

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ»

**УТВЕРЖДАЮ**

Ректор

УО «Белорусская государственная  
академия авиации»

А.А.Шегидевич

« 08 » 12 2018 г.

УПД – ВОІ – 2017 – ЕНД- 134

**ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ  
РАДИОВОЛН**

**Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине  
для специальности:**

**1-37 04 03 «Беспилотные авиационные комплексы (по направлениям)»  
направление специальности:**

**1-37 04 03-02 «Беспилотные авиационные комплексы (гражданской  
авиации)»**

2018 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-37 04 03-2017 № 61 от 12.06.2017 г. и учебного плана, утвержденного 30.05.2017 г., рег. № 1.37 – 092 д/уч.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

С.В. Дайнеко, преподаватель кафедры естественнонаучных дисциплин Белорусской государственной авиации.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

В.Р. Соболев, заведующий кафедрой физики и методики преподавания физики Белорусского государственного педагогического университета им. М.Танка, д. ф. – м. н., профессор;

А.С. Рудницкий, профессор кафедры радиофизики и цифровых медиатехнологий факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ, д. ф. – м. н., профессор.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедра ЕНД (протокол от 27.12.2018 г. № 5);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусская государственная академия авиации» (протокол от 7.12.2018 г. № 4)

## РЕЦЕНЗИЯ

на учебную программу по дисциплине «Основы электродинамики и распространение радиоволн»

Программа дисциплины «Основы электродинамики и распространение радиоволн» составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-37 04 03-2017. Программа разработана в соответствии с Порядком разработки и утверждением учебных программ и программ практики для реализации содержания образовательных программ высшего образования от 30.04.15

Темы учебной программы и их вопросы расположены в логической последовательности, в порядке возрастания трудности. Практические работы ориентированы на развитие познавательных способностей курсантов и их самостоятельность.

Программа состоит из двух разделов. В первом разделе «Основные законы электромагнитного поля» логично и последовательно рассматриваются экспериментальные основы электромагнетизма, изучаются характеристики электромагнитного поля и электромагнитных волн. В нем рассматриваются методики и правила математического описания стационарного и переменного электромагнитного поля. Начинается раздел с повторения векторных математических операторов и базовых характеристик электростатического и стационарного магнитного поля, а затем переходит к комплексному описанию электромагнитного поля на основе системы уравнений Максвелла.

Второй раздел «Электромагнитные волны» посвящен вопросам распространения радиоволн в направляющих системах и свободном пространстве, отражения и преломления волн на границах раздела различных сред.

Рассматриваются простейшие направляющие системы и волноводы прямоугольной и круглой формы. В общем виде рассматривается отражение волн от земной поверхности и их взаимодействие с атмосферой и ионосферой.

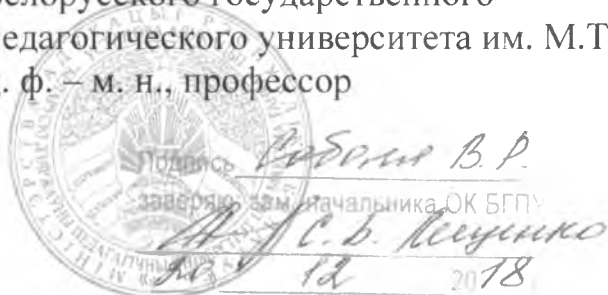
Все разделы и темы раскрыты достаточно всесторонне и полно. Курс сбалансирован в отношении пропорций лекций и практических занятий.

Предложенная программа отражает основные особенности изучения курса «Основы электродинамики и распространение радиоволн» и удовлетворяет современному уровню требований к подготовке кадров. Рассмотренная выше программа может быть рекомендована к исполнению.

Заведующий кафедрой физики  
и методики преподавания физики  
Белорусского государственного  
педагогического университета им. М.Танка  
д. ф. – м. н., профессор



В.Р.Соболь



## РЕЦЕНЗИЯ

на учебную программу

по дисциплине «Основы электродинамики и распространение радиоволн»

Программа дисциплины «Основы электродинамики и распространение радиоволн» составлена в соответствии с учебным планом I степени высшего образования. Все разделы и темы раскрыты достаточно всесторонне и полно.

Программа состоит из двух разделов. Первый раздел «Основные законы электромагнитного поля» начинается с введения формализма векторных математических операторов для изучения характеристик электростатического и стационарного магнитного поля. Затем осуществляется переход к комплексному описанию электромагнитного поля с помощью системы уравнений Максвелла. В разделе хорошо представлен математический аппарат для описания стационарного и переменного электромагнитного поля.

Второй раздел «Электромагнитные волны» посвящен вопросам распространения радиоволн в направляющих системах и свободном пространстве. Рассматриваются простейшие направляющие системы и волноводы прямоугольной и круглой формы. В общем виде рассматривается отражение волн от земной поверхности и процессы их распространения и поглощения в атмосфере и ионосфере.

Программа хорошо структурирована, изложена логично. Практические работы ориентированы в основном на самостоятельную работу курсантов.

Программа дисциплины «Основы электродинамики и распространение радиоволн» базируется на знаниях и навыках, полученных курсантами при изучении высшей математики и физики, в то же время дисциплина обеспечивает изучение профессиональных дисциплин, связанных с техническими вопросами радиоприема и радиопередачи для использования в навигации и связи.

При ознакомлении с образовательным стандартом и учебным планом специальности можно сделать вывод о пригодности программы для использования в учебном процессе учреждения образования Белорусская государственная академия авиации.

Профессор кафедры радиофизики  
и цифровых медиатехнологий  
факультета радиофизики и компьютерных технологий  
Белорусского государственного  
университета  
д. ф. – м. н., профессор



А.С.Рудницкий

## I. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель преподавания учебной дисциплины «Основы электродинамики и распространение радиоволн» (далее «ОЭД и РРВ»): показать роль и место теории электромагнитного поля и методов решения краевых задач электродинамики при анализе и проектировании современных линий радиосвязи, радиолокационных и радионавигационных систем.

Задачи изучения дисциплины: рассмотреть основы теории и основные закономерности распространения электромагнитных волн в различных средах; изучить общие методы расчета электромагнитных полей в свободном пространстве и направленных системах; рассмотреть влияние реальных условий распространения радиоволн на работу устройств связи, радиолокационного и радионавигационного оборудования; ознакомить с методикой и техникой измерений основных характеристик и параметров, характеризующих основные режимы работы различных линий передач.

«Основы электродинамики и распространение радиоволн» относится к числу основополагающих дисциплин и имеет большое значение в общей подготовке современного радиоинженера и является теоретической базой для изучения специальных дисциплин.

Изучая данную дисциплину, курсанты применяют знания, полученные в процессе изучения следующих дисциплин: «Высшая математика», «Физика», «Электротехника и электроника», в то же время дисциплина обеспечивает изучение следующих дисциплин учебного плана: «Авиационные антенно-фидерные устройства», «Радиоприемные и радиопередающие устройства», «Радионавигационные системы», «Системы связи», «Радионавигационные системы», «Устройство и эксплуатация средств связи и систем передачи данных БАК».

В результате изучения дисциплины курсант должен закрепить и развить следующие академические (АК) и социально-личностные (СЛК) компетенции, предусмотренные в образовательном стандарте ОСВО 1-37 04 03-2017 «Беспилотные авиационные комплексы»:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

СЛК-6. Уметь работать в коллективе.

Обладать следующими профессиональными компетенциями (ПК):

ПК-2. Обеспечивать организационные и инженерно-технические меры по безаварийной эксплуатации техники подразделения.

ПК-3. Принимать обоснованные технико-экономические решения при планировании летной и технической эксплуатации беспилотных авиационных комплексов.

ПК-7. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

ПК-8. Анализировать и оценивать собранные данные.

ПК-10. Готовить доклады, материалы к презентациям и представлять на них.

ПК-11. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-13. Разрабатывать и совершенствовать технологические процессы и документацию.

ПК-16. Внедрять эффективные инженерные решения в практику

ПК-21. Инсталлировать, настраивать и обслуживать системное, инструментальное и прикладное программное обеспечение, интеллектуальные и прикладные системы различного назначения.

ПК-31. Анализировать и исследовать методы и технологии, применяемые на всех этапах жизненного цикла беспилотных авиационных комплексов.

ПК-33. Разрабатывать планы, программы и методики исследования беспилотных авиационных комплексов.

ПК-34. Разрабатывать и исследовать методики анализа, синтеза, оптимизации и прогнозирования качества процессов функционирования беспилотных авиационных комплексов.

В результате изучения дисциплины курсант должен иметь образовательный уровень, который, в соответствии с Руководством по обучению ИКАО Doc 7192 A-1, необходим для изучения авиационных дисциплин.

В результате изучения учебной дисциплины курсант должен

знать: теорию электромагнитного поля и методы решения краевых задач электродинамики; закономерности распространения электромагнитных волн в однородных, неоднородных, изотропных и анизотропных средах; теорию направленных электромагнитных волн;

уметь: работать с научно-технической литературой, измерительной аппаратурой и вычислительной техникой при исследовании характеристик и параметров электромагнитных полей (волн) в направленных системах; рассчитывать параметры электромагнитных полей (волн) в свободном пространстве и направляющих системах; обосновывать требования к линиям передач электромагнитной энергии для определенных условий эксплуатации;

владеть: методами аналитического и численного нахождения характеристик и параметров электромагнитных полей в конкретных средах;

Форма получения высшего образования – очная.

В соответствии с учебным планом на изучение дисциплины «Основы электродинамики и распространение радиоволн» отводится 118 часов, в том числе – 54 часа аудиторных занятий. Распределение аудиторного времени по видам занятий и семестрам: в 4-ом семестре – 54 часа аудиторных занятий, из них: лекции – 24 часа, практические занятия – 28 часов, контрольная работа – 2 часа.

При изучении данной дисциплины используется такая форма текущей аттестации как экзамен.

## II. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### РАЗДЕЛ 1. Основы электродинамики

#### ТЕМА 1.1. Основные законы электромагнитного поля.

Электростатическое и магнитостатическое поля.

Вектор напряженности электрического поля и вектор электрической индукции. Вектор напряженности магнитного поля и вектор магнитной индукции. Диэлектрическая и магнитная проницаемости среды, удельная проводимость среды. Плотность тока проводимости. Ток смещения и полный ток. Графическое изображение электрического и магнитного полей.

Векторный анализ электромагнитного поля. Векторные операции. Оператор набла. Оператор Лапласа. Действия над векторами. Теорема Остроградского-Гаусса. Теорема Стокса.

Основные уравнения макроскопической электродинамики. Закон полного тока. Закон электромагнитной индукции. Закон сохранения заряда. Уравнение непрерывности. Сторонние источники электромагнитного излучения. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме.

Материальные уравнения. Граничные условия. Закон сохранения энергии. Классификация сред. Материальные уравнения. Идеальные проводники и идеальные диэлектрики. Относительность разделения сред на проводники и диэлектрики. Прямая и обратная задачи электродинамики. Граничные условия. Закон сохранения энергии для электромагнитного поля (теорема Умова-Пойнтинга). Вектор Пойнтинга.

Методы решения уравнений Максвелла для монохроматических электромагнитных полей. Электродинамические потенциалы.

Методы сведения уравнений Максвелла к волновым уравнениям. Сведение уравнений Максвелла к векторным волновым уравнениям для векторов  $E$  и  $H$ . Уравнения Гельмгольца для векторов электромагнитного поля. Решение векторных волновых уравнений через электродинамические потенциалы. Анализ основных свойств векторного волнового уравнения, понятие о волновом процессе. Принцип Гюйгенса-Френеля. Векторизованные формулы Кирхгофа.

#### ТЕМА 1.2. Электромагнитные волны.

Переход от сферической электромагнитной волны к плоской. Деление проводящих сред на диэлектрики, полупроводники и проводники. Плоские ЭМВ в непроводящей и проводящей средах. Фазовая скорость волны, коэффициент затухания и коэффициент фазы, волновое сопротивление среды. Поляризация плоских ЭМВ. Параметры поляризации. Суперпозиция плоских ЭМВ круговой поляризации. Вектор Пойнтинга эллиптически поляризованной плоской ЭМВ.

Элементарные излучатели и их основные типы. Принцип суперпозиции. Поле излучения элементарного электрического вибратора (диполя Герца).



Ближняя, промежуточная и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Принцип перестановочной двойственности уравнений Максвелла. Поле излучения элементарного магнитного излучателя (магнитного диполя Герца). Поле излучения элементарного поверхностного излучателя (источника Гюйгенса). Понятие о цилиндрических электромагнитных волнах.

Падение электромагнитной волны на плоскую границу раздела двух сред. Явления при падении ЭМВ на плоскую границу раздела двух сред и их характеристики. Угловые характеристики, закон Снеллиуса. Амплитудно-фазовые характеристики, анализ коэффициентов Френеля. Параллельная и перпендикулярная поляризации. Особенности преломления плоской ЭМВ в случае, когда вторая среда – проводящая. Потери энергии в проводнике, поверхностный эффект. Метод зеркальных изображений.

## РАЗДЕЛ 2. Распространение радиоволн

### ТЕМА 2.1. Направляющие системы.

Направляющие системы и направляемые электромагнитные волны. Классификация направляющих систем. Классификация направляемых волн. Основная задача теории регулярных волноводов. Критическая длина волны, критическая частота. Основная волна волновода, условие единственности основной волны. Длина волны в волноводе. Фазовая скорость. Групповая скорость.

Структура и свойства ЭМП в прямоугольном волноводе. Спектр типов волн прямоугольного волновода. Основная волна (типа  $H_{10}$ ) прямоугольного волновода, ее параметры. Волны высшего типа в прямоугольном волноводе. Конструкции прямоугольных волноводов. Выбор размеров поперечного сечения прямоугольных волноводов. Области применения прямоугольных волноводов.

Структура и свойства поля (ЭМП) в круглом волноводе. Спектр типов волн круглого волновода. Основная волна (типа  $H_{11}$ ) прямоугольного волновода, ее параметры. Эллиптические волноводы. Конструкции круглых и эллиптических волноводов. Области применения.

Пространственное распределение векторов поля (ЭМП) коаксиального волновода. Некоторые общие свойства волн типа ТЕМ. Электрические характеристики коаксиального волновода с волной ТЕМ. Конструкции коаксиальных волноводов и выбор поперечных размеров. Области применения коаксиальных волноводов.

Основные типы полей (ЭМП) в полосковой и микрополосковой линиях передач. Конструктивные особенности полосковых и микрополосковых линий передач. Области применения полосковых и микрополосковых волноводов.

Простейшие диэлектрические волноводы. Замедляющие системы. Плоский диэлектрический волновод. Круглый диэлектрический волновод. Световоды. Общие свойства и назначение замедляющих систем. Условие замедления ЭМВ в волноводе. Конструкции гладких и периодических

замедляющих систем: цилиндрические, однопроводные, спиральные, плоские линейные. Области применения замедляющих систем.

#### ТЕМА 2.2. Распространение радиоволн в пространстве.

Классификация радиоволн по способу распространения их вокруг Земли. Отражение радиоволн от земной поверхности; участок земной поверхности, существенный для отражения радиоволн. Допустимая высота неровностей поверхности Земли для зеркального отражения радиоволн. Поле излучателей, поднятых над поверхностью Земли, влияние земной поверхности на ДН антенны РЛС. Учет кривизны (сферичности) Земли в интерференционных формулах.

Строение атмосферы Земли. Состав и свойства тропосферы. Рефракция радиоволн в тропосфере и ее влияние на параметры радиосистем. Дисперсия и рассеяние радиоволн в тропосфере. Ослабление радиоволн в тропосфере. Дальнее тропосферное РРВ.

Общая характеристика ионосферы. Электрические параметры ионосферы. Дисперсия, поглощение, рефракция, вращение плоскости поляризации и двойное лучепреломление частоты ионосферы. Критические и максимальные частоты ионосферы. Влияние магнитного поля Земли на РРВ в ионосфере.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Для специальности 1-37 04 03 «Беспилотные авиационные комплексы (по направлениям)»

| Номер раздела, темы, занятия | Название раздела, темы, учебного занятия; перечень изучаемых вопросов   | Количество аудиторных часов |                                    |                      | самостоятельная работа | Методические пособия, средства обучения (оборудование, учебно-наглядные пособия и др.) | Литература | Формы контроля знаний  |
|------------------------------|---|-----------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------------|--|------------|------------------------|
|                              |   | Лекции                      | Практические (семинарские) занятия | Лабораторные занятия |                        |  |            |                        |
| 1                            | 2   | 3                           | 4                                  | 5                    | 6                      | 7  | 8          | 9                      |
| 1.                           | <b>ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ (60 ч.)</b>   | <b>12</b>                   | <b>16</b>                          |                      | <b>32</b>              |  |            |                        |
| 1.1.                         | <b>Основные законы электромагнитного поля (34 ч.)</b>   | <b>8</b>                    | <b>10</b>                          |                      | <b>16</b>              |  |            |                        |
| 1.1.1.                       | Электростатическое и магнитостатическое поля<br>1. Понятие и характеристики электромагнитного поля (ЭМП)<br>2. Характеристики среды распространения ЭМП<br>3. Графическое изображение электрического и магнитного полей | 2                           |                                    |                      |                        | Компьютерная презентация № 1   | [1]<br>[3] | опрос                  |
| 1.1.2.                       | Векторный анализ электромагнитного поля.<br>1. Дивергенция, ротор, градиент.<br>2. Теорема Остроградского-Гаусса<br>3. Теорема Стокса.  |                             | 2                                  |                      |                        | УМК  | [1]<br>[3] | Самостоятельная работа |
| 1.1.3.                       | Электростатическое поле.<br>1. Расчет напряженности электростатических полей<br>2. Расчет потенциала электростатических полей   |                             | 2                                  |                      |                        | УМК  | [1]<br>[3] | Самостоятельная работа |
| 1.1.4.                       | Магнитное поле.<br>1. Расчет напряженности магнитного поля<br>2. Расчет индуктивности   |                             | 2                                  |                      |                        | УМК  | [1]<br>[3] | Самостоятельная работа |
| 1.1.5.                       | Основные уравнения макроскопической электродинамики<br>1. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме<br>2. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме  | 2                           |                                    |                      |                        | Компьютерная презентация № 3   | [1]<br>[3] |                        |

| 1      | 2   | 3        | 4        | 5 | 6         | 7                            | 8          | 9                      |
|--------|---|----------|----------|---|-----------|------------------------------|------------|------------------------|
| 1.1.6. | Материальные уравнения. Граничные условия. Закон сохранения энергии<br>1. Классификация сред<br>2. Прямая и обратная задачи электродинамики<br>3. Закон сохранения энергии для ЭМП  | 2        |          |   |           | Компьютерная презентация № 4 | [1]<br>[3] | опрос                  |
| 1.1.7. | Переменное электромагнитное поле<br>1. Расчет электромагнитного поля в вакууме<br>2. Расчет электромагнитного поля в проводящей среде   |          | 2        |   |           | УМК                          | [1]<br>[3] | Самостоятельная работа |
| 1.1.8. | Закон сохранения энергии ЭМП<br>1. Определение плотности энергии электрического поля<br>2. Определение плотности энергии магнитного поля  |          | 2        |   |           | УМК                          | [1]<br>[3] | Самостоятельная работа |
| 1.1.9. | Методы решения уравнений Максвелла для монохроматических электромагнитных полей<br>1. Методы сведения уравнений Максвелла к волновым уравнениям<br>2. Сведение уравнений Максвелла к векторным волновым уравнениям для векторов E и H | 2        |          |   |           | Компьютерная презентация № 6 | [1]<br>[3] | опрос                  |
| CP1    | Закон Ома в дифференциальной форме.<br>1. Вывод закона Ома.<br>2. Границы применимости.   |          |          |   | 8         | УМК                          |            | реферат                |
| CP2    | Магнитное поле рамки с постоянным током.<br>1. Понятие элементарной рамки.<br>2. Зависимость поля от расстояния.  |          |          |   | 8         | УМК                          |            | реферат                |
| 1.2.   | <b>Электромагнитные волны (26 ч.).</b>  | <b>4</b> | <b>6</b> |   | <b>16</b> |                              |            |                        |
| 1.2.1. | Плоские электромагнитные волны<br>1. Плоские ЭМВ в проводящих и непроводящих средах<br>2. Поляризация плоских ЭМВ<br>3. Плоские электромагнитные волны в анизотропных и неоднородных средах   | 2        |          |   |           | Компьютерная презентация     | [1]<br>[3] | опрос                  |
| 1.2.2. | Плоские электромагнитные волны<br>1. расчет параметров электромагнитной волны<br>2. расчет параметров среды распространения радиоволн.  |          | 2        |   |           | УМК                          | [1]<br>[3] | Самостоятельная работа |

| 1      | 2  | 3         | 4         | 5 | 6         | 7                        | 8          | 9                              |
|--------|--|-----------|-----------|---|-----------|--------------------------|------------|--------------------------------|
| 1.2.3. | Излучение электромагнитных волн.<br>1. Электрический вибратор<br>2. Поле в ближней зоне<br>3. Поле в дальней зоне  |           | 2         |   |           | УМК                      | [1]<br>[3] | Самостоя-<br>тельная<br>работа |
| 1.2.4. | Падение электромагнитной волны на плоскую границу раздела двух сред<br>1. Явления при падении ЭМВ на плоскую границу раздела двух сред и их характеристики<br>2. Закон Снеллиуса. Формулы Френеля<br>3. Анализ коэффициентов Френеля | 2         |           |   |           | Компьютерная презентация | [1]<br>[3] | опрос                          |
| 1.2.5. | Исследование явлений отражения и преломления плоских электромагнитных волн<br>1. Изучение законов отражения и преломления ЭМВ<br>2. Получение графических результатов падения ЭМВ на границу раздела двух сред                       |           | 2         |   |           | УМК                      | [1]<br>[3] | Самостоя-<br>тельная<br>работа |
| СР3    | Распространение электромагнитных волн в диэлектрике.<br>1. Классификация сред.<br>2. Распространение в идеальном диэлектрике.  |           |           |   | 8         | УМК                      |            | реферат                        |
| СР4    | Распространение волн среде с потерями.<br>1. Фазовая и групповая скорость.<br>2. Поверхностный эффект.   |           |           |   | 8         | УМК                      |            | реферат                        |
|        | Контрольная работа по теме «Основы электродинамики»  |           |           |   |           |                          |            |                                |
| 2.     | <b>РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН (56 ч.)</b>   | <b>12</b> | <b>12</b> |   | <b>32</b> |                          |            |                                |
| 2.1.   | <b>Направляющие системы (34 ч.)</b>  | <b>8</b>  | <b>10</b> |   | <b>16</b> |                          |            |                                |
| 2.1.1. | Направляющие системы<br>1. Классификация направляющих систем<br>2. Классификация волн<br>3. Критическая длина волны, критическая частота<br>4. Длина волны в волноводе   | 2         |           |   |           | Компьютерная презентация | [1]        | опрос                          |
|        | Длинные линии<br>1. Распределенные параметры.<br>2. Телеграфные уравнения.<br>3. Согласование линии с нагрузкой.   |           |           |   | 8         |                          |            |                                |

| 1      | 2   | 3 | 4 | 5 | 6 | 7                        | 8          | 9                      |
|--------|---|---|---|---|---|--------------------------|------------|------------------------|
| 2.1.2  | <p>Прямоугольный волновод</p> <p>1. Выбор размеров поперечного сечения прямоугольных волноводов</p> <p>2. Спектр типов волн прямоугольного волновода</p> <p>3. Основная волна (типа <math>H_{10}</math>) прямоугольного волновода</p>   | 2 |   |   |   | Компьютерная презентация | [1]        | опрос                  |
| 2.1.3. | <p>Прямоугольный волновод</p> <p>1.Определение размеров прямоугольного волновода</p> <p>2.Определение коэффициента затухания прямоугольного волновода.</p>  |   | 2 |   |   |                          |            |                        |
| CP5    | <p>Основная волна в прямоугольном волноводе.</p> <p>1.Структура поля прямоугольного волновода.</p> <p>2.Волны высших типов.</p>   |   |   |   | 8 | УМК                      |            | реферат                |
| 2.1.4. | <p>Круглый и коаксиальный волновод</p> <p>1. Структура и свойства ЭМП в круглом и коаксиальном волноводе</p> <p>2. Электрические характеристики коаксиального волновода с волной TEM</p> <p>3. Конструкции круглых и эллиптических волноводов</p>                                 | 2 |   |   |   | Компьютерная презентация | [1]        |                        |
| 2.1.5. | <p>Круглый волновод</p> <p>1.Определение размеров круглого волновода</p> <p>2.Определение коэффициента затухания круглого волновода.</p>  |   | 2 |   |   |                          |            |                        |
| 2.1.6. | <p>Полосковые и микрополосковые волноводы</p> <p>1. Основные типы полей (ЭМП) в полосковой и микрополосковой линиях передач</p> <p>2. Конструктивные особенности полосковых и микрополосковых линий передач</p> <p>3. Диэлектрические волноводы</p> <p>4. Замедляющие системы</p> | 2 |   |   |   | Компьютерная презентация | [1]        |                        |
| 2.1.7. | <p>Объемные резонаторы</p> <p>1.Виды объемных резонаторов.</p> <p>2.Цилиндрический резонатор.</p>   |   | 2 |   |   | УМК                      | [1]<br>[3] | Самостоятельная работа |

| 1      | 2   | 3         | 4         | 5 | 6         | 7                        | 8          | 9                              |
|--------|---|-----------|-----------|---|-----------|--------------------------|------------|--------------------------------|
| 2.1.8. | Объемные резонаторы<br>1.Торовидный резонатор.<br>2.Добротность резонаторов.  |           | 2         |   |           | УМК                      | [1]<br>[3] | Самостоя-<br>тельная<br>работа |
| 2.1.9. | Дифракция и интерференция электромагнитных волн<br>1. Задача дифракции электромагнитных волн.<br>2. Задача интерференции электромагнитных волн  |           | 2         |   |           | УМК                      | [1]<br>[3] | Самостоя-<br>тельная<br>работа |
| 2.2.   | <b>Распространение радиоволн в пространстве(22 ч.)</b>  | <b>4</b>  | <b>2</b>  |   | <b>16</b> |                          |            |                                |
| 2.2.1  | Отражение радиоволн от земной поверхности<br>1.Диапазон электромагнитных волн<br>2. Участок земной поверхности, существенный для отражения радиоволн  | 2         |           |   |           | Компьютерная презентация | [1]<br>[2] |                                |
| 2.2.2. | Распространение радиоволн в атмосфере<br>1.Ослабление радиоволн в тропосфере<br>2. Ионосферная рефракция радиоволн.<br>3. Особенности распространения ионосферных волн различных диапазонов | 2         |           |   |           | Компьютерная презентация | [1]<br>[2] |                                |
| 2.2.3. | Распространение радиоволн<br>1. Расчет параметров антенн.<br>2. Расчет и построение зоны видимости РЛС  |           | 2         |   |           | УМК                      | [1]<br>[3] | тест                           |
| СР6    | Критерий Рэлея.<br>1.Отражение радиоволн.<br>2.Высота неровностей.  |           |           |   | 8         | УМК                      |            | реферат                        |
| СР7    | Строение ионосферы.<br>1.Структура ионосферы.<br>2.Взаимодействие ионосферы с радиоволнами<br>3.Суточные различия ионосферы   |           |           |   | 6         | УМК                      |            | реферат                        |
| СР8    | Модель радиотрассы с высокоподнятыми антеннами<br>1.Вывод формулы Введенского.<br>2.Ограничения применения модели.  |           |           |   | 2         | УМК                      |            | реферат                        |
| 2.2.4. | Контрольная работа по теме «Распространение радиоволн»  |           |           |   |           |                          |            |                                |
| 2.2.5. | Итоговая контрольная работа за семестр  |           |           |   |           |                          |            |                                |
|        | Итого за семестр  | <b>24</b> | <b>28</b> |   | <b>64</b> |                          |            | Экзамен                        |

## IV. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1. ЛИТЕРАТУРА

#### ОСНОВНАЯ

1. Васильев, А.Н. Классическая электродинамика. Краткий курс лекций: учеб. пособие / А. Н. Васильев. – 2-е изд., стереотип. - СПб., БХВ-Петрбург, 2010. – 417 с.
2. Кураев, А.А. Электродинамика и распространение радиоволн : учеб. пособие / А.А.Кураев, Т.Л. Попкова, А.К. Сеницын. – Минск : Новое знание; М. :ИНФРА-М, 2012. – 424 с.
3. Основы электродинамики и распространение радиоволн: курс лекций / сост. В.Н.Горбатенко.- Минск: МГВАК,2010. - Часть 2. – 124 с.
4. Пименов, Ю.В. Техническая электродинамика: учеб. пособие / Ю.В. Пименов, В.И. Вольман, А.Д. Муравцов.– М.: Радио и связь, 2002. – 536 с.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

5. Баскаков, С.И. Электродинамика и распространение радиоволн / С.И. Баскаков. – М.: Высш. школа, 1992. – 417 с.
6. Григорьев, А.Д Электродинамика и техника СВЧ/ А.Д. Григорьев. – М.: Высш. школа, 1990. – 335 с.
7. Гринов, А.Ю. Математические основы и методы решения задач электродинамики: учеб. пособие / А.Ю.Гринов, А.И. Гиголо. – М.: Радиотехника, 2015.– 216 с.
8. Демидчик, В.И. Электродинамика СВЧ: учеб. пособие для вузов / В.И.Демидчик. – Минск: Университетское, 1991. – 249 с.
9. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие/ В.В. Никольский, Т.И. Никольская. – изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: Наука, 1989. – 544 с.
10. Федоров, Н.П. Основы электродинамики / Н.П. Федоров. – М.: Высш. школа, 1980.– 399 с.

#### НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ АКТЫ:

11. Руководство по обучению Doc 7192 AN/875, утверждено генеральным секретарем международной организации гражданской авиации. Издание второе, 2003 г. – 214 с.

### 4.2. ПЕРЕЧЕНЬ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

1. Устный и письменный опрос во время практических и лабораторных занятий.
2. Тесты по темам дисциплины.
3. Зачет.
4. Контрольная работа.



### **4.3. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

1. Векторный анализ электромагнитного поля.
2. Электростатическое поле.
3. Магнитное поле.
4. Переменное электромагнитное поле
5. Закон сохранения энергии ЭМП.
6. Плоские электромагнитные волны.
7. Излучение электромагнитных волн.
8. Исследование явлений отражения и преломления плоских электромагнитных волн.
9. Прямоугольный волновод.
10. Круглый волновод.
11. Объемные резонаторы.
12. Объемные резонаторы.
13. Дифракция и интерференция электромагнитных волн.
14. Распространение радиоволн.

### **4.4. ПЕРЕЧЕНЬ НАГЛЯДНЫХ ПОСОБИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ**

1. Плакаты с математическими формулами для описания структуры электромагнитных полей и волн.
2. Слайды с рисунками, поясняющие учебные вопросы дисциплины.
3. Образцы и макеты волноводов различных типов, измерительные приборы.
5. Таблицы физических величин и справочные материалы.
6. Компьютерные презентации по темам уравнения Максвелла и волновые уравнения

### **4.4. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ**

1. Персональный компьютер.
2. Интерактивная доска.
3. Видеопроектор.
4. Наглядные пособия: уравнения Максвелла

**V. ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ**

| Название дисциплины, с которой требуется согласование | Название кафедры | Предложения об изменениях в содержании учебной программы по учебной дисциплине | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) |
|---|------------------|--|---|
| Радиоприемные и радиопередающие устройства            | ТЭАиРЭО          | Добавить в 2.1.2 вопрос: «Типы волн в прямоугольном волноводе»                 | 27.12.2018 г.<br>Протокол № 5   |

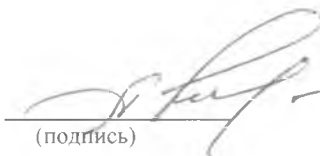
**VII. ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ**  
на 2018/2019 учебный год

| №<br>пп | Дополнения и изменения         | Основание |
|---------|--------------------------------|-----------|
|         | Программа действует первый год |           |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры естественнонаучных дисциплин (протокол от 27. сентября . 2018 г. № 57)

Заведующий кафедрой  
канд. физ-мат наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

(подпись)



**А. И. Кириленко**  
(И.О.Фамилия)

**УТВЕРЖДАЮ**  
Декан факультета  
канд. физ-мат наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

(подпись)



**В.Л. Титов**  
(И.О.Фамилия)