

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра нанотехнологий и микросистемной техники**

**Авторы-составители: Пономарев Роман Сергеевич  
Волынцев Анатолий Борисович  
Козлов Андрей Андреевич**

Рабочая программа дисциплины

**ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ**

Код УМК 93710

Утверждено  
Протокол №9  
от «13» мая 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Численные методы в нанотехнологиях

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в обязательную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **28.03.01** Нанотехнологии и микросистемная техника  
направленность Материалы микро- и наносистемной техники

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Численные методы в нанотехнологиях** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**28.03.01** Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность : Материалы микро- и наносистемной техники)

**ПК.4** Способен проектировать и сопровождать изготовление опытных партий новых объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники

#### **Индикаторы**

**ПК.4.1** Применяет численные методы конструирования новых объектов нанотехнологий и микросистемной техники

#### 4. Объем и содержание дисциплины

|   |  |
|---|--|
| <b>Направления подготовки</b>   | 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника<br>(направленность: Материалы микро- и наносистемной техники) |
| <b>форма обучения</b>   | очная  |
| <b>№№ триместров,<br/>выделенных для изучения<br/>дисциплины</b>          | 8  |
| <b>Объем дисциплины (з.е.)</b>  | 3  |
| <b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>   | 108  |
| <b>Контактная работа с<br/>преподавателем (ак.час.),<br/>в том числе:</b> | 42   |
| <b>Проведение лекционных<br/>занятий</b>                                  | 14   |
| <b>Проведение практических<br/>занятий, семинаров</b>                     | 28   |
| <b>Самостоятельная работа<br/>(ак.час.)</b>                               | 66   |
| <b>Формы текущего контроля</b>  | Защищаемое контрольное мероприятие (3)   |
| <b>Формы промежуточной<br/>аттестации</b>                                 | Зачет (8 триместр)   |

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **1. Проектирование**

Даются основные понятия курса, а также цели и задачи моделирования и проектирования микро- и наносистем. Понятие о проектировании, как совокупности определенных организационных и научно-технических операций, позволяющей получить в результате комплект технической документации с полным описанием проекта разрабатываемого устройства. Рассматриваются основные объекты проектирования, входящие в состав микро- и наносистем: системы обработки данных, сенсорные системы, актуаторные системы, стабилизирующие системы.

### **2. Моделирование**

Рассматривается цель и алгоритм численного моделирования микро- и наносистем, а также методы верификации результатов моделирования. Рассматриваются вопросы повышения точности при проектировании микро- и наносистем, фундаментальные и технологические факторы, ограничивающие точность при моделировании, вопросы сходимости численных схем и корректности постановки задачи моделирования. Рассматриваются особенности проектирования активных и пассивных элементов микро- и наносистем в зависимости от их функциональных обязанностей, принципов работы и применяемых для изготовления материалов и технологий. Дается обзор численных методов моделирования микрооптических систем, включая метод распространяющегося луча и метод конечных разностей во временной области.

### **3. Практика**

В среде OptiFDTD проводится построение элементарных конструкций микрооптической схемы: одномодовых канальных волноводов, модуляторов фазы и амплитуды излучения, рупоров и разветвителей. Рассматриваются приемы автоматизации численных экспериментов в среде OptiFDTD, включая вариацию параметров геометрии микрооптической схемы, длины волны излучения, поляризации излучения, размеров волноводов. Моделирование Y-разветвителя. Моделирование кольцевого резонатора. Моделирование фотонных кристаллов. Моделирование брэгговских решеток. Моделирование материалов с дисперсией.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Звонарев С. В. Моделирование структуры и свойств наносистем: Учебно-методическое пособие / Звонарев С. В. - Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014, ISBN 978-5-7996-1203-0.-120. <http://www.iprbookshop.ru/68259.html>
2. Численные методы : учебник и практикум для академического бакалавриата / У. Г. Пирумов [и др.] ; под редакцией У. Г. Пирумова. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 421 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-03141-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/431961>

### Дополнительная:

1. Сырецкий, Г. А. Проектирование автоматизированных систем. Часть 1 : учебное пособие / Г. А. Сырецкий. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 156 с. — ISBN 978-5-7782-2455-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт] <http://www.iprbookshop.ru/47714.html>
2. Волынцев А. Б., Ратт А. В., Шилов А. Н. Компьютерные технологии в научных исследованиях. Компьютерное моделирование пластической деформации и дефектов в кристаллах: учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистров "Нанотехнологии и микросистемная техника" / А. Б. Волынцев, А. В. Ратт, А. Н. Шилов. - Пермь: ПГНИУ, 2016, ISBN 978-5-7944-2824-7.-60.-Библиогр.: с. 57-59 <https://elis.psu.ru/node/398853>
3. Юрчук С. Ю. Основы математического моделирования : Учеб. пособие / С. Ю. Юрчук, М. Н. Орлова. — М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. — 90 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система BiblioTex : [сайт]. <https://psu.bibliotech.ru/Reader/Book/8619>

## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

<http://www.iprbookshop.ru/56065.html> Компьютерное моделирование нанотехнологий, наноматериалов и наноструктур

<http://www.iprbookshop.ru/56067.html> Компьютерное моделирование нанотехнологий, наноматериалов и наноструктур

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Численные методы в нанотехнологиях** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС) ;
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

1. Операционная система "ALT Linux".
2. Приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC».
3. Программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель)«WindowsMediaPlayer».
4. Программа просмотра интернет контента (браузер) «Google Chrome» или аналогичных.
5. Офисный пакет приложений «LibreOffice».
6. Лицензионный программный комплекс MicrosoftOffice
7. PaintNET
8. OptiFDTD
9. FreeCAD
10. Comsol

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой или маркерной доской.

Лабораторные и практические занятия проходят в Лаборатории компьютерного моделирования, оснащенной специализированным оборудованием. Состав оборудования определен в Паспорте лаборатории.

Текущий контроль осуществляется в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

Групповые (индивидуальные) консультации проводятся в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

К помещениям для самостоятельной работы студентов относятся:

- Аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.
- Помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Численные методы в нанотехнологиях**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ПК.4**

**Способен проектировать и сопровождать изготовление опытных партий новых объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники**

| <b>Компетенция<br/>(индикатор)</b>   | <b>Планируемые результаты<br/>обучения</b>  | <b>Критерии оценивания результатов<br/>обучения</b>  |
|--|---|--|
| <p><b>ПК.4.1</b><br/>Применяет численные методы конструирования новых объектов нанотехнологий и микросистемной техники</p> | <p>знать:<br/>1. современное состояние и методы формального физического описания микро- и наносистем,<br/>2. методы расчета и моделирования компонентов и процессов при изготовлении микро- и наносистем;<br/>уметь:<br/>1. применять основные физико-математические и физико-химические модели материалов и компонентов нано- и микросистем;<br/>2. применять методы и средства компьютерного моделирования микро и наносистем;<br/>владеть:<br/>1. методами численного моделирования и расчета параметров микро- и наносистем;<br/>2. навыками разработки и проектирования микро- и наносистем.</p> | <p align="center"><b>Неудовлетворител</b><br/>Не знает современных методов формального описания физических объектов.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b><br/>Знает современные методы формального описания физических объектов.<br/>Владеет методами расчета и моделирования компонентов и процессов при изготовлении микро- и наносистем.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b><br/>Знает современные методы формального описания физических объектов.<br/>Владеет методами расчета и моделирования компонентов и процессов при изготовлении микро- и наносистем.<br/>Применяет основные физико-математические и физико-химические модели материалов и компонентов нано- и микросистем.</p> <p align="center"><b>Отлично</b><br/>Знает современные методы формального описания физических объектов.<br/>Владеет методами расчета и моделирования компонентов и процессов при изготовлении микро- и наносистем.<br/>Применяет основные физико-математические и физико-химические модели материалов и компонентов нано- и микросистем.<br/>Владеет навыками разработки и проектирования микро- и наносистем</p> |

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

| Компетенция<br>(индикатор)   | Мероприятие<br>текущего контроля                               | Контролируемые элементы<br>результатов обучения  |
|--|--|--|
| <b>ПК.4.1</b><br>Применяет численные методы конструирования новых объектов нанотехнологий и микросистемной техники | 1. Проектирование<br><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b> | Знает основные понятия проектирования и моделирования, как совокупности определенных организационных и научно-технических операций, позволяющей получить в результате комплект технической документации с полным описанием проекта разрабатываемого устройства. Знает основные подходы к проектированию микро- и наносистем, уровни проектирования и их взаимосвязь. Знает основные объекты проектирования, входящие в состав микро- и наносистем. |
| <b>ПК.4.1</b><br>Применяет численные методы конструирования новых объектов нанотехнологий и микросистемной техники | 2. Моделирование<br><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>  | Умеет определять параметры материалов в библиотеке материалов, задавать целевые параметры. Умеет создавать геометрию волноводов. Умеет запускать численный счет, задавать плотность расчетной сетки. Знает и понимает методы конечных разностей и распространяющегося луча   |

| Компетенция<br>(индикатор)   | Мероприятие<br>текущего контроля                         | Контролируемые элементы<br>результатов обучения   |
|--|--|---|
| <b>ПК.4.1</b><br>Применяет численные методы конструирования новых объектов нанотехнологий и микросистемной техники | 3. Практика<br><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b> | Умение строить геометрию, задавать параметры расчета и анализировать результаты расчета для простейших элементов интегральной оптики. Умение автоматизировать процедуру расчета топологии интегральной схемы за счет параметризации параметров модели и счета. Умение моделировать и проектировать брегговские решетки, Y-разветвители, кольцевые резонаторы в интегрально-оптических схемах. |

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### 1. Проектирование

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **9**

| Показатели оценивания   | Баллы |
|---|-------|
| Знает основные подходы к проектированию микро- и наносистем, уровни проектирования и их взаимосвязь.  | 9     |
| Знает основные понятия проектирования и моделирования, как совокупности определенных организационных и научно-технических операций, позволяющей получить в результате комплект технической документации с полным описанием проекта разрабатываемого устройства. | 6     |
| Знает основные объекты проектирования, входящие в состав микро- и наносистем.   | 5     |

#### 2. Моделирование

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

| Показатели оценивания  | Баллы |
|--|-------|
| Знает и понимает методы конечных разностей и распространяющегося луча                      | 13    |
| Умеет определять параметры материалов в библиотеке материалов, задавать целевые параметры. | 10    |
| Умеет создавать геометрию волноводов.  | 10    |
| Умеет запускать численный счет, задавать плотность расчетной сетки.                        | 7     |

#### 3. Практика

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **4 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

| <b>Показатели оценивания</b>   | <b>Баллы</b> |
|--|--------------|
| Умеет задавать и варьировать геометрию системы   | 13           |
| Умеет варьировать спектральные характеристики системы                                    | 10           |
| Умеет задавать целевые выходные параметры для моделирования интегрально-оптической схемы | 10           |
| Умеет анализировать результаты расчета   | 7            |