

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

|                            |   |
|----------------------------|---|
|                            | <b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>  |
| <b>по дисциплине:</b>      | Математическое моделирование микро- и наносистем  |
| <b>по направлению:</b>     | Электроника и нанoeлектроника   |
| <b>профиль подготовки:</b> | Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра микро- и нанoeлектроники |
| <b>курс:</b>               | 1   |
| <b>квалификация:</b>       | магистр   |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: И.В. Матюшкин, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники 29.05.2020

## Аннотация

Курс "" предусматривает повышение уровня математического образования студентов при одновременном укреплении навыков их абстрактно-логического и ассоциативно-философского мышления и ознакомлении с практикой математического моделирования, которое дифференцируется от прикладной математики и технического исполнения вычислительных экспериментов. С учетом специфики кафедры функциональной наноэлектроники сделан акцент на применение методов математического моделирования в предметной области технологии.

Задачи курса:

- изучение математического базиса наиболее значимых средств формализации и средств численного моделирования;
- овладение студентами навыками систематического мышления, в частности, при концептуализации технологии микро- и наноэлектроники;
- выработка опыта в самостоятельном исследовании сложных систем и явлений.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- Специфику математического моделирования в отношении физического, в отношении численных методов, в отношении прикладной математики;
- Методы концептуального проектирования;
- Математические основы метода конечных элементов, клеточных автоматов и генетических алгоритмов.

Уметь:

- Классифицировать компоненты математической модели;
- Проводить процедуры обезразмеривания и идентификации параметров;
- Правильно ставить вычислительный эксперимент.

Владеть:

- Общематематическими пакетами (MATLAB);
- Современными методами научной визуализации;
- САПР мультифизики (COMSOL).

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Роль моделирования в науке.
2. Типовой маршрут математического моделирования.
3. Элементы системного анализа.
4. Структура современной математики.
5. Фундаментальные понятия вычислительной математики.
6. Типичные задачи и методы вычислительной математики.
7. Методы построения сеток в симуляторах.
8. Нейросетевые модели.
9. Обзор общецелевых математических пакетов САПР.
10. Программные аспекты реализации модели на ЭВМ.
11. Проблема идентификации параметров модели. Методы верификации и оптимизации.
12. Планирование вычислительного эксперимента. Прагматический подход к математическому моделированию.
13. ММ микро- и наноэлектроники.
14. ММ в физике и химии.
15. ММ в биологии, генетике и экологии.
16. ММ в гуманитарных науках.

## 1. Цели и задачи

## Цель дисциплины

- повышение уровня математического образования студентов при одновременном укреплении навыков их абстрактно-логического и ассоциативно-философского мышления и ознакомлении с практикой математического моделирования, которое дифференцируется от прикладной математики и технического исполнения вычислительных экспериментов. С учетом специфики кафедры функциональной наноэлектроники сделан акцент на применение методов математического моделирования в предметной области технологии.

### Задачи дисциплины

- изучение математического базиса наиболее значимых средств формализации и средств численного моделирования;
- овладение студентами навыками систематического мышления, в частности, при концептуализации технологии микро- и наноэлектроники;
- выработка опыта в самостоятельном исследовании сложных систем и явлений.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции  |
|---|--|
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты             |
|   | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
|   | ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели                    |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области                             | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)  |
|   | ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)                                   |
|   | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов  |

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- специфику математического моделирования в отношении физического, в отношении численных методов, в отношении прикладной математики;
- методы концептуального проектирования;
- математические основы метода конечных элементов, клеточных автоматов и генетических алгоритмов.

уметь:

- классифицировать компоненты математической модели;
- проводить процедуры обезразмеривания и идентификации параметров;
- правильно ставить вычислительный эксперимент.

владеть:

- общематематическими пакетами (MATLAB);
- современными методами научной визуализации;
- САПР мультифизики (COMSOL).

## 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| №                     | Тема (раздел) дисциплины  | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. |          |                 |                |
|-----------------------|---|---|----------|-----------------|----------------|
|                       |   | Лекции  | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1                     | Роль моделирования в науке.   | 1   |          |                 | 1              |
| 2                     | Типовой маршрут математического моделирования.  | 1   | 1        |                 | 1              |
| 3                     | Элементы системного анализа.  | 1   | 1        |                 | 1              |
| 4                     | Структура современной математики.   | 1   | 1        |                 | 1              |
| 5                     | Фундаментальные понятия вычислительной математики.  | 1   | 1        |                 | 1              |
| 6                     | Типичные задачи и методы вычислительной математики.   | 1   | 1        |                 | 1              |
| 7                     | Методы построения сеток в симуляторах.  | 1   | 1        |                 |                |
| 8                     | Нейросетевые модели.  | 1   | 1        |                 | 1              |
| 9                     | Обзор общецелевых математических пакетов САПР.  | 1   | 1        |                 | 1              |
| 10                    | Программные аспекты реализации модели на ЭВМ.   | 1   | 1        |                 | 1              |
| 11                    | Проблема идентификации параметров модели. Методы верификации и оптимизации.                       | 1   | 1        |                 | 1              |
| 12                    | Планирование вычислительного эксперимента. Прагматический подход к математическому моделированию. | 1   | 1        |                 | 1              |
| 13                    | ММ микро- и нанoeлектроники.  | 1   | 1        |                 | 1              |
| 14                    | ММ в физике и химии.  |   | 1        |                 | 1              |
| 15                    | ММ в биологии, генетике и экологии.   | 1   | 1        |                 | 1              |
| 16                    | ММ в гуманитарных науках.   | 1   | 1        |                 | 1              |
| Итого часов           |   | 15  | 15       |                 | 15             |
| Подготовка к экзамену |   | 0 час.  |          |                 |                |
| Общая трудоёмкость    |   | 45 час., 1 зач.ед.  |          |                 |                |

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Роль моделирования в науке.

Физическое и математическое моделирование. Взаимодействие с прикладной и чистой математикой. Абстрагирование и идеализация.

##### 2. Типовой маршрут математического моделирования.

Классификации математических моделей (ММ). Предметная зависимость ММ.

##### 3. Элементы системного анализа.

Системный подход к изучаемому объекту. Системная организация процесса моделирования. Иерархия моделей.

#### 4. Структура современной математики.

Применение матриц и тензоров в науке. Качественная теория дифференциальных уравнений. Спектральные и операторные методы. Теория оптимального управления.

#### 5. Фундаментальные понятия вычислительной математики.

Конечные разности. Виды погрешностей. Метрические пространства. Точность аппроксимации, сходимость и устойчивость. Явные и неявные схемы. Эмпирический характер численных методов.

#### 6. Типичные задачи и методы вычислительной математики.

Методы интерполяции и экстраполяции. Линейные уравнения. Поиск собственных значений матриц. Решение задачи Коши для ОДУ. Решение алгебраических уравнений и градиентные методы поиска экстремумов. Краевые задачи для уравнений математической физики.

#### 7. Методы построения сеток в симуляторах.

Конечные разности на треугольных сетках. Сплаины. Метод конечных элементов.

#### 8. Нейросетевые модели.

Модели клеточных автоматов. Введение в теорию нейронных сетей. Генетические алгоритмы и их связь с обучением нейронной сети. Методы типа Монте-Карло.

#### 9. Обзор общецелевых математических пакетов САПР.

Символьные вычисления в Maple. Пакет Mathematica. Пакет MATLAB. Пакет FEMLAB. Пакет MathCad.

#### 10. Программные аспекты реализации модели на ЭВМ.

Роль интерфейса. Проверка корректности алгоритмизации с помощью тестовых примеров.

#### 11. Проблема идентификации параметров модели. Методы верификации и оптимизации.

Экспертные оценки. Введение «подгоночных» коэффициентов. Учет погрешности эксперимента.

#### 12. Планирование вычислительного эксперимента. Прагматический подход к математическому моделированию.

Причины неудач моделирования. Проверка адекватности модели. Генерация и оформление нового научно-технического знания.

#### 13. ММ микро- и нанoeлектроники.

Модели аналоговых и логических элементов. Элементы системотехники. Языки моделирования SPICE и VHDL. Макромодели.

#### 14. ММ в физике и химии.

Обтекание газом крыла самолета. Солитоны. Исследование химических реакций. Элементы квантово-химического моделирования.

15. ММ в биологии, генетики и экологии.

Модели типа «хищник-жертва». Модели дрейфа генов. Имитационное моделирование города (по Дж. Форрестеру).

16. ММ в гуманитарных науках.

Модель межотраслевого баланса Леонтьева. Модели в психологии/антропологии и социологии.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

Обеспечение самостоятельной работы: доступ в сеть Интернет, доступ к рекомендованной литературе.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий [Текст] : в 2 т. : [учеб. пособие для вузов] / [под общ. ред. Ю. Н. Коркишко] .— М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010 .— (Нанотехнологии) .— Т. 1 : Физико-химические основы технологии микроэлектроники / [Ю. Д. Чистяков, Ю. П. Райнова]. - 2010. - 392 с.
2. Самарский А.А. Введение в численные методы: учеб. Пособие. – М.: Наука, 1972. – 272 с.
3. Боглаев Ю.П. Вычислительная математика и программирование: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1990. – 544 с.
4. Актуальные проблемы моделирования в системах автоматизированного схемотехнического проектирования. / под ред. А.И. Стемпковского. – М.: Наука, 2003. – 432 с.

### **Дополнительная литература**

1. Основы микроэлектроники [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / И. П. Степаненко .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2004 .— 488с.
2. Краснощёков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей. – М.: Фазис, 2000. – 284 с.
3. Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы. – М.: Фазис, 2000. – 144 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных и семинарских занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, прослушавший курс лекций и семинаров, должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) посещения всех лекций и семинаров, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении лекций и семинаров;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лекции или докладчику на семинаре.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

|   |   |
|---|---|
| <b>по направлению:</b>  | Электроника и нанoeлектроника   |
| <b>профиль подготовки:</b>  | Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра микро- и нанoeлектроники |
| <b>курс:</b>  | <u>1</u>  |
| <b>квалификация:</b>  | магистр   |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет |   |
| <b>Разработчик:</b>   | И.В. Матюшкин, канд. физ.-мат. наук   |



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции  |
|---|--|
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты             |
|   | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
|   | ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели                    |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области                             | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)  |
|   | ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)                                   |
|   | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов  |

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Математическое моделирование микро- и наносистем» обучающийся должен:

### знать:

- специфику математического моделирования в отношении физического, в отношении численных методов, в отношении прикладной математики;
- методы концептуального проектирования;
- математические основы метода конечных элементов, клеточных автоматов и генетических алгоритмов.

### уметь:

- классифицировать компоненты математической модели;
- проводить процедуры обезразмеривания и идентификации параметров;
- правильно ставить вычислительный эксперимент.

### владеть:

- общематематическими пакетами (MATLAB);
- современными методами научной визуализации;
- САПР мультифизики (COMSOL).

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. Элементы системного анализа.
2. Структура современной математики.
3. Фундаментальные понятия вычислительной математики.

4. Типичные задачи и методы вычислительной математики.
5. Методы построения сеток в симуляторах.
6. Нейросетевые модели.
7. Обзор общецелевых математических пакетов САПР.
8. Программные аспекты реализации модели на ЭВМ.
9. Проблема идентификации параметров модели. Методы верификации и оптимизации.
10. Планирование вычислительного эксперимента. Прагматический подход к математическому моделированию.
11. ММ микро- и наноэлектроники.
12. ММ в физике и химии.
13. ММ в биологии, генетике и экологии.
14. ММ в гуманитарных науках.

#### Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);

- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;

- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.