

ИНСТИТУТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

КАФЕДРА КИБЕРНЕТИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИИКС

Протокол № 4/1/2023

от 25.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 01.03.02 Прикладная математика и  
информатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
6	2	72	15	30	15		12	0	3
Итого	2	72	15	30	15	15	12	0	

## АННОТАЦИЯ

Курс представляет собой дисциплину базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин), которая является частью теоретической профилирующей подготовки студентов. Для успешного освоения дисциплины необходимы знания основ теории обыкновенных дифференциальных уравнений и операционного исчисления.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса - научить студентов основам практического математического моделирования: правильная концептуальная постановка задачи, ее математическая формализация, выбор подходов и методов решения математической задачи, грамотное представление результатов моделирования.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс представляет собой дисциплину базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин (Б2.Б.5), которая является частью теоретической профилирующей подготовки студентов. Для успешного освоения дисциплины необходимы элементарные знания в области, вычислительной математики, вычислительной техники и программирования.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
производственно-технологический			
разработка и сопровождение программного обеспечения	информационные и программные системы	ПК-1.2 [1] - способен разрабатывать и применять прикладные программы при решении задач в области киберфизических и информационных	З-ПК-1.2[1] - знать принципы построения и условия применения программ, используемых в задачах разработки и сопровождения киберфизических и

		<p>систем</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.057, Анализ опыта: разработка математического и программного обеспечения киберфизических систем</p>	<p>информационных систем; У-ПК-1.2[1] - уметь обоснованно выбирать алгоритмы и программные средства для решения задач проектирования и сопровождения киберфизических и информационных систем; В-ПК-1.2[1] - владеть навыками использования прикладных программ при разработке и моделировании киберфизических и информационных систем</p>
научно-исследовательский			
<p>анализ и математическое моделирование физических процессов</p>	<p>системы ядерно-энергетического комплекса</p>	<p>ПК-2 [1] - Способен понимать, применять и совершенствовать современный математический аппарат</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>3-ПК-2[1] - знать современный математический аппарат, используемый при описании, решении и анализе различных прикладных задач; У-ПК-2[1] - использовать современный математический аппарат для построения математических моделей и алгоритмов решения различных прикладных задач; В-ПК-2[1] - владеть навыками применения современного математического аппарата для построения математических моделей различных процессов, для обработки экспериментальных, статистических и</p>

			теоретических данных, для разработки новых алгоритмов и методов исследования задач различных типов
--	--	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>6 Семестр</i>						
1	Основные понятия математического моделирования.	1-2	2/4/2		10	КИ-2	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
2	Математические модели, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями.	3-8	6/12/6		10	КИ-8	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2,

							У-ПК-2, В-ПК-2
3	Математические модели, описываемые дифференциальными уравнениями в частных производных.	9-14	6/12/6		20	КИ-14	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
4	Моделирование систем массового обслуживания.	15-15	1/2/1		40	КИ-15	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		15/30/15		80		
	<b>Контрольные мероприятия за 6 Семестр</b>				20	3	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
-------------	---------------------

КИ	Контроль по итогам
3	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>6 Семестр</i>	15	30	15
<b>1-2</b>	<b>Основные понятия математического моделирования.</b>	2	4	2
1 - 2	<b>Основные принципы матем. моделирования</b> Где и когда применяется математическое моделирование (ММ). Этапы ММ: формулировка задачи, ее формализация, приемы сокращения числа параметров модели, способы проверки адекватности модели, выбор метода решения, тестирование, формы представления конечных результатов.	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0
<b>3-8</b>	<b>Математические модели, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями.</b>	6	12	6
3 - 8	<b>Математические модели, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями.</b> Исследование модели химического реактора для определения его длины в зависимости от параметров задачи. Построение модели нагруженной балки для нахождения оптимального распределения по длине ее сечения. Аналитическое исследование модели биологической системы «хищник-жертва». Ее имитационное моделирование с привлечением биологических обученных «агентов» хищника и жертвы, построенных с помощью трехуровневой нейронной сети.	Всего аудиторных часов		
		6	12	6
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-14</b>	<b>Математические модели, описываемые дифференциальными уравнениями в частных производных.</b>	6	12	6
9 - 14	<b>Математические модели, описываемые дифференциальными уравнениями в частных производных.</b> Моделирование процесса цементации металлических деталей. Решение задачи оптимального выбора точечных источников (размещение и мощности), обеспечивающих равномерное температурное поле в некоторой плоской области. Особенности решения этой задачи для случаев трех типов областей: прямоугольной, кусочно-прямоугольной и произвольной.	Всего аудиторных часов		
		6	12	6
		Онлайн		
		0	0	0
<b>15-15</b>	<b>Моделирование систем массового обслуживания.</b>	1	2	1
15	<b>Моделирование систем массового обслуживания</b> Построение модели работы магазина и определение его оптимальных параметров. Оптимизация структуры выпускаемой продукции. Модели для оценки полезности товаров и услуг. Моделирование потока машин на перекрестке двух дорог с использованием нейронной сети и производственных правил.	Всего аудиторных часов		
		1	2	1
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

### ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>6 Семестр</i>
6 - 7	<p><b>Лабораторная работа 1</b></p> <p>Построение оптимального температурного поля в прямоугольной области. Словесная формулировка задачи. Найти мощности и местоположение фиксированного числа точечных источников, обеспечивающих в прямоугольной области по возможности равномерное стационарное температурное поле, заданного значения. Область - плоская, границы области - не теплоизолированные.</p> <p>Темы исследований.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Влияние длины ряда разложения, выбранного для <math>\epsilon</math>, на форму поля и результат оптимизации.</li> <li>2. Зависимость качества оптимизации от слагаемых, включенных в функционал качества, и размерности сетки, используемой при подсчете функционала.</li> <li>3. Сравнительный анализ методов оптимизации.</li> <li>4. Влияние размерности сетки, используемой при построении линий уровня, на их наглядность и форму.</li> <li>5. Сравнительный анализ методов построения линий уровня.</li> <li>6. Зависимость качества оптимизации от числа источников и выбора их начальных параметров.</li> <li>7. Влияние на форму оптимального поля коэффициента поверхностной теплопередачи <math>h</math>.</li> <li>8. Для метода оптимизации МПС исследовать влияние порядка перебора параметров оптимизации при спуске.</li> <li>9. Зависимость скорости сходимости итерационного процесса оптимизации и ее качества от начального приближения (исходных параметров оптимизации).</li> <li>10. Исследовать различные сочетания последовательного использования методов оптимизации.</li> </ol>

	<p>Литература</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Д. Химмельблау. Прикладное нелинейное программирование. Мир, Москва, 1975.</li> <li>2. К. Флетчер. Численные методы на основе метода Галеркина. Мир, Москва, 1988.</li> </ol>
10 - 12	<p><b>Лабораторная работа 2</b></p> <p>Построение оптимального температурного поля в усеченной прямоугольной области. Постановка задачи.</p> <p>Рассматривается задача, описанная в работе 1, но для усеченной области (см. рис.). В этом случае разложения для не удовлетворяет граничным условиям на усеченных участках верхней и правой сторон области. Поэтому решение температурной задачи ищется разностным методом. Для этого область покрывается прямоугольной сеткой, а уравнение стационарной теплопроводности и граничные условия записываются через значения температуры и мощности источников в узлах сетки.</p> <p>Темы исследований.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зависимость точности метода Зейделя от числа итераций.</li> <li>2. Влияние величины основного шага спуска при оптимизации на скорость и качество оптимизации.</li> <li>3. Влияние частоты сетки на точность расчета температурного поля методом Зейделя.</li> <li>4. Влияние частоты сетки на качество оптимизации температурного поля.</li> <li>5. Зависимость качества оптимизации от стратегии спуска внутри одной итерации.</li> <li>6. Сравнить результаты расчета температуры для прямоугольной области, полученные разностным методом и методом Бубного-Галеркина.</li> <li>7. Провести тоже сравнение, но для оптимизации.</li> <li>8. Исследовать зависимость качества оптимизации от выбора начального приближения.</li> </ol> <p>Литература.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Годунов С.К., Рябенький В.С. Разностные схемы. М. Наука. 1977</li> </ol>
13 - 14	<p><b>Лабораторная работа 3</b></p> <p>Оптимальное температурное поле для произвольной области с нелинейностями. Постановка задачи.</p> <p>Требуется оптимизировать характеристики точечных источников, обеспечивающих равномерное температурное поле в плоской области <math>S</math> с различными граничными условиями на отдельных участках границы <math>\Gamma</math>. Коэффициент теплопроводности материала области зависит от температуры следующим образом</p> <p>Темы исследований.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сравнить качество оптимизации для двух задач, имеющих участки границы <math>\Gamma_1</math> и без оных.</li> <li>2. Самостоятельно формализовать конкретную задачу,</li> </ol>



	<p>разбив область и задав все ее характеристики.</p> <p>3. Исследовать зависимость температурного поля от разбивки области.</p> <p>4. Исследовать влияние нелинейности ( ) на форму температурного поля.</p> <p>5. Установить влияние значений весовых коэффициентов в функционале на качество оптимизации, особенно при наличии участков границыГ1.</p> <p>6. Выявить зависимость сходимости итерационного метода решения нелинейной температурной задачи от величины коэффициентов в выражении коэффициента теплопроводности.</p> <p>7. Сравнить качество и скорости методов оптимизации покоординатного (МПС) и наискорейшего (МНС) спусков. Для последнего испробовать две варианта дихотомии на последнем участке спуска при переходе через минимум: с делением шага и спуском в обратном направлении(вариант затухающих колебаний) или спуск от предыдущей точки, но с половинным шагом.</p> <p>8. Провести оптимизацию, используя два вложенных разбиения области, и проанализировать результаты.</p> <p>Литература.</p> <p>1. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.,1953, стр.291.</p>
15 - 17	<p><b>Лабораторная работа 4</b></p> <p>Моделирование виртуального мира</p> <p>Постановка задачи.</p> <p>Моделируется виртуальный мир, состоящий из растений, травоядных и хищных животных. При постановке задачи использованы идеи, изложенные в работе.</p> <p>В этом мире травоядные поедают растения, а хищники - травоядных. Животные имеют начальную энергию, которая расходуется при их перемещении вперед, поворотах направо или налево. Съедание объекта увеличивает энергию животного. Животное умирает, когда его энергия обнуляется (смерть от истощения) или возраст достигает предельного значения (смерть в результате старения). Если энергия животного превышает величину, равную произведению начальной энергии на энергетический коэффициент размножения, то оно рождает новое животное, делясь с ним своей текущей энергией поровну. Общее количество животных поддерживается в интервале, левая граница которого задается произведением начального числа животных на предельный коэффициент добавления, а правая - предельным максимальным числом животных.</p> <p>Пополнение животных осуществляется путем искусственного добавления нового животного (когда после удаления очередного съеденного или умершего животного их число становится меньше нижнего предела, указанного выше) или благодаря описанной выше процедуре размножения. Число растений при поедании</p>

пополняется в соответствие с формулой - произведение числа съеденных растений на коэффициент воспроизводства растений.

Первоначально тип генерируемых животных задается случайным образом либо устанавливается принудительно. При искусственном добавлении - только случайным образом. Также случайным образом задается местоположение всех объектов на плоской квадратной решетке (одно животное в ячейке), представляющей пространство, в котором протекает жизнь. Решетка склеена своими противоположными сторонами. Т.е. животное, пересекая край решетки, переходит на ее противоположную сторону и продолжает движение в том же направлении.

Каждое животное снабжено сенсорной системой, позволяющей ему оценивать состояние переднего плана мира (при генерации животного направление его движения по решетке: вверх, вниз, налево, направо - задается случайным образом): наличие объекта впереди, налево, направо и рядом.

На основании показаний сенсоров животное может выбрать одно из возможных действий: повернуться налево, повернуться направо, передвинуться на одну клетку вперед (если она не занята другим животным) или съесть соответствующий объект, расположенный рядом. Интеллект животных моделируется трехслойной нейронной сетью (первый слой распределительный). Уровень интеллекта определяется значениями компонент матриц весовых коэффициентов нейронной сети. По умолчанию они задаются случайным образом из интервала (-0,5 0,5) отдельно для класса травоядных и класса хищников. Кроме того, их можно загрузить из файлов, содержащих веса нейронных сетей для каждой группы животных обученных в дополнительной программе.

Темы исследований.

1. Составить обучающую выборку и произвести обучение животных обоих видов
2. Исследовать процесс развития виртуального мира, в котором присутствуют только травоядные. Установить, как зависит предельное число животных от количества растений поддерживаемых в среде.
3. Исследовать соотношение травоядных и хищников от различных допустимых в программе параметров.

Литература

1. М. Тим Джонс. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. М.: ДМК, 2004
2. Головкин В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. М.: ИПРЖР, 2001

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс базируется на сочетании и совмещении теоретической и практической подготовки студентов в рамках единых занятий. В начале занятий в форме лекции даются основы и принципы математического моделирования, а затем при выполнении лабораторных работ проводится закрепление пройденного материала посредством решения конкретных задач, оценки различных вариантов их решения

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1.2	З-ПК-1.2	З, КИ-2, КИ-8, КИ-14, КИ-15
	У-ПК-1.2	З, КИ-2, КИ-8, КИ-14, КИ-15
	В-ПК-1.2	КИ-2, КИ-8, КИ-14, КИ-15
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-2, КИ-8, КИ-14, КИ-15
	У-ПК-2	З, КИ-2, КИ-8, КИ-14, КИ-15
	В-ПК-2	З, КИ-2, КИ-8, КИ-14, КИ-15

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69		E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала,
60-64			

			но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 620 Л12 Лабораторный практикум "Компьютерное моделирование наноструктур" : , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
2. ЭИ Г 69 Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ К59 Математическое моделирование: примеры решения задач : учебно-методическое пособие, Р. Г. Козин, Москва: НИЯУ МИФИ, 2010

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 3-14 Математическое моделирование ядерного реактора при случайных возмущениях технологических параметров : , Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
2. 517 К68 Нелинейный функциональный анализ и математическое моделирование в физике : методы исследования нелинейных операторов, М. О. Корпусов, А. Г. Свешников, Москва: КРАСАНД, 2011

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Maxima ()
2. Программы моделирования

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

1. Требовать от преподавателя разъяснения всех не понятных или не четко изложенных вопросов.

2. С ответственностью относиться к решению тех задач, которые преподаватель предлагает рассмотреть дома.

3. Пытаться найти собственное, если это возможно, подходы к решению для тех задач, которые преподаватель задает в качестве самостоятельной работы.

4. Старайтесь заглядывать в литературу, рекомендуемую преподавателем, поскольку в этом случае вам можете познакомиться с другими подходами к порядку изложения лекционного материала.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

1. При подготовке к лекции руководствоваться программой курса. Материал для занятий брать из пособия по данному курсу и рекомендуемой литературы.

2. Во время занятия отвечать на все вопросы, возникающие в процессе изложения лекционного материала.

3. На занятиях лекционный материал иллюстрировать программами, решающими конкретные практические задачи математического моделирования.

4. В конце лекции приводить литературу, где студенты могли бы пополнить свои знания по изложенной проблеме.

5. Для закрепления и более глубокого понимания изложенного материала желательно предлагать на дом для самостоятельной работы несколько практических задач по изложенной тематике.

Автор(ы):

Козин Рудольф Глебович