирования. Планирование вычислительных экспериментов.	16
6	Математическое моделирование процессов управления	Управление роботами с упругими звеньями. Управление колесными роботами. Управление ориентацией твердого тела. Проектирование траекторий летательных аппаратов. Медико-биологические системы. Управление в условиях неопределенности.	14

7	Моделирование оценивания состояния систем	Моделирование оценивания состояния систем Линейный и нелинейный наблюдатели. Обратная связь с высоким коэффициентом усиления. Использование теории нормальной формы	12
	ВСЕГО		108

### Лекционный курс

Порядковый номер лекции	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоемкость	
		час.	зач. ед.*
	Раздел 1. <i>Введение в теорию математического моделирования</i>		
1	Тема 1.1. Основные понятия 1.1.1. Понятие модели. Классификация моделей. Примеры математических моделей.	2	
2	1.1.2. Требования, предъявляемые к моделям. Математическая модель: принципы построения, цели. Иерархия моделей как метод анализа сложных систем. Примеры. Тема 1.2. Этапы моделирования 1.2.1. Постановка задачи, формализация, выбор метода решения и его реализация, анализ результатов, проверка адекватности модели.	2	
3	1.2.2. Вычислительная сложность и программная реализация.	2	
	Раздел 2. <i>Математические модели систем с управлением.</i>	2	
4	Тема 2.1. Технические системы.	2	
5	2.1.1. Математический и физический маятник.	2	
6	Колесный робот.	2	
7	2.1.2. Движение центра масс твердого тела.	2	
8	2.1.3. Задача ориентации.	2	
9	Тема 2.2. Медико-биологические модели	2	
10	2.2.1. Модели динамики популяций.	2	
11	2.2.2. Модели развития сахарного диабета и рака.	2	
12	Тема 2.3. Статистические модели	2	
	Раздел 3. <i>Математические схемы моделирования сложных систем</i>		
10	Тема 3.1. Основные подходы. Учет входных воздействий, внешней среды, внутренних параметров, выходных характеристик.	2	
11	Тема 3.2. Обыкновенные дифференциальные уравнения.	2	
12	Тема 3.2. Уравнения математической физики.	2	



13	Тема 3.4. Теория автоматов.	2	
14	Тема 3.5. Статистические методы.	2	
15	Тема 3.6. Методы теории массового обслуживания.	2	
16	Тема 3.7. Методы многокритериальной оптимизации.	2	
17	Тема 3.8. Методы прогнозирования.		
	Тема 3.9. Методы теории игр.		
	Раздел 4. Имитационное моделирование систем	2	
18	Тема 4.1. Процедура имитационного моделирования и имитация функционирования системы.	2	
19	Тема 4.2. Алгоритмы имитационного моделирования.		
	4.2.1. По принципу особых состояний.		
	4.2.2. По дискретному времени.	2	
20	Тема 4.3. Моделирование случайных воздействий.		
	Раздел 5. Методы и средства определения выходных характеристик	2	
21	Тема 5.1. Качественные методы.		
	5.1.1. Бифуркационный анализ.	2	
22	5.1.2. Нахождение конечных состояний.	2	
23	Тема 5.2. Численные методы.		
	5.2.1. Нахождение переходных процессов.		
	5.2.2. Нахождение статистических характеристик.	2	
24	Тема 5.3. Аппаратные средства.	2	
25	Тема 5.4. Программные средства математического моделирования.	2	
26	Тема 5.5. Планирование вычислительных экспериментов.		
	Раздел 6. Математическое моделирование процессов управления	2	
27	Тема 6.1. Технические системы.		
	6.1.1. Роботы с упругими звеньями.	2	
28	6.1.2. Колесные роботы.		
	6.1.3. Управление ориентацией твердого тела.	2	
29	6.1.4. Беспилотные летательные аппараты.	2	
30	Тема 6.2. Медико-биологические системы.	2	
31	Тема 6.3. Управление в условиях неопределенности.		
	6.3.1. Системы с переменной структурой. Тема	2	
32	6.3.2. Адаптивное управление.		
	6.3.3. Робастное управление.		
	Раздел 7. Моделирование оценивания состояния систем	2	
33	Тема 8.1. Линейный и нелинейный наблюдатели.	2	
34	Тема 8.2. Обратная связь с высоким коэффициентом усиления.		
	Тема 8.3. Принцип разделения. Использование теории нормальной формы.		
<b>ИТОГО</b>		<b>68</b>	<b>1.9</b>

### 3.3. Практические (семинарские) занятия, их наименование, содержание и объём в часах.

Практические (семинарские) занятия не предусмотрены.

### 3.4. 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.
Математические модели систем с управлением.	Индивидуальное задание: построение оценки области устойчивости положения равновесия замкнутой системы	2н-4н	9	0,25
Математические схемы моделирования сложных систем	Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе)	5н-9н	18	0,5
Имитационное моделирование систем	Создание ПО и выполнение индивидуального задания:	10н-12н	27	0,75
Методы и средства определения выходных характеристик	Проработка учебного материала по конспектам	12н	18	0,5
Математическое моделирование процессов управления	Создание ПО и выполнение индивидуального задания	13н-16н	21	0,6
Моделирование оценивания состояния систем	Подготовка рефератов по материалам международных конференций	16н-17н	18	0,5

## 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 математического моделирования, обладает навыком по концептуальному проектированию интеллектуальных систем, изучил основные методы представления знаний и моделирования рассуждений. 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 математического моделирования. Не информирован или слабо разбирается в проблемах, и или не в состоянии наметить пути их решения.

### **Вопросы для контроля знаний:**

1. Приведите понятие модели и классификацию моделей. Приведите примеры.
2. Перечислите основные этапы математического моделирования.
3. Что такое иерархия моделей? Приведите примеры.
4. Какие математические модели систем с управлением вам известны? Опишите их свойства.
5. Опишите математическую модель задачи ориентации. Приведите примеры статистических моделей систем с управлением.
6. Перечислите основные подходы и схемы моделирования сложных систем.
7. Какие типы автоматов вам известны? В чем разница между детерминированными и вероятностными автоматами?
8. Сформулируйте предмет, цель и задачи теории массового обслуживания. Приведите основные понятия и методы теории массового обслуживания.
9. Приведите пример и формальную постановку задачи многокритериальной оптимизации.
10. В чем состоит процедура имитационного моделирования систем?
11. Опишите основные принципы бифуркационного анализа.
12. Что такое переходные процессы? Как выполняется нахождение переходных процессов с использованием численных методов?
13. Опишите аппаратные и программные средства математического моделирования. Приведите примеры.
14. С какой целью выполняется планирование вычислительных экспериментов? Проведите сравнение между натурным экспериментом и математическим экспериментом.
15. В чем принципиальная разница в моделировании процессов управления при работе с роботами с упругими звеньями, колесными роботами, беспилотными летательными аппаратами?
16. В чем состоит задача проектирования траектории? Какие методы используются для ее решения? Опишите алгоритм  $A^*$ .
17. Опишите особенности управления в условиях неопределенности. Приведите примеры систем с переменной структурой.
18. Какие методы адаптивного и робастного управления вам известны?
19. Как выполняется моделирование оценивания состояния систем? В чем разница между линейным и нелинейным наблюдателями?
20. В чем состоят принципы теории нормальной формы? Как она используется при моделировании оценивания состояния систем.

### **Возможные темы рефератов:**

- Математическое моделирование методов адаптивного управления
- Имитационное моделирование взаимодействия групп объектов
- Исследование устойчивости «вход – состояние» для нелинейных систем
- Построение управления на основе теории скользящих режимов
- Наблюдатели для нелинейных систем

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

### **Основная литература.**

1. Краснощеков П.С., Петров А. А. Принципы построения моделей. М., ФАЗИС, 2000, 412 с.
2. Мышкис А. Д. Элементы теории математических моделей. 3-е изд., испр. М.: КомКнига, 2007. 192 с.
3. Петров А. А., Поспелов И. Г., Шананин А. А. Опыт математического моделирования экономики. М.: Энергоатомиздат, 1996. 544 с.
4. Astolfi A., Karagiannis D., Ortega R. Nonlinear and Adaptive Control with Applications. London: Springer-Verlag, 2008. - 289 p.
5. Краснощеченко В.И., Крищенко А.П. Нелинейные системы: геометрические методы анализа и синтеза. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 520 с.
6. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.

### **Дополнительная литература.**

7. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2001.
8. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем: Учеб. для вузов — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. 343 с.
9. Ким Д.П. Теория автоматического управления. В 2-х томах. Многомерные, нелинейные и адаптивные системы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. Т.2. 464~с.

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

В соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования по специальности 05.13.01 программа специальности «Системный анализ, управление и обработка информации» предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерное моделирование и визуализация, разбор конкретных ситуаций) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

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

д.ф.-м.н., проф.

А.П.Крищенко

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.