

БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВОЕНМЕХ» ИМ. Д.Ф. УСТИНОВАРАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
УСТРОЙСТВА СВЧ И АНТЕННЫ

|   |   |
|---|---|
| Направление/специальность подготовки        | 11.05.01 Радиозлектронные системы и комплексы |
| Специализация/профиль/ программа подготовки | Радиолокационные системы и комплексы          |
| Уровень высшего образования                 | Специалитет                                   |
| Форма обучения                              | Очная   |
| Факультет                                   | И Информационных и управляющих систем         |
| Выпускающая кафедра                         | И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ        |
| Кафедра-разработчик рабочей программы       | И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ        |

| КУРС | СЕМЕСТР | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ<br>(ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ) | ЧАСЫ (по наличию видов занятий) |                    |        |                           |                         |                        |                 |                 |                               | ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО<br>КОНТРОЛЯ |
|------|---------|---|---------------------------------|--------------------|--------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|
|      |         |   | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ              | АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ |        |                           |                         | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА |                 |                 |                               |                                |
|      |         |   |                                 | ВСЕГО              | ЛЕКЦИИ | ЛАБОРАТОРНЫЙ<br>ПРАКТИКУМ | ПРАКТИЧЕСКИЕ<br>ЗАНЯТИЯ | ВСЕГО                  | КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | КУРСОВАЯ РАБОТА | ДРУГИЕ ВИДЫ<br>САМОСТ. РАБОТЫ |                                |
| 3    | 6       | 4                                       | 144                             | 85                 | 34     | 17                        | 34                      | 59                     | 0               | 0               | 59                            | ЭКЗ.                           |

Начальник отдела основных образовательных программ  
Гусина А.А.


## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

### 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Программу составил:

Кафедра И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
Флёрова Анастасия Александровна, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_

Эксперт:

Ярмолин А.Г., вед. науч. сотр ОАО «Виркоавионика»



Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Заведующий кафедрой Страхов С.Ю., д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры рабочей программы

**И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Заведующий кафедрой Страхов С.Ю., д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_

**ФАКУЛЬТЕТ "И" ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ**

Декан Страхов С.Ю., д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ УСТРОЙСТВА СВЧ И АНТЕННЫ**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Оценочные средства и методики их применения
- Приложение 4. Лист изменений, вносимых в рабочую программу

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

|   |
|---|
| ПСК-12 — способность осуществлять испытания радиоэлектронных систем и комплексов, анализировать их результаты   |
| ПСК-5 — способность выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ  |
| ОПК-2 — способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа принятия решения |
| ОПК-5 — способность выполнять опытно-конструкторские работы с учетом требований нормативных документов в области радиоэлектронной техники и информационно-коммуникационных технологий                                       |
| ОПК-6 — способность учитывать существующие и перспективные технологии производства радиоэлектронной аппаратуры при выполнении научно-исследовательской опытно-конструкторских работ   |

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-12**

*знания:*

принципов исследования и разработки новых антенных систем, активных и пассивных устройств СВЧ, в том числе управляющих, фазированных, экранирующих и других, с существенно улучшенными параметрами, а также интегрированных схем СВЧ новых поколений;

*умения:*

выполнять исследования новых процессов и явлений в радиотехнике, позволяющих повысить эффективность радиоэлектронных систем и устройств;

*навыки:*

генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач теории и техники антенн и устройств СВЧ.

### **ПСК-5**

*знания:*

методов анализа, проектирования и оптимизации антенных систем и СВЧ устройств с использованием новейших пакетов прикладных программ;

*умения:*

проводить численное моделирование и проектирование устройств СВЧ и антенн с использованием новейших пакетов прикладных программ;

*навыки:*

сравнительного анализа разных технических решений при разработке устройств СВЧ и антенн.

### **ОПК-2**

*знания:*

принципов функционирования устройств СВЧ и антенн;

*умения:*

разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальные схемы радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ;

*навыки:*

разработки схем СВЧ трактов.

### **ОПК-5**

*знания:*

- стандартов в области разработки и постановки изделий на производство, общих технических требований, контроля качества продукции, единой системы конструкторской документации (ЕСКД);

- основных сведений о строении и свойствах конструкционных материалов, типов радиокомпонентов, их основных конструктивных и эксплуатационных характеристик;

*умения:*

- работать с проектной, конструкторской и технической документацией;

- применять инструментальные и программные средства для составления документации по техническому сопровождению в ходе эксплуатации радиоэлектронного оборудования;

*навыки:*

- разработки нормативной документации по эксплуатации и техническому обслуживанию радиоэлектронного оборудования;

- настройки и регулировки узлов радиотехнических устройств и систем, контроля параметров надежности работы радиоэлектронного оборудования, проведения тестовых проверок;
- подготовки технологической и отчетной документации по результатам работ.

#### **ОПК-6**

*знания:*

- типовых узлов и элементов, их электрических моделей и конструкций;
- экспериментального исследования и автоматизированного проектирования устройств СВЧ и антенн;
- проблем электромагнитной совместимости;
- современных методик проектирования СВЧ устройств;

*умения:*

- разрабатывать техническое задание на проектирование антенн и устройств СВЧ;
- основные программы компьютерного моделирования антенн и СВЧ устройств;

*навыки:*

измерения основных характеристик и параметров антенн.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **УСТРОЙСТВА СВЧ И АНТЕННЫ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН, ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЭС, ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
- ОПК-2 — Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа принятия решения
- ОПК-4 — Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных
- ОПК-6 — Способен учитывать существующие и перспективные технологии производства радиоэлектронной аппаратуры при выполнении научно-исследовательской опытно-конструкторских работ

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

| КУРС | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц   | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме |        |                        |                      | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % |       |       |       |       |
|------|---------|--|-------|---------------------------------------|--------|------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|      |         |  |       | ВСЕГО                                 | Лекции | Лабораторный практикум | Практические занятия |                                  | ПСК-12                     | ПСК-5 | ОПК-2 | ОПК-5 | ОПК-6 |
| 3    | 6       | Раздел 1. Введение. Роль и значение устройств СВЧ и антенн в различных областях науки и техники, необходимость изучения дисциплины в рамках данной специальности. Техника безопасности при работе с источниками СВЧ-энергии.   | 4     | 2                                     | 2      | 0                      | 0                    | 2                                | 10                         | 10    | 15    | 10    | 15    |
| 3    | 6       | Раздел 2. Устройства СВЧ. 2.1 Элементы линии передачи и согласующие устройства. Основные электрические характеристики линии передачи. Нересгулярности в линиях передачи. Согласующие устройства, соединения, трансформаторы типов волн, подвижные и вращающиеся соединения. 2.2 Матричная теория цепей СВЧ. Волновые матрицы рассеяния и передачи. 2.3 Трехплечие соединения. Симметричный H – тройник. Согласованные тройники в плоскостях E и H. Кольцевой резистивный делитель. 2.4 Четырехплечие соединения. Направленные ответвители. Мосты. 2.5 Частотно-избирательные фильтры СВЧ. Классификация и принципы построения фильтров. Понятие о методах расчета фильтров СВЧ. 2.6 Коммутирующие и фазировочные устройства СВЧ. Механические аттенюаторы и фазовращатели. Электрически управляемые аттенюаторы и фазовращатели. Механические коммутаторы и переключатели. 2.7 Ферритовые устройства СВЧ. Явления в подмагниченных ферритах на СВЧ. Циркуляторы, фазовращатели, вентили, перестраиваемые фильтры на ферритах.  | 42    | 32                                    | 6      | 2                      | 24                   | 10                               | 20                         | 20    | 15    | 20    | 20    |
| 3    | 6       | Раздел 3. Основы теории антенн. 3.1 Излучение электромагнитных волн. Электродинамические основы. Элементарный электрический излучатель. Принцип перестановочной двойственности. Элементарный магнитный излучатель. Излучатель Гюйгенса. Антенна как система элементарных излучателей. 3.2 Характеристики и параметры передающих и приемных антенн. Диаграммы направленности, сопротивление излучения, входное сопротивление, коэффициент полезного действия, коэффициент направленного действия, коэффициент усиления, характеристики антенных обтекателей. Принцип взаимности и его применение для анализа приемных антенн. 3.3 Излучение вибраторов. Симметричный электрический вибратор. Щелевой вибратор. 3.4 Системы связанных излучателей. Решетка излучателей. Теорема умножения диаграмм направленности. Примодельные излучающие системы. Равноамплитудные системы излучателей. Эквидистантная линейная система излучателей с оптимальным амплитудным распределением. Несквидистантная антенная решетка. Задача синтеза антенн. 3.5 Плоские решетки и апертуры. Направленные свойства плоских антенных решеток и апертур. Излучения из синфазного прямоугольного раскрытия. Влияние несинфазной на диаграмму направленности плоского раскрытия. Апертура антенны как пространственная входная характеристика радиосистемы. | 20    | 10                                    | 10     | 0                      | 0                    | 10                               | 15                         | 20    | 10    | 10    | 20    |
| 3    | 6       | Раздел 4. Антенные устройства. 4.1 Апертурные антенны (рупорные,   | 51    | 31                                    | 10     | 15                     | 6                    | 20                               | 15                         | 20    | 20    | 20    | 20    |

|                     |   |  |     |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
|---------------------|---|--|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     |   | линзовые и зеркальные). 4.2 Двухзеркальные антенны. 4.3 Антенны со специальной диаграммой направленности. 4.4 Волноводно-щелевые антенны. 4.5 Микрополосковые антенны. 4.6 Антенны бегущих волн. Антенны поверхностных волн.   |     |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
| 3                   | 6 | Раздел 5. Антенные решетки с электрическим сканированием и с обработкой сигнала. 5.1 Классификация антенных решеток и решаемые ими задачи. 5.2 Антенные решетки с электрическим сканированием. 5.3 Многолучевые антенные решетки. Антенные решетки с обработкой сигнала. 5.4 Антенны с синтезированной апертурой. 5.5 Цифровые антенные решетки. 5.6 Радиооптические антенные решетки. 5.7 Адаптивные АФР. 5.8 Понятие о САПР антенных систем. | 18  | 8  | 4  | 0  | 4  | 10 | 20  | 20  | 20  | 20  | 10  |
| 3                   | 6 | Раздел 6. Измерение параметров СВЧ колебаний. Контроль СВЧ блоков радиотехнических систем. 6.1 Измерение напряженности электромагнитного поля, мощности и частоты СВЧ колебаний. 6.2 Измерители поглощаемой и проходящей СВЧ мощности. 6.3 Контроль высокочастотных параметров радиопередатчиков, радиоприемных и фидерных устройств. 6.4 Основные методы автоматизированных измерений характеристик и параметров антенн                       | 9   | 2  | 2  | 0  | 0  | 7  | 20  | 10  | 20  | 20  | 15  |
| Всего за 6 семестр  |   |  | 144 | 85 | 34 | 17 | 34 | 59 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Всего по дисциплине |   |  | 144 | 85 | 34 | 17 | 34 | 59 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

### 3.2. Аудиторный практикум

| № п/п              | Номер и наименование раздела дисциплины  | Тема практического занятия  | Объем, ауд. часов |
|--------------------|--|---|-------------------|
| 1                  | Раздел 2. Устройства СВЧ.  | Основные электрические характеристики линий передачи. Расчет устройств согласования.              | 6                 |
| 2                  |  | Получение волновых матриц трех- и четырехплечих соединений.                                       | 6                 |
| 3                  |  | Расчет фильтров СВЧ.  | 6                 |
| 4                  |  | Проектирование фидерного тракта СВЧ-части типовой РЛС в волноводном и микрополосковом исполнении. | 6                 |
| 5                  | Раздел 4. Антенные устройства.   | Освоение методов расчета простых вибраторных антенн.  | 6                 |
| 6                  | Раздел 5. Антенные решетки с электрическим сканированием и с обработкой сигнала. | Расчет потенциала АФАР.   | 4                 |
| Всего за 6 семестр |  |   | 34                |

### 3.3. Лабораторный практикум

| № п/п              | Номер и наименование раздела дисциплины | Тема лабораторного практикума  | Объем, ауд. часов |
|--------------------|---|--|-------------------|
| 1                  | Раздел 2. Устройства СВЧ.               | Исследование волноводных четырехплечих соединений.   | 2                 |
| 2                  | Раздел 4. Антенные устройства.          | Исследование диаграмм направленности антенн сантиметрового и дециметрового диапазона волн. | 2                 |
| 3                  |   | Исследование диэлектрической антенны.  | 2                 |
| 4                  |   | Исследование полуволнового щелевого излучателя.  | 2                 |
| 5                  |   | Исследование многощелевой волноводной антенны.   | 2                 |
| 6                  |   | Исследование аттенюатора и коммутатора на р-и-п-диодах.                                    | 2                 |
| 7                  |   | Исследование апертурной антенны самолетного радиолокатора «Гроза».                         | 2                 |
| 8                  |   | Моделирование антенных систем.   | 3                 |
| Всего за 6 семестр |   |  | 17                |



### 3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

| № п/п              | Номер и наименование раздела дисциплины  | Содержание учебного задания   | Объем, часов |
|--------------------|--|---|--------------|
| 1                  | Раздел 1. Введение.  | Изучение особенностей дисциплины, знакомство с рекомендуемой литературой.   | 2            |
| 2                  | Раздел 2. Устройства СВЧ.  | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц 2.1-2.2 с использованием рекомендуемой литературы.   | 10           |
| 3                  | Раздел 3. Основы теории антенн.  | Подготовка к практическому и лабораторному занятиям; Подготовка к контрольной работе; Подготовка к коллоквиуму.   | 10           |
| 4                  | Раздел 4. Антенные устройства.   | Подготовка к практическому занятию; Изучение предусмотренных программой дидактических единиц 4.1-4.4 с использованием рекомендуемой литературы.                 | 20           |
| 5                  | Раздел 5. Антенные решетки с электрическим сканированием и с обработкой сигнала.           | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц 5.1-5.6 с использованием рекомендуемой литературы; Подготовка к практическому и лабораторным занятиям. | 10           |
| 6                  | Раздел 6. Измерение параметров СВЧ колебаний. Контроль СВЧ блоков радиотехнических систем. | Подготовка к контрольной работе и коллоквиуму; Изучение предусмотренных программой дидактических единиц 6.1-6.3 с использованием рекомендуемой литературы.      | 7            |
| Всего за 6 семестр |  |   | 59           |

### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| СЕМЕСТР | НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА |   |                     |          |   |                |     |                |     |                          |     |                |     |                |          |                     |           |
|---------|-----------------|---|---------------------|----------|---|----------------|-----|----------------|-----|--------------------------|-----|----------------|-----|----------------|----------|---------------------|-----------|
|         | 1               | 2 | 3                   | 4        | 5 | 6              | 7   | 8              | 9   | 10                       | 11  | 12             | 13  | 14             | 15       | 16                  | 17        |
| 6       | ЛР, Отч. по ЛР  |   | ЛР, Отч. по ЛР, ВПЗ | Контр.Р. |   | ЛР, Отч. по ЛР | ВПЗ | ЛР, Отч. по ЛР | ВПЗ | ЛР, Отч. по ЛР, Контр.Р. | ВПЗ | ЛР, Отч. по ЛР | ВПЗ | ЛР, Отч. по ЛР | Контр.Р. | ЛР, Отч. по ЛР, ВПЗ | Вопр. Экз |

Условные обозначения:

- ЛР – лабораторная работа;
- Отч. по ЛР – отчет по ЛР;
- ВПЗ – вопросы/задания по темам ПЗ;
- Контр.Р. – контрольная работа;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену.

**Текущая аттестация** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- лабораторная работа;
- отчет по ЛР;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- контрольная работа;
- вопросы к экзамену.

**Рубежная аттестация** студентов производится по итогам половины семестра в следующих формах:

- лабораторная работа;
- отчет по ЛР;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- контрольная работа.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. Н. Флёров, С. Ю. Страхов, А. А. Флёрова. Электродинамика и распространение радиоволн. СПб.БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 2020, 21 экз.
2. В. В. Смирнов, А. А. Сорокин, С. Ю. Страхов. Антенные решётки. СПб.БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 2014, 24 экз.
3. В. В. Смирнов, В. П. Смолин. Устройства СВЧ и антенны. СПб.БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 2012, 167 экз.
4. В. В. Смирнов, С. Ю. Страхов, Н. В. Сотникова. Исследование СВЧ-устройств и антенн. СПб.БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 2015, 33 экз.
5. Е. И. Нефёдов. Устройства СВЧ и антенны. М.: Академия, 2009, 16 экз.
6. Л. В. Шебалкова, В. Б. Ромодин. Электродинамика, антенны и СВЧ-устройства СБЛ. Новосибирск: НГТУ, 2020, эл. рес.
7. Л. И. Пономарёв, В. А. Вечтомов, А. С. Милосердов. Борговые цифровые многолучевые антенные решётки для систем спутниковой связи. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, эл. рес.
8. Ю. Е. Мительман, Р. Р. Абдуллин, С. Г. Сычугов. Антенны и устройства (свч): расчет и измерение характеристик. Москва: Юрайт, 2019, эл. рес.
9. Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. Антенны. Санкт-Петербург: Лань, 2020, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. Д. И. Воскресенский, В. И. Степаненко, В. С. Филиппов. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решёток. М.: Радиотехника, 2003, 3 экз.

### 5.3. Периодические издания:

1. Естественные и технические науки;
2. Моделирование и анализ информационных систем;
3. Радиотехника – XXI век.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <http://urait.ru> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
2. <http://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
3. <http://library.voenmeh.ru> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Matlab 2015a SP1;
2. Mathcad Prime 3.1.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Интерактивная доска;
2. Принтер HP-3100;
3. Matlab 2015a SP1.

### **6.3. Лабораторные занятия:**

1. Антенна измерительная;
2. Стенд для исследования многоцелевой антенны;
3. Стенд для исследования радиолинии передачи сигналов;
4. Стенд для исследования СВЧ-аттенюатора на pin-диоде;
5. Принтер HP-3100;
6. Стенд для исследования детекторной антенны;
7. Стенд для исследования рупорной антенны;
8. Matlab 2015a SP1;
9. Mathcad Prime 3.1.

### **6.4. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **УСТРОЙСТВА СВЧ И АНТЕННЫ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы*. Дисциплина реализуется на факультете И Информационных и управляющих систем БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.

Дисциплина нацелена на формирование компетенций:

ПСК-12 способность осуществлять испытания радиоэлектронных систем и комплексов, анализировать их результаты;

ПСК-5 способность выполнять математическое моделирование объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ;

ОПК-2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа принятия решения;

ОПК-5 способность выполнять опытно-конструкторские работы с учетом требований нормативных документов в области радиоэлектронной техники и информационно-коммуникационных технологий;

ОПК-6 способность учитывать существующие и перспективные технологии производства радиоэлектронной аппаратуры при выполнении научно-исследовательской опытно-конструкторских работ.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с теорией и техникой антенно-фидерных устройств, основами теории линий передач и представлением различные устройства СВЧ с использованием матричного исчисления их внешних характеристик. Рассматриваются вопросы построения и расчета различных типов антенн, в том числе СВЧ и антенных решеток.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущая аттестация** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- лабораторная работа;
- отчет по ЛР;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- контрольная работа;
- вопросы к экзамену.

**Рубежная аттестация** студентов производится по итогам половины семестра в следующих формах:

- лабораторная работа;
- отчет по ЛР;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- контрольная работа.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 з.е., **144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**59 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 85 ч. аудиторных занятий, и 59 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

| Наименование работы   | Рекомендуемая литература  | Трудоемкость, час. |
|---|---|--------------------|
| <b>Раздел 1. Введение.</b>  |   |                    |
| Изучение особенностей дисциплины, знакомство с рекомендуемой литературой.   | Е. И. Нефёдов. Устройства СВЧ и антенны: М.: Академия, 2009 (1, 2)<br>А. Н. Флёров, С. Ю. Страхов, А. А. Флёрова. Электродинамика и распространение радиоволн: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (1 - 4)  | 2                  |
| Итого по разделу 1  |   | 2                  |
| <b>Раздел 2. Устройства СВЧ.</b>  |   |                    |
| Изучение предусмотренных программой дидактических единиц 2.1-2.2 с использованием рекомендуемой литературы.                                     | Е. И. Нефёдов. Устройства СВЧ и антенны: М.: Академия, 2009 (2, 12 - 19)<br>Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. Антенны: Санкт-Петербург: Лань, 2020 (2 - 5)<br>А. Н. Флёров, С. Ю. Страхов, А. А. Флёрова. Электродинамика и распространение радиоволн: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (1 - 4)  | 10                 |
| Итого по разделу 2  |   | 10                 |
| <b>Раздел 3. Основы теории антенн.</b>  |   |                    |
| Подготовка к практическому и лабораторному занятиям; Подготовка к контрольной работе; Подготовка к коллоквиуму.                                 | Е. И. Нефёдов. Устройства СВЧ и антенны: М.: Академия, 2009 (23, 24)<br>Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. Антенны: Санкт-Петербург: Лань, 2020 (1 - 6)<br>В. В. Смирнов, С. Ю. Страхов, Н. В. Сотникова. Исследование СВЧ-устройств и антенн: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (1 - 4)<br>А. Н. Флёров, С. Ю. Страхов, А. А. Флёрова. Электродинамика и распространение радиоволн: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (1 - 4) | 10                 |
| Итого по разделу 3  |   | 10                 |
| <b>Раздел 4. Антенные устройства.</b>   |   |                    |
| Подготовка к практическому занятию; Изучение предусмотренных программой дидактических единиц 4.1-4.4 с использованием рекомендуемой литературы. | Е. И. Нефёдов. Устройства СВЧ и антенны: М.: Академия, 2009 (3 - 8)<br>Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. Антенны: Санкт-Петербург: Лань, 2020 (1 - 7)<br>В. В. Смирнов, В. П. Смолин. Устройства  | 20                 |

|  |   |    |
|--|---|----|
|  | СВЧ и антенны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012 (1 - 7)<br>Л. В. Шебалкова, В. Б. Ромодин.<br>Электродинамика, антенны и СВЧ-устройства СБЛ: Новосибирск: НГТУ, 2020 (1 - 9)   |    |
| Итого по разделу 4   |   | 20 |
| <b>Раздел 5. Антенные решетки с электрическим сканированием и с обработкой сигнала.</b>  |   |    |
| Изучение предусмотренных программой дидактических единиц 5.1-5.6с использованием рекомендуемой литературы; Подготовка к практическому и лабораторным занятиям. | В. В. Смирнов, А. А. Сорокин, С. Ю. Страхов. Антенные решетки: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1 - 5)<br>Д. И. Воскресенский, В. И. Степаненко, В. С. Филиппов. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток: М.: Радиотехника, 2003 (1 - 6)<br>Л. И. Пономарёв, В. А. Вечтомов, А. С. Милосердов. Бортовые цифровые многолучевые антенные решетки для систем спутниковой связи: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1 - 4) | 10 |
| Итого по разделу 5   |   | 10 |
| <b>Раздел 6. Измерение параметров СВЧ колебаний. Контроль СВЧ блоков радиотехнических систем.</b>  |   |    |
| Подготовка к контрольной работе и коллоквиуму; Изучение предусмотренных программой дидактических единиц 6.1-6.3 с использованием рекомендуемой литературы.     | Ю. Е. Мительман, Р. Р. Абдуллин, С. Г. Сычугов. Антенны и устройства (свч): расчет и измерение характеристик: Москва: Юрайт, 2019 (1 - 5)   | 7  |
| Итого по разделу 6   |   | 7  |

## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- вопросы/задания по темам ПЗ;
- лабораторная работа;
- отчет по ЛР;
- контрольная работа;
- вопросы к экзамену;
- экзамен.

### Критерии оценивания

#### Вопросы/задания по темам ПЗ

Отчет по заданию представляется в печатном виде в формате и содержит все необходимые расчеты и построенные графики. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

В случае если оформление отчета и поведение студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, студент получает максимальное количество баллов (по четырехбалльной системе). Основаниями для снижения количества баллов в диапазоне от 1 до 2 являются:

- небрежное выполнение;
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках),
- отсутствия необходимого графического материала.

Перечень вопросов:

Основные электрические характеристики линий передачи. Расчет устройств согласования.

Получение волновых матриц трех- и четырехплечих соединений.

Расчет фильтров СВЧ.

Проектирование фидерного тракта СВЧ-части типовой РЛС в волноводном и микрополосковом исполнении.

Освоение методов расчета простых вибраторных антенн.

Расчет потенциала АФАР.

#### Лабораторная работа

Допуск к выполнению ЛР происходит при условии наличия у студента печатной версии протокола по лабораторной работе. Протокол содержит титульный лист, описание лабораторной работы, чертежи схемы для сборки и исследования, таблицы для заполнения данными, заготовки для построения графиков.

#### Отчет по ЛР

Отчет по лабораторной работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по лабораторной работе. Отчет оформляется на основании протокола о выполнении ЛР, содержит (помимо информации из протокола) все необходимые расчеты и построенные графики, ответы на контрольные вопросы, выводы по работе. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

В случае если оформление отчета и поведение студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, студент получает максимальное количество баллов (по пятибалльной системе).

Основаниями для снижения количества баллов в диапазоне от 1 до 2 являются:

- небрежное выполнение;
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках),

Отчет не может быть принят и подлежит доработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов;
- отсутствия необходимого графического материала;
- некорректной обработки результатов измерений

#### Контрольная работа

Результаты выполнения каждой контрольной работы оцениваются по четырехбалльной шкале («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно»).

Контрольная работа №1 включает в себя два теоретических вопроса и задачу. Для получения оценки «удовлетворительно» необходимо полное и правильное решение задачи и развернутый ответ на один из теоретических вопросов. Более высокая оценка формируется с учетом ответов на второй теоретический вопрос.

Контрольные работы №2 и №3 включают в себя два теоретических вопроса. Для получения оценки «удовлетворительно» необходим развернутый ответ на один из теоретических вопросов. Более высокая оценка формируется с учетом ответов на второй теоретический вопрос.

### **Вопросы к экзамену**

Общие характеристики антенн и устройств СВЧ.

Элементы линий передачи и согласующие устройства. Основные электрические характеристики линии передачи.

Нерегулярности в линиях передачи. Согласующие устройства, соединения, трансформаторы типов волн, подвижные и вращающиеся соединения.

Матричная теория цепей СВЧ. Волновые матрицы рассеяния и передачи.

Симметричный H – тройник.

Согласованные тройники в плоскостях E и H.

Кольцевой резистивный делитель.

Направленные ответвители.

Мостовые устройства СВЧ.

Колебательные системы СВЧ. Объемные и квазистационарные резонаторы, резонаторы со стоячей волной. Плоскостные резонаторы.

Частотно-избирательные фильтры СВЧ. Классификация и принципы построения фильтров. Понятие о методах расчета фильтров СВЧ.

Коммутирующие и фазирующие устройства СВЧ. Механические аттенюаторы и фазовращатели.

Электрически управляемые аттенюаторы и фазовращатели. Механические коммутаторы и переключатели.

Ферритовые устройства СВЧ. Явления в подмагниченных ферритах на СВЧ. Циркуляторы СВЧ, фазовращатели СВЧ, вентили СВЧ, перестраиваемые фильтры на ферритах.

Элементарный электрический излучатель. Принцип перестановочной двойственности. Элементарный магнитный излучатель. Излучатель Гюйгенса.

Антенна как система элементарных излучателей.

Характеристики и параметры передающих и приемных антенн (диаграммы направленности, сопротивление излучения, входное сопротивление, коэффициент полезного действия, коэффициент направленного действия, коэффициент усиления, характеристики антенных обтекателей).

Принцип взаимности и его применение для анализа приемных антенн.

Симметричный электрический вибратор.

Щелевой вибратор.

Решетка излучателей. Теорема умножения диаграмм направленности.

Прямолинейные излучающие системы.

Равноамплитудные системы излучателей.

Эквидистантная линейная система излучателей с оптимальным амплитудным распределением.

Неэквидистантная антенная решетка.

Задача синтеза антенн.

Направленные свойства плоских антенных решеток и апертур.

Излучения из синфазного прямоугольного раскрытия.

Апертура антенны как пространственная входная характеристика радиосистемы. Излучатель в виде открытого конца волновода.

Секториальные рупорные антенны.

Пирамидальный и конический рупоры.

Линзовые антенны.

Зеркальные антенны.

Антенны со специальной диаграммой направленности.

Волноводно-щелевые антенны.

Микрополосковые антенны.

Антенны бегущих волн.

Антенны поверхностных волн.

### **Экзамен**

Экзамен включает в себя ответы на теоретические вопросы.

– оценки «отлично» заслуживает студент: обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание программного материала, свободное владение профессиональной терминологией; демонстрирующий исчерпывающее, последовательное, обоснованное и логически стройное изложение



ответа без ошибок; показавший умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Студент готов отвечать на дополнительные вопросы.

– оценки «хорошо» заслуживает студент: обнаруживший полное знание программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе; демонстрирующий владение профессиональной терминологией на достаточном уровне; показавший грамотное и логичное изложение ответа, без существенных ошибок, но недостаточно систематизированное и последовательное. Студент испытывает затруднения при ответе на дополнительные вопросы.

– оценки «удовлетворительно» заслуживает студент: обнаруживший знание основного программного материала в объёме, необходимом для дальнейшей учёбы и предстоящей работы по профессии; справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой.

– оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий.

Паспорт фонда оценочных средств

| КУРС                | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц   | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме |        |                        |                      | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % |       |       |       |       | НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА   |
|---------------------|---------|--|-------|---------------------------------------|--------|------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|--|
|                     |         |  |       | ВСЕГО                                 | Лекции | Лабораторный практикум | Практические занятия |                                  | ПСК-12                     | ПСК-5 | ОПК-2 | ОПК-5 | ОПК-6 |  |
|                     |         |  |       |                                       |        |                        |                      |                                  |                            |       |       |       |       |  |
| 3                   | 6       | Раздел 1. Введение.  | 4     | 2                                     | 2      | 0                      | 0                    | 2                                | 10                         | 10    | 15    | 10    | 15    | Вопросы/ задания по темам ПЗ   |
| 3                   | 6       | Раздел 2. Устройства СВЧ.  | 42    | 32                                    | 6      | 2                      | 24                   | 10                               | 20                         | 20    | 15    | 20    | 20    | Лабораторная работа, Отчет по ЛР, Вопросы/ задания по темам ПЗ, Контрольная работа |
| 3                   | 6       | Раздел 3. Основы теории антенн.  | 20    | 10                                    | 10     | 0                      | 0                    | 10                               | 15                         | 20    | 10    | 10    | 20    | Контрольная работа   |
| 3                   | 6       | Раздел 4. Антенные устройства.   | 51    | 31                                    | 10     | 15                     | 6                    | 20                               | 15                         | 20    | 20    | 20    | 20    | Вопросы/ задания по темам ПЗ, Лабораторная работа, Отчет по ЛР                     |
| 3                   | 6       | Раздел 5. Антенные решетки с электрическим сканированием и с обработкой сигнала.           | 18    | 8                                     | 4      | 0                      | 4                    | 10                               | 20                         | 20    | 20    | 20    | 10    | Вопросы/ задания по темам ПЗ, Контрольная работа                                   |
| 3                   | 6       | Раздел 6. Измерение параметров СВЧ колебаний. Контроль СВЧ блоков радиотехнических систем. | 9     | 2                                     | 2      | 0                      | 0                    | 7                                | 20                         | 10    | 20    | 20    | 15    | Вопросы к экзамену   |
| Всего за 6 семестр  |         |  | 144   | 85                                    | 34     | 17                     | 34                   | 59                               | 100                        | 100   | 100   | 100   | 100   |  |
| Всего по дисциплине |         |  | 144   | 85                                    | 34     | 17                     | 34                   | 59                               | 100                        | 100   | 100   | 100   | 100   |  |