**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования
"Национальный исследовательский университет
"Высшая школа экономики"**

 Московский институт электроники и математики

 Департамент прикладной математики

**Программа дисциплины** "Имитационное моделирование"

 для образовательной программы «Прикладная математика»

направления подготовки 01.03.04 «Прикладная математика»

уровень бакалавр

Автор программы:

Зотов Л.В.., доцент, tempus@sai.msu.ru

Одобрена на заседании департамента Прикладной математики «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2015 г.

Руководитель департамента Белов А. В\_\_\_\_\_\_\_\_

Рекомендована Академическим советом образовательной программы

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2015 г., № протокола\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Утверждена «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2015 г.

Академический руководитель образовательной программы

 Манита Л.А.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 Москва, 2015

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика программы.*

#  Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, учебных ассистентов и студентов направления 01.03.04 «Прикладная математика» подготовки бакалавров, изучающих дисциплину «Имитационное моделирование».

Программа разработана в соответствии с:

- Стандарт НИУ;

- Образовательной программой 01.03.04 «Прикладная математика» подготовки бакалавров.

- Рабочим учебным планом университета по направлению

# Цель и задачи освоения дисциплины

**Цель**

Цель преподавания дисциплины «Имитационное моделирование» – изучение современных методов решения задач исследования физико-механических процессов и сложных систем, а также их проектирования с использованием ЭВМ.

Задачи имитационного моделирования возникают в случаях, когда строгих аналитических методов может не быть. Моделирование случайных процессов, создание моделей приборов, машин и сооружений, методы решения статических задач на основе дискретизации исследуемой области по методу конечных элементов, моделирование климата, нейронные сети, модели динамики – все это можно отнести к имитационному моделированию. Задача курса в выработке и слушателей представлений о методах имитационного моделирования на основе перечисленных примеров.

Содержание курса подчинено требованиям подготовки бакалавров по прикладной математике, специализирующихся в области программирования, проектирования информационных систем, исследования информационных и природных процессов.

Курс дает возможность слушателям дисциплины, успешно завершившим обучение, применять методы имитационного моделирования и соответствующие пакеты программ.

**Задачи**

1. Дать представление о развитии механики, послужившей фундаментом физики
2. Дать представление о методах, используемых в этой науке
3. Познакомить с математическим аппаратом, развитым в механике.
4. Научить слушателей решать задачи и определять характеристики движения тел
5. Дать представление о наиболее общих законах движения тел, лежащих в основе мироздания.

# Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен:

· Знать, иметь представление о:

* методах имитационного моделирования
* принципах моделирования случайных процессов
* моделях динамики
* методах Монте-Карло
* методах оценивания
* технологиях моделирования производственных процессов

· Уметь:

* пользоваться математическим аппаратом для моделирования
* адаптировать имеющиеся и разрабатывать свои имитационные математические модели
* оценивать типы шумов
* оценивать параметры

· Приобрести первоначальный опыт:

* имитационного моделирования в среде Matlab
* моделирования случайных процессов
* использования метода конечных элементов
* применения моделей климата Земли

# Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к вариативной части математического и естественно-научного цикла.

Изучение данной дисциплины базируется и само формирует понимание следующих дисциплин:

 математический и функциональный анализ;

 алгебра и аналитическая геометрия;

 физика;

 теория управления

 дифференциальные уравнения.

 численные методы.

Для освоения учебной дисциплины, студенты должны владеть следующими знаниями:

 понимание концепций и абстракций, способность использовать на практике базовых математических дисциплин,

 понимание концепций и основных законов естествознания, в частности, физики.

В результате освоения дисциплины студент осваивает следующие компетенции

| **Компетенция** | **Код по ФГОС/ НИУ** | **Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)** | **Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции** |
| --- | --- | --- | --- |
| Способность критически переосмыслять накопленный опыт, изменять при необходимости вид и характер своей профессиональной деятельности | ОК-8 | Демонстрирует умение структурировать проблемное пространство. Оценивает и выбирает альтернативы. | Групповые дискуссии и проекты, анализ деловых ситуаций на основе кейс-метода. |
| Способность использования основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования | ОК-10 | Владеет:* методами реферирования текстов;
* математическим аппаратом
* текстологическими методами извлечения знаний

Демонстрирует умение:* слушать и задавать вопросы;
* структурировать информацию;
* формировать экспертную оценку реальных управленческих ситуаций.
 | Семинарские занятия, технология критического мышления, проектная деятельность, дискуссионные технологии, практические занятия. |
| Способность составлять и контролировать план выполняемой работы, планировать необходимые для работы ресурсы, оценивать результаты собственной работы | ПК-13 | Демонстрирует умение оценивать:* надежность (авторитет) информационного источника;
* достоверность (гарантию подлинности документной фиксации);

Демонстрирует умение формировать формы организации баз данных. | Групповые дискуссии и проекты, дискуссионные технологии, разбор деловых ситуаций на основе кейс-метода. |
| Понимание концепций и основных законов естествознания, в частности, физики | ПК-16. | Демонстрирует * владение методами представления полученных аналитических материалов для лиц принимающих решения;
* умение систематизации и классификации объектов в информационных системах и средах;
* умение готовить предложения по совершенствованию системы управления на уровне своего образовательного учреждения.
 | Групповые дискуссии и проекты, разработка собственных продуктов для публичного обсуждения, самостоятельная работа в межсессионный период, самостоятельная работа в дистанционном режиме. |
| Способность учиться, приобретать новые знания, умения, в том числе в области, отличной от профессиональной | УК-1 | Владеет основными понятиями киберэтики. Осваивает на основе полученных знаний новую информацию по тематике социальных и этических вопросов информационных технологий | Посещение лекций и семинаров, работа на семинарах, самостоятельная работа с материалами лекций |

# Тематический план учебной дисциплины

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Название раздела | Всего | Аудиторные часы | Самостоя-тельная работа |
| Лекции | Практи-ческие занятия |
| 1 | Основные направления имитационного моделирования | 14 | 2 | 2 | 10 |
| 2 | Моделирование шумов, авторегрессия | 15 | 2 | 3 | 10 |
| 3 | Динамические системы и передаточные функции  | 15 | 2 | 3 | 10 |
| 4 | Спектр, формирующий фильтр, оптимальный фильтр | 15 | 2 |  3 | 10 |
| 5 | Нейронные сети и сети Петри | 14 | 2 | 2 | 10 |
| 6 | Монте-Карло моделирование и стохастическая оптимизация | 14 | 2 | 2 | 10 |
| 7 | Некоторые модели из теории игр | 14 | 2 | 2 | 10 |
| 8 | Имитационное моделирование в механике твердого тела, обратные задачи | 15 | 2 | 3 | 10 |
| 9 | Использование суперкомпьютеров в имитационном моделировании, модели климатической системы | 14 | 2 | 2 | 10 |
| 10 | Экономико-математические методы и модели, оценивание параметров | 14 | 2 | 2 | 10 |
|   | Итого | 144 | 20 | 24 | 100 |

# Формы контроля знаний студентов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип контроля | Форма контроля | 4 курс (модули) | Параметры  |
| 1  | 2  |
| Текущий  | Домашнее задание, лабораторные работы | 7 неделя |  | Проверка усвоения знаний за первый модуль по результатам выполнения лабораторных работ |
| Текущий | Контрольная работа |  | 13-15 неделя | Проверка усвоения знаний за второй модуль. Разделы 1-8учебного плана. 10 тестовых вопросов. |
| Промежуточный |  |  | \* | Очно не проводится. Оценка равна накопленной по итогам текущего контроля |
| Итоговый | экзамен  |  | \* | Устный ответ на вопросы экзаменационных билетов. (30 мин на подготовку) |

# Критерии оценки знаний, навыков и порядок формирования оценок по дисциплине

Оценки по всем формам текущего контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

Преподаватель оценивает работу студентов на семинарских и практических занятиях: активность студентов в работе на семинарах, дискуссиях, правильность решения задач на практических занятиях. Оценки за работу на семинарских и практических занятиях преподаватель выставляет в рабочую ведомость. Накопленная оценка по 10-ти балльной шкале за работу на семинарских и практических занятиях определяется перед промежуточным или итоговым контролем - Оауд.

По результатам практической и контрольных работ выставляются две десятибалльные отметки

Опр1 и Окр2.

По результатам аудиторных и семинарских занятий выставляется накопленная отметка

Онакопленная=0,4· Оауд. +0.2· Опр1+0.2· Окр2

Студенты, имеющие Онакопленная не менее 4 допускаются к итоговому экзамену, за который получают отметку Оэкзамен

Итоговой отметкой по дисциплине является

Оитоговая= 0.4\*Оэкзамен +0.6 Онакопленная

Способ округления итоговой и всех промежуточных отметок: арифметический.

На пересдаче студенту не предоставляется возможность получить дополнительный балл для компенсации оценки за текущий контроль.

На экзамене студент может получить дополнительный вопрос из любого раздела курса, в случае, если его аудиторная активность была неудовлетворительной (Оауд<=4).

# Содержание дисциплины

|  |  |
| --- | --- |
| Название раздела/темы | Количество аудиторных часов (часов самостоятельной работы) |
| 1 модуль |
| Раздел 1. Основные направления имитационного моделирования | 2+2(10) |
| 1. Типы имитационных моделей
2. Основные принципы имитационного моделирования и критерии его адекватности
 |  |
| *Литература и источники:*1. А.Духанов, О.Медведева Имитационное моделирование сложных систем, Курс лекций, Владимир 2010
2. Лоу А. М., Кельтон В. Д. Имитационное моделирование. 3-е изд. СПб.: Питер, 2004, 847 с.
3. В. П. Строгалев, И. О. Толкачева МГТУ им. Баумана М. 2015
4. Варжапетян А. Г. Имитационное моделирование на GPSS/H Вузовская книга 2007
5. Емельянов А. А. Имитационное моделирование экономических процессов Финансы и статистика 2009.
6. И. Ньютон. Математические начала натуральной философии. В переводе академика А.Н.Крылова. М. УРСС 2008
 |   |
| Раздел 2. Моделирование шумов, авторегрессия | 2+3(10) |
| 1. Характеристики шумов
2. АРСС модель
3. Идентификация, наблюдаемость, управление
 |  |
| *Литература и источники:** В.Л. Пантелеев, Наблюдение и управление динамическими объектами
* Е.П. Попов. Нелинейное автоматическое управление
 |   |
| Раздел 3. Динамические системы и передаточные функции | 2+3(10) |
| 1. Уравнение состояний
2. Уравнение наблюдений
3. Идентификация, наблюдаемость, управление
4. Передаточная функция АРСС
 |  |
| *Литература и источники:** Л.В. Зотов, Теория фильтрации и обработка временных рядов, МГУ 2010
* Е.П. Чуханов. Прогнозирование эконометрических временных рядов. Финансы и статистика 2008
 |   |
| Раздел 4. Спектр, формирующий фильтр, оптимальный фильтр | 2+3(10) |
| 1. Фурье-преобразование
2. Корреляционная функция
3. Спектральная плотность мощности
 |  |
| *Литература и источники:** Л.В. Зотов, Теория фильтрации и обработка временных рядов
* Ширяев А.В. Вероятность 1 2, МЦМНО 2007
* Кендалл, Стьюарт Статистические выводы и связи М. Наука 1973
* Дженкинс, Ваттс Спектральный анализ и его приложений 1,2. М. Мир 1971
 |   |
| Раздел 5. Нейронные сети и сети Петри | 2+2(10) |
| 1. Персептрон.
2. Многослойные нейронные сети
3. Методы обучения
 |  |
| *Литература и источники:** С. Хайкин Нейронные сети, полный курс
* Осовский С. Нейронные сети для обработки информации, М. Финансы и статистика 2004
 |   |
| 2 модуль |
| Раздел 6. Монте-Карло моделирование и стохастическая оптимизация  | 2+2(10) |
| 1. Стохастическая оптимизация.
2. Генетические алгоритмы
3. Испытания Монте-Карло.
 |  |
| *Литература и источники:** Фадеева, Лебедев “Теория Вероятностей” Эксмо М. 2010 г.
* С. Хайкин Нейронные сети, полный курс
* Зорин А. В., Федоткин М. А. [Методы Монте-Карло для параллельных вычислений: Учебное пособие](http://msupublishing.ru/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=824&category_id=161&option=com_virtuemart&Itemid=100034) МГУ (2013 г.)
 |   |
| Раздел 7. Некоторые модели из теории игр | 2+2(10) |
| 1. Игры и оптимальные стратегии
2. Равновесие по Нэшу
3. Случайные игры и марковские цепи
 |  |
| *Литература и источники:** Стратанович Р.Л. Условные марковские процессы и их применение к теории оптимального управления, М. МГУ 1966
* В.И. Захаров Теория игр в общественных науках М. ВШЭ 2015
 |   |
| Раздел 8. Имитационное моделирование в механике твердого тела, обратные задачи | 2+3(10) |
| 1. Аппроксимация механических свойств металлов и сплавов при горячей обработке давлением.
2. Междисциплинарность и сверхпластичность.
3. Моделирование контактного взаимодействия.
4. Обратные задачи в механике деформируемого твердого тела
 |  |
| 1. Работнов Ю.Н., Механика деформируемого твердого тела, М., Наука, 1988 г. 2. Л.И. Седов. Механика сплошной среды, т.1, т.2, Москва, Наука, 1973. 3. Сигерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. 4. Ленский В.С. Введение в теорию пластичности. – М.: МГУ, 1969. 5. Бердичевский В.Л. Вариационные принципы механики сплошной среды. - М.: Наука, 1983 6. Чумаченко Е.Н., Печенкин Д.В. Моделирование и расчет термоупругих деформаций при анали- зе локально изотропных конструкций. – М.: МИЭМ, 2000. 7. Чумаченко Е.Н., Логашина И.В. Математическое моделирование и оптимизация процессов де- формирования материалов при обработке давлением. - М.: ЭКОМЕТ, 2009. 8. А.О. Ватульян, Обратные задачи в механике деформируемого твердого тела, М. Физматлит 2007 |  |
| Раздел 9.Использование суперкомпьютеров в имитационном моделировании, модели климатической системы | 2+2(10) |
| 1. Кластеры и облачные технологии
2. Методы распараллеливания программ
3. Модели океан-атмосфера
4. Международные многоуровневые климатические модели
 |  |
|  Дымников В.П., Лыкосов В.Н**.**, Володин Е.М. Моделирование климата и его изменений: современные проблемы. – Вестник РАН, 2012, т. 82, № 3, с. 227 – 236. [Степаненко В.М.](https://istina.msu.ru/workers/437164/), [Глазунов А.В.](https://istina.msu.ru/workers/1201234/), [Микушин Д.Н.](https://istina.msu.ru/workers/479278/), [Лыкосов В.Н.](https://istina.msu.ru/workers/390874/) Суперкомпьютерное моделирование климатических процессов. МГУ В. А. Садовничий Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности МГУ, 2009 М. А. Толстых, Р. А. Ибраев и др.; Предисл.: В. А. Садовничий [Модели глобальной атмосферы и Мирового океана: алгоритмы и суперкомпьютерные технологии: МГУ](http://msupublishing.ru/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=758&category_id=161&option=com_virtuemart&Itemid=100034) 2013 |  |
|  |  |
| Раздел 10.Экономико-математические методы и модели, оценивание параметров  | 2+2(10) |
| 1. Регрессии
2. Шумы
3. Оценивание параметров
 |  |
| 1 Багриновский, Матюшок, Экономико-математические методы и модели, РУДН 20092. В.Л. Пантелеев Математические методы обработки наблюдений, курс лекций МГУ 2010. 3. Кендалл, Стьюарт Статистические выводы и связи М. Наука 19734. Freedman [Statistical Models Theory And Practice](https://www.google.com/url?sa=t&q=&url=http://www.realrecreationusa.com/p/Statistical-Models-Theory-And-Practice-95872894.html&usg=AFQjCNFunEr1P5bq3_LpT8HdEtn6vWcVeQ&ved=0CHEQwitqFQoTCJuKvLKesMgCFQVdGgodItAMcQ&ei=af8UVtuxPIW6aaKgs4gH), Cabridge Univ. press |  |

# Образовательные технологии

В преподавании дисциплины используется сочетание различных форм информационной работы (интерактивные лекции, групповые дискуссии, разбор конкретных ситуаций) и деятельностных форм обучения (адаптационный тренинг, командная проектная работа и т.п.). В целом деятельностные формы преобладают в организации самостоятельной работы и текущем контроле. Развитие компетенций студентов обеспечивается практической востребованностью той информации, которая предлагается на лекциях, и заданиями для самоподготовки, которые имеют конкретный практический результат, необходимый в повседневной работе.

# Рекомендуемые ресурсы

1. И. Ньютон. Математические начала натуральной философии. В переводе академика А.Н.Крылова. М. УРСС 2008
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BC%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5>
3. <http://www.hse.ru/org/hse/cfi/113809743/>
4. Бенькович Е. С., Колесов Ю. Б., Сениченков Ю. Б. Практическое моделирование динамических систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 464 с
5. Лоу А. М., Кельтон В. Д. Имитационное моделирование. 3-е изд. СПб.: Питер, 2004, 847 с.
6. В. П. Строгалев, И. О. Толкачева МГТУ им. Баумана М. 2015 г
7. Варжапетян А. Г. Имитационное моделирование на GPSS/H Вузовская книга 2007
8. Емельянов А. А. Имитационное моделирование экономических процессов Финансы и статистика 2009.
9. Стратанович Р.Л. Условные марковские процессы и их применение к теории оптимального управления, М. МГУ 1966
10. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации, М. Финансы и статистика 2004
11. В.И. Захаров Теория игр в общественных науках М. ВШЭ 2015
12. Фадеева, Лебедев “Теория Вероятностей” Эксмо М. 2010 г.
13. С. Хайкин Нейронные сети, полный курс
14. Зорин А. В., Федоткин М. А. [Методы Монте-Карло для параллельных вычислений: Учебное пособие](http://msupublishing.ru/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=824&category_id=161&option=com_virtuemart&Itemid=100034) МГУ (2013 г.)
15. Л.В. Зотов, Теория фильтрации и обработка временных рядов, МГУ 2010
16. Е.П. Чуханов. Прогнозирование эконометрических временных рядов. Финансы и статистика 2008
17. . Работнов Ю.Н., Механика деформируемого твердого тела, М., Наука, 1988 г.
18. 2. Л.И. Седов. Механика сплошной среды, т.1, т.2, Москва, Наука, 1973.
19. 3. Сигерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979.
20. 4. Ленский В.С. Введение в теорию пластичности. – М.: МГУ, 1969.
21. 5. Бердичевский В.Л. Вариационные принципы механики сплошной среды. - М.: Наука, 1983
22. . Работнов Ю.Н., Механика деформируемого твердого тела, М., Наука, 1988 г.
23. 2. Л.И. Седов. Механика сплошной среды, т.1, т.2, Москва, Наука, 1973.
24. 3. Сигерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979.
25. 4. Ленский В.С. Введение в теорию пластичности. – М.: МГУ, 1969.
26. 5. Бердичевский В.Л. Вариационные принципы механики сплошной среды. - М.: Наука, 1983
27. Чумаченко Е.Н., Логашина И.В. Математическое моделирование и оптимизация процессов де-формирования материалов при обработке давлением. - М.: ЭКОМЕТ, 2009.
28. Чумаченко Е.Н., Арутюнов С.Д., Лебеденко И.Ю. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния зубных протезов - М.: Молодая гвардия,. 2003. - 272с.
29. Дымников В.П., Лыкосов В.Н**.**, Володин Е.М. Моделирование климата и его изменений: современные проблемы. – Вестник РАН, 2012, т. 82, № 3, с. 227 – 236.
30. [Степаненко В.М.](https://istina.msu.ru/workers/437164/), [Глазунов А.В.](https://istina.msu.ru/workers/1201234/), [Микушин Д.Н.](https://istina.msu.ru/workers/479278/), [Лыкосов В.Н.](https://istina.msu.ru/workers/390874/) Суперкомпьютерное моделирование климатических процессов
31. В. А. Садовничий Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности МГУ, 2009
32. М. А. Толстых, Р. А. Ибраев и др.; Предисл.: В. А. Садовничий [Модели глобальной атмосферы и Мирового океана: алгоритмы и суперкомпьютерные технологии: МГУ](http://msupublishing.ru/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=758&category_id=161&option=com_virtuemart&Itemid=100034) 2013
33. Багриновский, Матюшок, Экономико-математические методы и модели, РУДН 2009
34. 2. В.Л. Пантелеев Математические методы обработки наблюдений, курс лекций МГУ 2010.
35. 3. Кендалл, Стьюарт Статистические выводы и связи М. Наука 1973
36. 4. Freedman [Statistical Models Theory And Practice](https://www.google.com/url?sa=t&q=&url=http://www.realrecreationusa.com/p/Statistical-Models-Theory-And-Practice-95872894.html&usg=AFQjCNFunEr1P5bq3_LpT8HdEtn6vWcVeQ&ved=0CHEQwitqFQoTCJuKvLKesMgCFQVdGgodItAMcQ&ei=af8UVtuxPIW6aaKgs4gH), Cabridge Univ. press