

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.04.01 Радиотехника

Наименование образовательной программы: Радиотехнические системы

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНТЕНН И**  
**УСТРОЙСТВА СВЧ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ**  
**ПАКЕТОВ**


|   |   |
|---|---|
| <b>Блок:</b>  | <b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>   | <b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b> |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>  | <b>Б1.Ч.01</b>  |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>  | <b>2 семестр - 3;</b>   |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>   | <b>108 часов</b>  |
| <b>Лекции</b>   | <b>2 семестр - 16 часов;</b>                                    |
| <b>Практические занятия</b>   | <b>2 семестр - 16 часов;</b>                                    |
| <b>Лабораторные работы</b>  | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Консультации</b>   | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>Самостоятельная работа</b>   | <b>2 семестр - 75,7 часа;</b>                                   |
| <b>в том числе на КП/КР</b>   | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Иная контактная работа</b>   | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>включая:</b><br><b>Тестирование</b><br><b>Контрольная работа</b><br><b>Расчетно-графическая работа</b> |   |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>  |   |
| <b>Зачет с оценкой</b>  | <b>2 семестр - 0,3 часа;</b>                                    |

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

|   |   |                               |
|---|---|-------------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                               |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                               |
|   | Владелец  | Курушин А.А.                  |
|   | Идентификатор   | Rec52a4a9-KurushinAA-455a674e |

(подпись)

А.А. Курушин

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

|   |   |                               |
|---|---|-------------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                               |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                               |
|   | Владелец  | Комаров А.А.                  |
|   | Идентификатор   | R8495daf1-KomarovAIA-eada3f0e |

(подпись)

А.А. Комаров

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

|   |   |                               |
|---|---|-------------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                               |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                               |
|   | Владелец  | Комаров А.А.                  |
|   | Идентификатор   | R8495daf1-KomarovAIA-eada3f0e |

(подпись)

А.А. Комаров

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** состоит в углубленном изучении методов и программных продуктов автоматизированного проектирования антенн и СВЧ-устройств

### Задачи дисциплины

- изучение математических моделей антенн и устройств СВЧ;
- освоение современных численных методов и программных продуктов для расчета антенн и устройств СВЧ.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции   | Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Запланированные результаты обучения  |
|--|---|--|
| ПК-1 Способен проводить исследования в целях совершенствования радиоэлектронных систем | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выполняет математическое и компьютерное моделирование радиоэлектронных систем с целью оптимизации их параметров  | знать:<br>- методы и алгоритм электродинамического моделирования антенн и устройств СВЧ.<br><br>уметь:<br>- выбрать метод моделирования для решения конкретной задачи, приводящий к решению с заданной точностью при минимальных затратах вычислительных и временных ресурсов. |
| ПК-2 Способен разрабатывать и модернизировать радиоэлектронные системы                 | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Использует средства компьютерного моделирования в целях модернизации и совершенствования радиоэлектронных систем | уметь:<br>- моделировать антенны и устройства СВЧ с целью анализа и оптимизации их параметров с использованием имеющихся средств исследований, включая стандартные пакеты прикладных программ.   |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радиотехнические системы (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.01 Радиотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации                                      | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   | Содержание самостоятельной работы/ методические указания                      |  |
|-------|---|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|---|--|
|       |   |                       |         | Контактная работа  |     |    |              |   |     |    | СР |                   |                                   |   |  |
|       |   |                       |         | Лек  | Лаб | Пр | Консультация |   | ИКР |    | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль |   |  |
| КПР   | ГК  | ИККП                  | ТК      |  |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   |   |  |
| 1     | 2   | 3                     | 4       | 5  | 6   | 7  | 8            | 9 | 10  | 11 | 12 | 13                | 14                                | 15  |  |
| 1     | Введение  | 19                    | 2       | 2  | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 17                | -                                 | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[2], стр. 3-17  |  |
| 1.1   | Введение  | 19                    |         | 2  | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 17                | -                                 |   |  |
| 2     | Обзор современного программного обеспечения расчета и проектирования антенн и СВЧ устройств | 26.7                  |         | 4  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 18.7                              | -   | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 2-15 |
| 2.1   | Обзор современного программного обеспечения расчета и проектирования антенн и СВЧ устройств | 26.7                  |         | 4  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 18.7                              | -   |  |
| 3     | Проектирование антенн и СВЧ устройств с помощью программы HFSS ANSYS и Savant               | 31                    |         | 5  | -   | 6  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 20                                | -   |  |
| 3.1   | Проектирование антенн и СВЧ устройств с помощью программы HFSS ANSYS и Savant               | 31                    |         | 5  | -   | 6  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 20                                | -   |  |
| 4     | Гибридное моделирование СВЧ-структур в HFSS   | 31                    | 5       | -  | 6   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 20                | -                                 | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 35-55 |  |

|     |   |              |           |   |           |   |   |   |            |             |    |   |  |
|-----|---|--------------|-----------|---|-----------|---|---|---|------------|-------------|----|---|--|
|     | ANSYS   |              |           |   |           |   |   |   |            |             |    |   |  |
| 4.1 | Гибридное моделирование СВЧ-структур в HFSS ANSYS | 31           | 5         | - | 6         | - | - | - | -          | -           | 20 | - |  |
|     | Зачет с оценкой                                   | 0.3          | -         | - | -         | - | - | - | 0.3        | -           | -  | - |  |
|     | <b>Всего за семестр</b>                           | <b>108.0</b> | <b>16</b> | - | <b>16</b> | - | - | - | <b>0.3</b> | <b>75.7</b> | -  | - |  |
|     | <b>Итого за семестр</b>                           | <b>108.0</b> | <b>16</b> | - | <b>16</b> | - | - | - | <b>0.3</b> | <b>75.7</b> | -  | - |  |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## **3.2 Краткое содержание разделов**

### 1. Введение

#### 1.1. Введение

Этапы развития систем автоматизированного проектирования (САПР). Развитие зарубежных САПР СВЧ. Разработка САПР СВЧ в СССР и СНГ. САПР СВЧ нелинейных схем. Средства проектирования и программные продукты последнего поколения. Программы на основе метода конечных элементов. Программы на основе метода конечных разностей во временной области. Программе на основе метода интегральных уравнений (метод моментов)..

### 2. Обзор современного программного обеспечения расчета и проектирования антенн и СВЧ устройств

#### 2.1. Обзор современного программного обеспечения расчета и проектирования антенн и СВЧ устройств

Современные коммерческие программы электродинамического моделирования на основе численных методов: HFSS Ansoft, CST MW Studio, FEKO..

### 3. Проектирование антенн и СВЧ устройств с помощью программы HFSS ANSYS и Savant

#### 3.1. Проектирование антенн и СВЧ устройств с помощью программы HFSS ANSYS и Savant

Программа HFSS Ansoft. Расчет рупорных антенн с помощью программы HFSS Ansoft. Расчет и оптимизация микрополосковых конструкций с помощью программы HFSS Ansoft. Расчет ближнего и дальнего поля антенн/ Расчет фильтров СВЧ. Расчет СВЧ задач с мультифизическим содержанием: движение частиц в электронной лампе, ЛБВ, тепловые процессы..

### 4. Гибридное моделирование СВЧ-структур в HFSS ANSYS

#### 4.1. Гибридное моделирование СВЧ-структур в HFSS ANSYS

Расчёт малошумящего СВЧ-усилителя. Расчёт нелинейных характеристик МШУ. Нелинейные модели СВЧ-транзисторов. Анализ однокаскадного усилителя, используя нелинейную модель СВЧ-транзистора. Моделирование смесителя. Моделирование радиотрактов.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Расчет рупорных антенн;
2. Расчет и оптимизация микрополосковых конструкций;
3. Расчет фильтров СВЧ;
4. Расчет режимов работы лампы бегущий волны;
5. Расчет ближнего и дальнего поля антенн;
6. Расчет рупорных, патч-антенн и делителей мощности на микрополосковых линиях.

## **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине<br>(в соответствии с разделом 1)  | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) |   |   |   | Оценочное средство (тип и наименование)   |
|---|------------------|---|---|---|---|---|
|   |                  | 1   | 2 | 3 | 4 |   |
| <b>Знать:</b>   |                  |   |   |   |   |   |
| методы и алгоритм электродинамического моделирования антенн и устройств СВЧ   | ИД-2ПК-1         | +   | + |   |   | Тестирование/Тест «Основные методы и алгоритмы вычислительной электродинамики»  |
| <b>Уметь:</b>   |                  |   |   |   |   |   |
| выбрать метод моделирования для решения конкретной задачи, приводящий к решению с заданной точностью при минимальных затратах вычислительных и временных ресурсов                 | ИД-2ПК-1         |   | + | + |   | Контрольная работа/Контрольная работа "Расчет излучения рупорной антенны в пакетах прикладных программ"<br>Тестирование/Тест «Этапы моделирования антенн и устройств СВЧ в пакетах прикладных программ»   |
| моделировать антенны и устройства СВЧ с целью анализа и оптимизации их параметров с использованием имеющихся средств исследований, включая стандартные пакеты прикладных программ | ИД-2ПК-2         |   |   | + | + | Контрольная работа/Контрольная работа «Оптимизация параметров делителя мощности в микрополосковом исполнении в пакетах прикладных программ»<br>Расчетно-графическая работа/Расчетное задание «Расчет в пакетах прикладных программ антенных задач с включением дискретных активных элементов» |



#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**2 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Контрольная работа "Расчет излучения рупорной антенны в пакетах прикладных программ" (Контрольная работа)
2. Контрольная работа «Оптимизация параметров делителя мощности в микрополосковом исполнении в пакетах прикладных программ» (Контрольная работа)
3. Расчетное задание «Расчет в пакетах прикладных программ антенных задач с включением дискретных активных элементов» (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Тест «Основные методы и алгоритмы вычислительной электродинамики» (Тестирование)
2. Тест «Этапы моделирования антенн и устройств СВЧ в пакетах прикладных программ» (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №2)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о больно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и зачетной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Гибридное моделирование СВЧ структур в HFSS ANSYS : [учебное пособие] / Моск. энерг. ин-т (МЭИ), Ин-т радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Моск. энерг. ин-та (ТУ), Кафедра радиотехнических приборов и антенных систем (РТП и АС) ; ред. А. А. Курушин . – Москва : Сам Полиграфист, 2020 . – 348 с. - ISBN 978-5-00166-163-4 .;
2. С. Е. Банков, А. А. Курушин, В. Д. Разевиг- "Анализ и оптимизация СВЧ-структур с помощью HFSS", (2-е изд., доп.), Издательство: "СОЛОН-ПРЕСС", Москва, 2009 - (216 с.) <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=117711>.

##### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Ansys / CAE Fidesy;
5. Майнд Видеоконференции.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения   | Номер аудитории, наименование             | Оснащение  |
|---|---|--|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | Е-614, Компьютерный класс каф. "РТП и АС" | стол, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер |
|   | Ж-120, Машинный зал ИВЦ                   | сервер, кондиционер  |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | Е-614, Компьютерный класс каф. "РТП и АС" | стол, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер |
|   | Ж-120, Машинный зал ИВЦ                   | сервер, кондиционер  |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации               | Е-614, Компьютерный класс каф. "РТП и АС" | стол, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер |
|   | Ж-120, Машинный зал ИВЦ                   | сервер, кондиционер  |
| Помещения для самостоятельной работы                                    | Е-614, Компьютерный класс каф. "РТП и АС" | стол, стол компьютерный, стул, шкаф для документов, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный, кондиционер |
| Помещения для консультирования  | Е-612, Учебная аудитория каф. "РТП и АС"  | парта со скамьей, стол компьютерный, стул, вешалка для одежды, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный   |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря                | Е-800/7, Архив каф. "РТП и АС"            | стол, стул, шкаф для документов, вешалка для одежды, холодильник   |



## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Автоматизированное проектирование антенн и устройства СВЧ на базе современных математических пакетов

(название дисциплины)

#### 2 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Тест «Основные методы и алгоритмы вычислительной электродинамики» (Тестирование)
- КМ-2 Тест «Этапы моделирования антенн и устройств СВЧ в пакетах прикладных программ» (Тестирование)
- КМ-3 Контрольная работа "Расчет излучения рупорной антенны в пакетах прикладных программ" (Контрольная работа)
- КМ-4 Контрольная работа «Оптимизация параметров делителя мощности в микрополосковом исполнении в пакетах прикладных программ» (Контрольная работа)
- КМ-5 Расчетное задание «Расчет в пакетах прикладных программ антенных задач с включением дискретных активных элементов» (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины   | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|------|
|               |   | Неделя КМ: | 4    | 6    | 8    | 12   | 15   |
| 1             | Введение  |            |      |      |      |      |      |
| 1.1           | Введение  |            | +    |      |      |      |      |
| 2             | Обзор современного программного обеспечения расчета и проектирования антенн и СВЧ устройств |            |      |      |      |      |      |
| 2.1           | Обзор современного программного обеспечения расчета и проектирования антенн и СВЧ устройств |            | +    | +    | +    |      |      |
| 3             | Проектирование антенн и СВЧ устройств с помощью программы HFSS ANSYS и Savant               |            |      |      |      |      |      |
| 3.1           | Проектирование антенн и СВЧ устройств с помощью программы HFSS ANSYS и Savant               |            |      | +    | +    | +    | +    |
| 4             | Гибридное моделирование СВЧ-структур в HFSS ANSYS   |            |      |      |      |      |      |
| 4.1           | Гибридное моделирование СВЧ-структур в HFSS ANSYS   |            |      |      |      | +    | +    |
| Вес КМ, %:    |   |            | 10   | 10   | 25   | 25   | 30   |