

ФАНО России

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт вычислительных технологий Сибирского отделения
Российской академии наук
(ИВТ СО РАН)



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИВТ СО РАН
Ю.И. Шокин Ю.И. Шокин
« 15 » 01 2015 г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Математическое моделирование в задачах естествознания

Направление подготовки: 09.06.01 Информатика и вычислительная техника

Уровень образования: подготовка кадров высшей квалификации

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Направленности подготовки:

05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей;

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ;

05.25.05 – Информатика и вычислительная техника;

25.00.35 – Геоинформатика

Статус дисциплины:
Блок 1 «Дисциплины»
Вариативная часть. Обязательные дисциплины

Новосибирск

Программа составлена в соответствии с требованиями 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.

Рецензент:
д.ф.-м.н., профессор, в.н.с.



Хакимзянов Г.С.

Составитель рабочей программы:
д.т.н., доцент, с.н.с.


Баряхнин В.Б.

Рабочая программа утверждена на заседании Ученого совета ИВТ СО РАН, протокол № 1 от «15» 01 2015г.

Председатель Ученого совета
академик


Ю.И. Шокин

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Математическое моделирование в задачах естествознания» является овладение основными методами математического моделирования в задачах естествознания и экологии, овладение методологией системного анализа.

Для достижения цели ставятся следующие **задачи освоения дисциплины**:

- изучение методологии системного анализа, включая общие принципы построения математических моделей и оценки возможных стратегий;
- освоение технологии математического моделирования в задачах естествознания и экологии;
- ознакомление с наиболее распространенными математическими моделями, применяемыми в задачах естествознания и экологии.

2. Место дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Математическое моделирование в задачах естествознания» реализуется в рамках Блока 1 «Дисциплины» (Вариативная часть. Обязательные дисциплины) образовательной программы аспирантуры по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника по всем профилям (направленностям).

Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану составляет 4 зач.ед. (144 часа), из них лекционных занятий – 72 часа, самостоятельной работы – 68 часов, экзамен – 4 часа. Дисциплина реализуется на 2 курсе, в течение года.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Математическое моделирование в задачах естествознания» направлен на формирование компетенций или отдельных их элементов в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника:

а) универсальных (УК):

УК-2 – способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки.

б) общепрофессиональных (ОПК):

ОПК-1 – Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.

в) профессиональных (ПК):

ПК-1 – Способность применять и разрабатывать методы и средства системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации применительно к сложным системам, с целью повышения эффективности функционирования объектов исследования.

ПК-3 – Способность разрабатывать новые математические модели объектов и явлений, развивать аналитические и приближенные методы их исследования, выполнять реализацию эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- методологию системного анализа, включая общие принципы построения математических моделей и оценки возможных стратегий;
- основные математические модели, применяемые при решении задач естествознания и экологии;
- наиболее известные модели глобального развития: Форрестера, Мидоуза, Месаровича – Пестеля.

Уметь:

- описывать задачи естествознания и экологии на языке математического моделирования;

- качественно исследовать математические модели;
- применять в научной и производственной деятельности знания, полученные по курсу «Математическое моделирование в задачах естествознания».

Владеть:

- методами оценки возможных стратегий;
- методикой построения математических моделей
- технологиями математического моделирования в задачах естествознания и экологии.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего	
	зач.ед.	час.
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	4	144
<i>Аудиторные занятия</i>		
Лекции (Л)		72
Практические занятия (ПЗ)		
Семинары (С)		
Контроль самостоятельной работы (КСР)		4
Самостоятельная работа (СР):		68
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарским и практическим занятиям) и самостоятельное изучение теоретического курса.		
Вид промежуточной аттестации:	экзамен	

5. Содержание дисциплины

Содержание и структура учебной дисциплины

Лекционные занятия (72 час)

Раздел, тема	Часы
Раздел 1. Основы методологии математического моделирования в естествознании	12
1. Основы методологии математического моделирования в естественных науках	6
Понятие математической модели. Основные этапы математического моделирования. Общие принципы построения математических моделей. Технология вычислительного эксперимента.	
2. Методология системного анализа	6
Характерные черты системного анализа. Математический аппарат моделей, основанный на законах сохранения. Имитационные системы. Оценка возможных стратегий.	
Раздел 2. Математические модели биологии	36
3. Математические модели в биологии: общие понятия	4
История первых моделей в биологии. Современная классификация моделей биологических процессов. Регрессионные, имитационные,	

качественные модели. Принципы имитационного моделирования и примеры моделей. Специфика моделирования живых систем.	
<p>4. Модели биологических систем, описываемые одним дифференциальным уравнением первого порядка</p> <p>Модели, приводящие к одному дифференциальному уравнению. Понятие решения одного автономного дифференциального уравнения. Стационарное состояние (состояние равновесия). Устойчивость состояния равновесия. Методы оценки устойчивости. Решение линейного дифференциального уравнения. Примеры: экспоненциальный рост, логистический рост.</p>	4
<p>5. Модели роста популяций</p> <p>Непрерывные модели: экспоненциальный рост, логистический рост, модели с наименьшей критической численностью. Модели с перекрывающимися поколениями. Дискретное логистическое уравнение. Диаграмма и лестница Ламерея. Типы решений при разных значениях параметра: монотонные и затухающие решения, циклы, квазистохастическое поведение, вспышки численности. Матричные модели популяций. Влияние запаздывания. Вероятностные модели.</p>	4
<p>6. Модели, описываемые системами двух автономных дифференциальных уравнений</p> <p>Фазовая плоскость. Фазовый портрет. Метод изоклин. Главные изоклины. Устойчивость стационарного состояния. Линейные системы. Типы особых точек: узел, седло, фокус, центр. Пример: химические реакции первого порядка.</p>	2
<p>7. Исследование устойчивости стационарных состояний нелинейных систем второго порядка</p> <p>Метод Ляпунова линеаризации систем в окрестности стационарного состояния. Примеры исследования устойчивости стационарных состояний моделей биологических систем. Уравнения Лотки. Уравнения Вольтерра. Метод функции Ляпунова.</p>	2
<p>8. Проблема быстрых и медленных переменных. Теорема Тихонова. Типы бифуркаций. Катастрофы.</p> <p>Метод квазистационарных концентраций. Теорема Тихонова. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Бифуркации динамических систем. Типы бифуркаций. Бифуркационные диаграммы и фазопараметрические портреты. Катастрофы.</p>	2
<p>9. Мультистационарные системы</p> <p>Триггер. Примеры систем с двумя устойчивыми стационарными состояниями. Конкуренция. Силовое и параметрическое переключение триггера. Эволюция. Отбор одного из двух и нескольких равноправных видов. Генетический триггер Жакоба и Моно.</p>	2
<p>10. Колебания в биологических системах</p> <p>Понятие автоколебаний. Изображение автоколебательной системы на фазовой плоскости. Предельные циклы. Условия существования предельных циклов. Рождение предельного цикла. Бифуркация Андронова-Хопфа. Мягкое и жесткое возбуждение колебаний. Модель бруселятор. Примеры автоколебательных моделей процессов в живых си-</p>	4

<p>стемах. Колебания в темновых процессах фотосинтеза. Автоколебания в модели гликолиза. Внутриклеточные колебания концентрации кальция. Клеточные циклы.</p>	
<p>11. Модели взаимодействия двух видов.</p> <p>Гипотезы Вольтерра. Аналогии с химической кинетикой. Вольтерровские модели взаимодействий. Классификация типов взаимодействий Конкуренция. Хищник-жертва. Обобщенные модели взаимодействия видов. Модель Колмогорова. Модель взаимодействия двух видов насекомых МакАртура. Параметрический и фазовые портреты системы Базыкина.</p>	2
<p>12. Динамический хаос. Модели биологических сообществ.</p> <p>Основные понятия теории динамических систем. Предельные множества. Аттракторы. Странные аттракторы. Динамический хаос. Линейный анализ устойчивости траекторий. Диссипативные системы. Устойчивость хаотических решений. Размерность странных аттракторов. Стационарные состояния и динамические режимы в сообществе из трех видов. Трофические системы с фиксированным количеством вещества. Модель четырехвидовой системы.</p>	4
<p>13. Моделирование микробных популяций.</p> <p>Микробные популяции как объект моделирования и управления. Непрерывная культура микроорганизмов. Модель Моно. Микроэволюционные процессы в микробных популяциях. Возрастные распределения. Двухвозрастная модель. Непрерывные возрастные распределения.</p>	2
<p>14. Модель воздействия слабого электрического поля на нелинейную систему трансмембранного переноса ионов.</p> <p>Влияние слабых электромагнитных полей на биологические системы. Понятие резонанса. Нелинейная модель антипорта ионов с участием переносчика. Периодическое воздействие на систему со стационарным состоянием типа устойчивый фокус. Мультистационарная модель. Автоколебательная модель. Динамический хаос. Частота воздействия как управляющий параметр. Стохастический резонанс</p>	4
<p>Раздел 2. Математические модели в задачах экологии</p>	24
<p>15. Математическое моделирование оптимального размещения промышленных предприятий.</p> <p>Общая характеристика проблемы. Основные уравнения переноса и диффузии примесей в атмосфере. Сопряженные уравнения переноса и диффузии. Постановка задачи оптимального размещения предприятий. Многокритериальная оптимизация.</p>	8
<p>16. Математическое моделирование волн цунами.</p> <p>Основные задачи в проблеме цунами: моделирование генерации волн цунами, гидродинамическое описание волн на поверхности жидкости. Выход на берег и разрушение волны цунами. Применение лучевой теории к задачам о распространении волн цунами.</p>	8

<p>17. Математическое моделирование в задачах охраны и рационального использования водных ресурсов.</p> <p>Модели переноса и диффузии загрязнений в водоемах. Тепловой баланс водных объектов. Водный баланс. Водохранилища и окружающая природная среда.</p>	4
<p>18. Математические модели глобального развития.</p> <p>Краткий обзор работ по глобальному моделированию. Глобальная динамическая модель Форрестера. Глобальная динамическая модель группы Мидоуза "Мир-3". Глобальная модель биосферы.</p>	4

6 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Объем часов / зачетных единиц					
		Всего (ауд. ч.)	Из них				СР
Л	С		ПЗ	КСР			
1.	Основы методологии математического моделирования в естествознании		12				8
2.	Математические модели биологии		36				30
3.	Математические модели в задачах экологии		24				16
4.	Количество часов, отводимых на экзамен					4	16
	Итого		72			4	68

7. Текущий контроль промежуточная аттестация. Фонд оценочных средств.

Текущий контроль по дисциплине проводится в форме опроса, а также оценки вопроса-ответа в рамках участия обучающихся в обсуждениях и различных контрольных мероприятиях по оцениванию фактических результатов обучения, осуществляемых преподавателем дисциплины.

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 и самостоятельной работы.

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

Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине проводится в форме *экзамена* в соответствии с локальным актом ИВТ СО РАН – Положением о промежуточной аттестации аспирантов ИВТ СО РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Промежуточная аттестация осуществляется в период зачетно-экзаменационной сессии в соответствии с Графиком учебного процесса. Обучающийся допускается к экзамену в случае выполнения 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 обучающегося на промежуточной аттестации осуществляется с использованием нормативных оценок на экзамене по четырехбалльной системе (5 – отлично, 4 – хорошо, 3 – удовлетворительно, 2 – неудовлетворительно).

Оценивание аспиранта на промежуточной аттестации в форме экзамена

Оценка экзамена (нормативная)	Требования к знаниям и критерии выставления оценок
<i>Отлично</i>	Аспирант демонстрирует всестороннее, систематическое и глубокое знание материала, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой; в полном объеме усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии.
<i>Хорошо</i>	Аспирант демонстрирует полное знание учебно-программного материала; усвоил основную литературу, рекомендованную в программе; показал систематический характер знаний в области математического моделирования и способность к самостоятельному пополнению и обновлению знаний.
<i>Удовлетворительно</i>	Аспирант демонстрирует знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для предстоящей работы; в целом справился с выполнением заданий, предусмотренных программой; знаком с основной литературой, рекомендованной программой. При этом, хотя аспирант допускает погрешности в ответе на экзамене, у него есть необходимые знания для их устранения под руководством преподавателя.
<i>Неудовлетворительно</i>	Аспирант при ответе обнаруживает существенные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допускает принципиальные ошибки в ответах на вопросы экзаменационных билетов.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Форма контроля знаний	Вид	Примечание
Экзамен	Промежуточная аттестация	Вопросы к экзамену

Вопросы к экзамену

1. Понятие математической модели. Основные этапы математического моделирования.
2. Общие принципы построения математических моделей. Технология вычислительного эксперимента.
3. Характерные черты системного анализа. Математический аппарат моделей, основанный на законах сохранения.
4. Имитационные системы. Оценка возможных стратегий.
5. История первых моделей в биологии. Современная классификация моделей биологических процессов. Специфика моделирования живых систем.
6. Модели биологических систем, описываемые одним дифференциальным уравнением первого порядка
7. Модели роста популяций.
8. Модели, описываемые системами двух автономных дифференциальных уравнений.
9. Исследование устойчивости стационарных состояний нелинейных систем второго порядка. Метод Ляпунова Уравнения Лотки. Уравнения Вольтерра. Метод функции Ляпунова.

10. Проблема быстрых и медленных переменных. Теорема Тихонова. Типы бифуркаций. Катастрофы.
11. Мультистационарные системы. Триггер. Силовое и параметрическое переключение триггера.
12. Колебания в биологических системах. Понятие автоколебаний. Предельные циклы. Условия существования предельных циклов.
13. Модели взаимодействия двух видов. Гипотезы Вольтерра. Вольтерровские модели взаимодействий. Классификация типов взаимодействий Конкуренция. Хищник-жертва.
14. Динамический хаос. Модели биологических сообществ. Аттракторы. Странные аттракторы.
15. Моделирование микробных популяций.
16. Модель воздействия слабого электрического поля на нелинейную систему трансмембранного переноса ионов.
17. Математическое моделирование оптимального размещения промышленных предприятий. Общая характеристика проблемы. Основные уравнения переноса и диффузии примесей в атмосфере.
18. Сопряженные уравнения переноса и диффузии. Постановка задачи оптимального размещения предприятий. Многокритериальная оптимизация.
19. Математическое моделирование волн цунами. Основные задачи в проблеме цунами: моделирование генерации волн цунами, гидродинамическое описание волн на поверхности жидкости.
20. Выход на берег и разрушение волны цунами. Применение лучевой теории к задачам о распространении волн цунами.
21. Математическое моделирование в задачах охраны и рационального использования водных ресурсов. Модели переноса и диффузии загрязнений в водоемах.
22. Тепловой баланс водных объектов. Водный баланс. Водохранилища и окружающая природная среда.
23. Глобальная динамическая модель Форрестера.
24. Глобальная динамическая модель группы Мидоуза "Мир-3".

8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.

Основная литература

Бродский, Ю.И. Лекции по математическому и имитационному моделированию / Ю.И. Бродский. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 240 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3697-8 ; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429702>

Иванов, В.В. Математическое моделирование : учебно-методическое пособие / В.В. Иванов, О.В. Кузьмина ; Поволжский государственный технологический университет. - Йошкар-Ола : ПГТУ, 2016. - 88 с. : схем., табл. - ISBN 978-5-8158-1744-9 ; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459482>

Белолипецкий В.М., Шокин Ю.И. Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды. Новосибирск: ИНФОЛИО-пресс, 1997. — 240 с.

Дополнительная литература

Самарский, А.А. Математическое моделирование / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. - Москва: Физматлит, 2005. - 160 с. - ISBN 978-5-9221-0120-2 ; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68976>

Введение в математическое моделирование : учебное пособие / под ред. П.В. Трусова. - Москва: Логос, 2004. - 439 с. - ISBN 5-94010-272-7 ; [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=84691>

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии
<http://www.library.biophys.msu.ru/LectMB/>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- аудиторный фонд ИВТ СО РАН;
- ноутбук, мультимедиа-проектор, экран;
- рабочее место с выходом в Интернет;
- библиотечный фонд ИВТ СО РАН.

Дополнения и изменения в рабочей программе

За _____ / _____ учебный год

В рабочую программу курса «Математическое моделирование в задачах естествознания» образовательной программы по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника по направленностям подготовки 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей; 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ; 05.25.05 – Информационные системы и процессы; 25.00.35 – Геоинформатика вносятся следующие изменения: