

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор  
по образовательной деятельности

А.А.Панфилов

« 24 » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ

Направление подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Профиль/программа подготовки

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
4	3/108	18	18	18	9	Экзамен(45)
Итого	3/108	18	18	18	9	Экзамен(45)

Владимир 2018

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Волновые процессы в природных средах» (ВП в ПС) являются:

1. Формирование навыков применения основных положений теории электромагнитного поля для решения базовых задач электродинамики.
2. Обеспечение фундаментальной подготовки специалиста, необходимой для создания и эксплуатации устройств и систем, основанных на использовании электромагнитных волновых процессов.
3. Подготовка в области радиотехнической электродинамики для профессиональной деятельности специалиста:
  - проектно-конструкторской;
  - производственно-технологической;
  - научно-исследовательской;
  - сервисно-эксплуатационной.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина: Волновые процессы в природных средах (ВП в ПС):

- индекс: Б1.В.11;
- вариативная часть.

Освоение курса ВП в ПС предполагает знание общих разделов высшей математики, физики, основ теории цепей. Из специальных разделов математики студентам должны быть известны основные операции и теоремы векторного анализа, элементы матричной алгебры, основы теории функций комплексного переменного. Из специальных разделов физики – основы теории электромагнитного поля.

Дисциплина ВП в ПС является базовой для последующих дисциплин «Методы и устройства передачи сигналов», «Методы и устройства приема сигналов», «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей», «Антенны и микроэлектронные устройства средств связи», «Современные системы подвижной связи».

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ВП в ПС**

В результате освоения дисциплины, обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1. Знать:

- Методы анализа волновых процессов в регулярных направляющих структурах и объемных резонаторах;
- особенности распространения электромагнитных волн в анизотропных средах и естественных условиях;
- основы математического моделирования в электродинамике с помощью современных вычислительных средств (ОК-7).

2. Уметь:

- Выполнять расчет параметров электромагнитных волн в линиях передачи и колебаний в объемных резонаторах, в том числе, используя современные программные средства;
- анализировать волновые процессы в гиромагнитных средах; вычислять распределение электромагнитного поля в естественных условиях (ОК-7, ОПК-6 ).

3. Владеть:

- Методами расчета и математического анализа параметров, электромагнитных полей в основных линиях передачи и объемных резонаторах различных типов;
- методами математического описания электромагнитных волн в различных средах; методами экспериментального исследования волновых процессов с помощью современной измерительной аппаратуры (ОК-7, ОПК-6, ПК-17).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ВП в ПС

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	Введение	4	1	0,5							
2	Общие свойства направляемых волн	4	1	0,5	1			0,5	1/67		
		4	2	1	1			0,5	1/50		
3	Направляющие структуры	4	3	1	2	4		0,5	6/86		
		4	4	1	1			0,5	1/50		
		4	5	1	1			0,5	1/50		
4	Передача электромагнитной энергии по направляющим структурам	4	6	1	1			0,5	1/50	Рейтинг-контроль 1	
		4	7	1	1			0,5	1/50		
5	Колебательные системы	4	8	1	1	4		0,5	5/83		
		4	9	1	1			0,5	1/50		
6	Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах	4	10	1	1	4		0,5	5/83		
		4	11	1	1			0,5	1/50	Рейтинг-контроль 2	
7	Компьютерные методы решения задач электродинамики	4	12	1	1			0,5	1/50		
		4	13	1	1			0,5	1/50		
8	Механизм распространения радиоволн в свободном пространстве	4	14	1	1	6		0,5	7/88		
9	Распространение земных радиоволн	4	15	1	1			0,5	1/50		
		4	16	1	1			0,5	1/50		
10	Атмосфера и её влияние на распространение радиоволн	4	17	1	1			0,5	1/50	Рейтинг-контроль 3	
11	Особенности распространения радиоволн различных диапазонов	4	18	1	1			0,5	1/50		
Всего				18	18	18	+	9	37/58,7	экзамен	

В графе «Лабораторные работы» трудоемкость указана без привязки к неделям учебного процесса, которая определяется расписанием аудиторных занятий.



Матрица соотношения разделов дисциплины и формируемых компетенций					
Раздел дисциплины	Трудоемкость (в часах)	Компетенции			Количество компетенций
		ОК-7	ОПК-6	ПК-17	
1	0,5	+			1
2	3,5	+			1
3	13		+	+	2
4	4		+	+	2
5	8		+	+	2
6	8		+	+	2
7	4	+			1
8	8		+	+	2
9	4		+	+	2
10	2		+	+	2
11	2		+	+	2
Вес компетенций		0,16	0,42	0,42	

№ п/п	Темы лабораторных работ	Трудоемкость (в часах)
1	Основной тип волн в прямоугольном волноводе	4
2	Прямоугольный резонатор	4
3	Распространение электромагнитных волн в гиромангнитной среде с продольным намагничиванием	4
4	Распространение волн в свободном пространстве (виртуальная)	4
5	Зоны Френеля. Существенная область распространения радиоволн (виртуальная)	2

№ п/п	Темы практических занятий	Трудоемкость (в часах)
1	Волноводы	2
2	Поверхностные электромагнитные волны и замедляющие структуры	2
3	Линии передачи с волнами типа Т	1
4	Объемные резонаторы	2
5	Распространение радиоволн в различных средах	2
6	Компьютерные методы решения задач электродинамики	1
7	Распространение радиоволн в свободном пространстве	2
8	Распространение земных радиоволн	2
9	Атмосфера и ее влияние на распространение радиоволн	2
10	Особенности распространения радиоволн различных диапазонов	2

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

### **5.1. Активные и интерактивные формы обучения**

С целью формирования и развития профессиональных навыков студентов в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения аудиторных занятий и внеаудиторной работы (компьютерные имитации и расчеты, сопоставление и анализ результатов математического и физического моделирования, рассмотрение и обсуждение решений задач, имеющих важное прикладное значение). Объем занятий, проводимых с использованием интерактивных форм, составляет 18 часов лабораторных занятий, 18 часов практических занятий и 9 внеаудиторных часов выполнения трех домашних контрольных работ.

### **5.2. Самостоятельная работа студентов**

Самостоятельная работа включает домашнюю работу с лекционными материалами с целью расширения и углубления теоретических знаний, подготовку к выполнению и защите лабораторных работ, подготовку к практическим занятиям, выполнение заданий, предусмотренных домашними контрольными работами. Необходимые для самостоятельной работы источники и пакеты прикладных программ включены в электронном виде в учебно-методический комплекс, сопровождающий дисциплину. Эффективному характеру самостоятельной работы способствуют еженедельные консультации.

### **5.3. Компьютерные технологии обучения**

Для глубоко и качественного освоения дисциплины студентами предоставляется электронная версия учебно-методического комплекса, включающего: конспект лекций; сборник задач; методические указания к лекциям, практическим занятиям, к лабораторному практикуму и сопровождающему его сборнику компьютерных программ; рабочую программу; список вопросов к экзамену; задания контрольных работ; тесты для проверки остаточных знаний, методические указания к лекциям, практическим и самостоятельным работам.

### **5.4. Лекции приглашённых специалистов**

В рамках курса ВП в ПС предусмотрены встречи со специалистами, в частности:

- доктором технических наук, профессором кафедры АУ и РРВ МЭИ, г. Москва Сазоновым Д.М.;
- доктором физ.-мат. наук, профессором Владимирского филиала РАНХ и ГС при президенте РФ Рау В.Г.

#### 5.5. Рейтинговая система обучения

Рейтинг-контроль проводится три раза за семестр и предполагает оценку в баллах по следующим составляющим: плановность выполнения лабораторных работ, активность и степень освоения материалов практических занятий, результаты выполнения домашних контрольных работ.

### **6.ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

#### 6.1. Вопросы к экзамену.

1. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в регулярной направляющей структуре.
2. Критическая частота, критическая длина волны.
3. Поперечные электромагнитные волны (Т).
4. Электрические волны (Е).
5. Магнитные волны (Н).
6. Концепция парциальных волн.
7. Групповая скорость. Скорость распространения энергии.
8. Мощность, переносимая электромагнитной волной по линии передачи.
9. Прямоугольный волновод (волна Е).
10. Прямоугольный волновод (волна Н).
11. Прямоугольный волновод (волна  $H_{10}$ ).
12. Круглый волновод (волна Е).
13. Круглый волновод (волна Н).
14. Токи на стенках прямоугольного и круглого волноводов.
15. Коаксиальные линии (волна Т).
16. Коаксиальные линии (волны Е и Н).



17. Линия поверхностной волны (металлическая плоскость, покрытая слоем диэлектрика).
18. Линия поверхностной волны (диэлектрический волновод).
19. Планарные линии передачи.
20. Волоконно-оптические линии передачи.
21. Затухание в линии передачи. Коэффициент затухания.
22. Затухание, вызываемое потерями в среде, заполняющие линии передачи.
23. Затухание, вызываемое потерями в металлических проводниках линии передачи.
24. Передача энергии по прямоугольному волноводу.
25. Передача энергии по круглому волноводу.
26. Передача энергии по коаксиальной линии.
  
27. Эволюция электромагнитных колебательных систем.
28. Объемный резонатор из отрезка прямоугольного волновода.
29. Общая задача о колебаниях в прямоугольном резонаторе.
30. Цилиндрический объемный резонатор.
31. Способы возбуждения объемных резонаторов.
32. Добротность объемных резонаторов.
33. Распространение электромагнитных линейно поляризованных волн в намагниченной ферритовой среде.
34. Распространение электромагнитных волн с круговой поляризацией в намагниченной ферритовой среде.
35. Эффект Фарадея.
36. Эффект смещения поля в прямоугольном волноводe с поперечно подмагниченным ферритом.
37. Распространение радиоволн в свободном пространстве.
38. Влияние среды на характеристики передаваемых сигналов.
39. Влияние помех на работу радиолинии.
40. Простейшие модели радиотрасс, проходящих вблизи поверхности Земли.
41. Поле излучателя, поднятого над земной поверхностью. Интерференционная формула.
42. Поле элементарного электрического излучателя, расположенного параллельно поверхности Земли.
43. Формула Введенского сферичности земной поверхности на радиотрассах.
44. Распространение радиоволн над неровной поверхностью Земли.



45. Поле вертикального электрического вибратора, расположенного вблизи земной поверхности.
46. Состав и строение атмосферы.
47. Диэлектрическая проницаемость и показатель преломления тропосферы.
48. Рефракция радиоволн в тропосфере.
49. Отражение и рассеяние радиоволн на неоднородностях тропосферы.
50. Поглощение радиоволн в тропосфере.
51. Электрические параметры ионизированного газа и коэффициент распространения радиоволн.
52. Влияние постоянного магнитного поля на электрические параметры ионизированного газа.
53. Траектория радиоволн в ионосфере.
54. Особенность распространения декаметровых волн.
55. Распространение дециметровых и сантиметровых радиоволн на космических радиолиниях.

6.2. Текущий контроль. Тесты для рейтинг-контроля знаний по дисциплине «Волновые процессы в природных средах».

Для тестирования подготовлено 10 вариантов заданий, каждое из которых содержит 3 теоретических вопроса из разных разделов.

#### Рейтинг-контроль №1

##### Вариант 1

1. Как выглядят уравнения, связывающие между собой продольные и поперечные составляющие поля любых волн в произвольной регулярной направляющей структуре? Зачем нужны эти уравнения?

$$1) -g^2 \vec{E} = jh \text{grad} \dot{E}_z - jw\mu_a [\vec{1}_z \text{grad} \dot{H}_z]; \quad -g^2 \vec{H} = jh \text{grad} \dot{H}_z - jw\varepsilon_a [\vec{1}_z \text{grad} \dot{E}_z];$$

$$2) \nabla^2 \vec{H} + w^2 \mu_a \varepsilon_a \vec{H} = -\text{rot} \vec{j}^{\text{ct}}; \quad \nabla^2 \vec{E} + w^2 \mu_a \varepsilon_a \vec{E} = jw\mu_a \vec{j}^{\text{ct}} + \frac{1}{\varepsilon_a} \text{grad} \rho^{\text{ct}};$$

$$3) \vec{H} = \frac{1}{\mu_a} \text{rot} \vec{A}^{\text{ct}}; \quad \vec{E} = -\frac{j}{w\mu_a \varepsilon_a} \text{grad} \text{div} \vec{A}^{\text{ct}} - jw\vec{f}^{\text{ct}}$$

2. Как выглядит выражение составляющей постоянной затухания, вызываемой потерями в среде, заполняющей линию передачи?

$$1) h_g'' \sqrt{2} = \sqrt{-h_0^2 + \sqrt{h_0^4 + w^4 \mu_a^2 \varepsilon_a'^2}}, \quad h_0 = \sqrt{w^2 \mu_a \varepsilon_a' - (2\pi/1_{\text{кр}})^2};$$

$$2) h_H'' = \frac{R_S}{LP_{cp}} \oint_L |\vec{H}_{0m}|^2 dl;$$

$$3) h_H'' = \frac{R_S}{2Z_c R_2} \cdot \frac{1+R_2/R_1}{\ln(R_2/R_1)}.$$

3. Каким выражением определяются частоты возможных колебаний в прямоугольном резонаторе (а·в·с)? Возможно ли существование колебаний с третьим нулевым индексом?

$$1) \lambda_p = \frac{2}{\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2 + (\frac{p}{c})^2}}; E_{mnp} - \text{да}, H_{mnp} - \text{нет};$$

$$2) \lambda_{кр} = \frac{2}{\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{p}{c})^2}}; E_{mnp} - \text{нет}, H_{mnp} - \text{да};$$

$$3) \lambda_B = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{\lambda_{кр}})^2}}; E_{mnp}, H_{mnp} - \text{да};$$

### Вариант 2

1. Из каких соображений устанавливают понятие критической частоты, критической длины волны?

$$1) e^{-jhz}, h = \sqrt{w^2 \mu_a \varepsilon_a - g^2}, f_{кр} = g / (2\pi \sqrt{\mu_a \varepsilon_n}), \lambda_{кр} = v_0 / f_{кр} = 2\pi / g;$$

$$2) e^{-jhz}, h = 2\pi / \lambda_{кр}, f_{кр} = v_0 / \lambda_{кр};$$

$$3) e^{-jhz}, f_{кр} = h / (2\pi \sqrt{\mu_a \varepsilon_n}), \lambda_{кр} = v_0 / f_{кр}.$$

2. Приведите выражение для постоянной затухания, вызываемой потерями в металлических проводниках линии передачи.

$$1) h_H'' = \frac{R_S}{LP_{cp}} \oint_L |\vec{H}_{0m}|^2 dl;$$

$$2) h_g'' \sqrt{2} = \sqrt{-h_0^2 + \sqrt{h_0^4 + w^4 \mu_a^2 \varepsilon_a'^2}}, h_0 = \sqrt{w^2 \mu_a \varepsilon_a' - (2\pi / \lambda_{кр})^2};$$

$$3) (h_g'')' = h_g'' \left( \frac{V_g}{V_n} \right).$$

3. Каким выражением определяются частоты возможных колебаний в цилиндрическом объемном резонаторе? Возможно ли существование колебаний с третьим нулевым индексом?

$$1) \lambda_p = \frac{2}{\sqrt{(\frac{p}{c})^2 + (\frac{v_{mn}}{\pi a})^2}}, \begin{cases} v_{mn}^E, & E_{mnp} \\ v_{mn}^H, & H_{mnp} \end{cases}; E_{mnp} - \text{да}, H_{mnp} - \text{нет};$$

$$2) \lambda_p = \frac{2}{\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2 + (\frac{p}{c})^2}}; E_{mnp} - \text{нет}, H_{mnp} - \text{да};$$

$$3) \lambda_B = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{\lambda_{кр}})^2}}; E_{mn0} - \text{нет}, H_{mn0} - \text{да}.$$

### Вариант 3

1. Как выглядят условия распространения волн в линиях передачи? Как эти условия связаны с критической длиной волны, критической частотой?

$$1) \lambda \leq \lambda_{кр}, f \geq f_{кр};$$

$$2) \lambda \leq \lambda_{кр}, f \leq f_{кр};$$

$$3) \lambda \geq \lambda_{кр}, f \leq f_{кр}.$$

2. Каким выражением определяется постоянная затухания  $h''_H$  для волны  $H_{10}$  в прямоугольном волноводе?

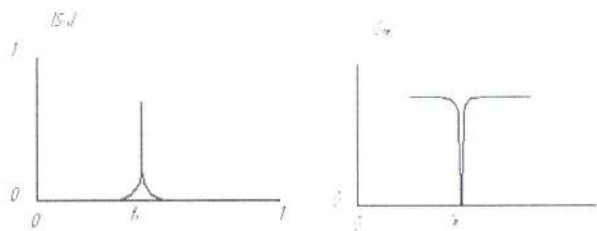
$$1) (h''_H)^{H_{10}} = \frac{R_S}{bz_c} \cdot \frac{1 + (\frac{2b}{a}) \cdot (\frac{\lambda}{2a})^2}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{2a})^2}}, \text{ Нп/м};$$

$$2) (h''_H)^{H_{11}} = \frac{R_S}{az_c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{3,41a})^2}} \cdot [0,42 + (\frac{\lambda}{3,41a})^2], \text{ Нп/м};$$

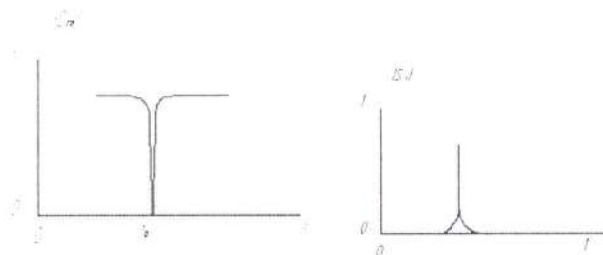
$$3) (h''_H)^{H_{10}} = \frac{R_S}{bz_c} \cdot \frac{(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}})^2}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{\lambda_{кр}})^2}}, \text{ Нп/м}.$$

3. Приведите основные способы включения объемных резонаторов и их частотные характеристики.

1)

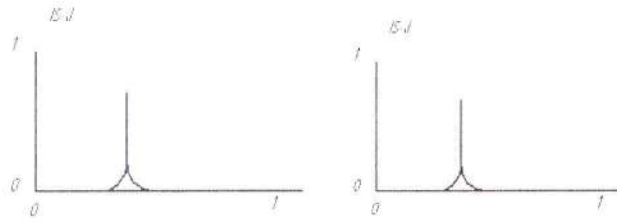


2)



3)





## Рейтинг-контроль №2

### Вариант 1

1. Что подразумевают под дисперсией в линиях передачи
  - 1)  $v_{\phi}, v_{\omega}, z_c^{E(H)} \sim f(\omega)$ ;
  - 2)  $v_{\phi}, v_{\omega}, z_c^{E(H)} \sim f(\sigma)$ ;
  - 3)  $v_{\phi}, v_{\omega}, z_c^{E(H)} \neq f(\omega)$ .
  
2. Сформулируйте условие одноволновости для основного типа волны в прямоугольном волноводе.
  - 1)  $\lambda_{кр}^{H_{20}} \leq \lambda \leq \lambda_{кр}^{H_{10}}, a \leq \lambda \leq 2a$ ;
  - 2)  $\lambda > \lambda_{кр}^{H_{10}}, \lambda > 2a$ ;
  - 3)  $\lambda = \lambda_{кр}^{H_{10}}, \lambda = 2a$ .
  
3. Как определяется добротность резонатора. Как связана добротность резонатора с его размерами и проводимостью материала стенок и величиной резонансной частоты.
  - 1)  $Q = \omega \frac{W_{ср}}{P_{н\ ср}}, V \uparrow \rightarrow Q \uparrow; \sigma \uparrow \rightarrow Q \uparrow; \omega_p \uparrow \rightarrow Q \uparrow$ ;
  - 2)  $Q = 2\pi \frac{\Delta W_{ср}}{W_{ср}}, V \uparrow \rightarrow Q \downarrow; \sigma \uparrow \rightarrow Q \downarrow; \omega_p \uparrow \rightarrow Q \downarrow$ ;
  - 3)  $Q = \omega \frac{P_{н\ ср}}{W_{ср}}, V \uparrow \rightarrow Q \downarrow; \sigma \uparrow \rightarrow Q \uparrow; \omega_p \uparrow \rightarrow Q \uparrow$ .

### Вариант 2

1. Сформулируйте общие свойства волн типа Т в линиях передачи.
  - 1)  $\dot{E}_z = \dot{H}_z = 0; \lambda_{кр}^T = \infty; h^T = \beta; v_{\phi}^T = v_{\omega}^T = v_0; z_c^T = z_c$ ;
  - 2)  $\dot{E}_z \neq 0; \lambda_{кр}^T = \infty; h^T = \beta; v_{\phi}^T = v_{\omega}^T = v_0; z_c^T = z_c$ ;
  - 3)  $\dot{H}_z \neq 0; \lambda_{кр}^T = \infty; h^T = \beta; v_{\phi}^T = v_{\omega}^T = v_0; z_c^T = z_c$ .

2. Как определить диапазон длин волн, в пределах которого в круглом волноводе диаметром  $2a$  может распространяться только основной тип волны?

1)  $\lambda_{\text{кр}}^{E_{01}} \leq \lambda \leq \lambda_{\text{кр}}^{H_{11}}, 2,61a \leq \lambda \leq 3,41a$ ;

2)  $\lambda > \lambda_{\text{кр}}^{H_{11}}, \lambda > 3,41a$ ;

3)  $\lambda = \lambda_{\text{кр}}^{H_{11}}, \lambda = 3,41a$ .

3. Какие особенности в параметрах гирромагнитной среды проявляются при распространении в них электромагнитных волн с круговой поляризацией?

1) ЛКП:  $\mu_a^+$ ; ПКП:  $\mu_a^-$ ;  $\mu_a^+ \neq \mu_a^-$ ;

2) ЛКП:  $\|\mu_a^+\|$ ; ПКП:  $\|\mu_a^-\|$ ;  $\|\mu_a^+\| \neq \|\mu_a^-\|$ ;

3) ЛКП:  $\mu_a$ ; ПКП:  $\mu_a$ .

### Вариант 3

1. Какими соотношениями определяются общие свойства волн типа E в линиях передачи?

1)  $E_z \neq 0, H_z = 0, h^E = \beta \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2}; v_{\Phi}^E = v_0/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2};$

$$v_{\Phi}^E = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2}; z_c^E = z_c \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2}$$

2)  $E_z \neq 0, H_z = 0, h^E = \beta \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2}; v_{\Phi}^E = v_0/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2};$

$$v_{\Phi}^E = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2}; z_c^E = z_c/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2};$$

3)  $E_z = 0, H_z \neq 0, h^E = \beta \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2}; v_{\Phi}^E = v_0/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2};$

$$v_{\Phi}^E = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2}; z_c^E = z_c \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2}$$

2. Какой характерной особенностью, обладает частотная зависимость постоянной затухания для волны  $H_{01}$  в круглом волноводе?

1)  $f > f_{\text{кр}}, f \uparrow \rightarrow (h_H'')^{H_{01}} \downarrow$ ;

2)  $f > f_{\text{кр}}, f \uparrow \rightarrow (h_H'')^{H_{01}} \uparrow$ ;

3)  $f > f_{\text{кр}}, f \uparrow \rightarrow (h_H'')^{H_{01}} = \text{const.}$

3. Что подразумевается под эффектом Фарадея в гирромагнитных средах?

- 1) Поворот плоскости поляризации линейно-поляризованных волн.
- 2) Поворот плоскости поляризации волн с круговой поляризацией.
- 3) Изменение направления вращения плоскости поляризации волн с круговой поляризацией.

#### Вариант 4

1. Сформулируйте общие свойства волн типа Н в линиях передачи.

$$1) E_z = 0, H_z \neq 0, h^H = \beta \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; v_{\Phi}^H = v_0/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2};$$

$$v_{\Sigma}^H = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; z_c^H = z_c/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2};$$

$$2) E_z \neq 0, H_z = 0, h^H = \beta \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; v_{\Phi}^H = v_0/\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2};$$

$$v_{\Sigma}^H = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}; z_c^E = z_c \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}$$

$$3) E_z = 0; H_z \neq 0; h^H = \beta; v_{\Phi}^H = v_{\Sigma}^H = v_0; z_c^H = z_c$$

2. Каким образом в коаксиальной линии с волной типа Т достигается максимальное значение допустимой мощности? Какому волновому сопротивлению она соответствует?

$$P_{ср} = P_{макс}:$$

$$1) \ln(R_2/R_1) = 0,5; z_B = 30 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \text{ Ом};$$

$$\ln(R_2/R_1) = 1; z_B = 60 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \text{ Ом};$$

$$2) R_2/R_1 \cong 3,6; z_B = 77 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \text{ Ом};$$

$$\lg(R_2/R_1) = 0,5; z_B = 50 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \text{ Ом};$$

$$3) \lg(R_2/R_1) = 1; z_B = 100 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \text{ Ом}.$$

3. Каким соотношением описывается передача энергии в «идеальной радиолнии»?

$$1) P_{кр} = P_{\Sigma} D_{\Sigma} D_{кр} \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2;$$

$$2) P_{кр} = P_{\Sigma} D_{\Sigma} D_{кр} e^{-2\alpha r};$$



$$3) P_{\text{кр}} = P_{\Sigma} D_{\Sigma} D_{\text{кр}} e^{-\alpha r}.$$

### Рейтинг-контроль №3

#### Вариант 1

1. Что подразумевается под групповой скоростью? Каким выражением она определяется в направляющих структурах?

1) скорость перемещения максимума огибающей группы гармонических волн,

близких по частоте:  $v_{\text{кр}} = v_0 \cdot \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2}$ ;

2) скорость перемещения точки гармонического колебания с фиксированным

значением фазы:  $v_{\text{кр}} = v_0 / \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{\text{кр}})^2}$ ;

3) скорость распространения энергии гармонического волнового процесса:  $v_{\text{кр}} = v_0$

2. Каким образом можно определить постоянную затухания в коаксиальной линии, связанную с потерями в диэлектрике, при частичном диэлектрическом заполнении линии?

$$h_g'' \sqrt{2} = \sqrt{-h_0^2 + \sqrt{h_0^4 + \omega^4 \mu_a^2 \varepsilon_a^4}}, h_0 = \sqrt{\omega^2 \mu_a \varepsilon_a' - (2\pi/\lambda_{\text{кр}})^2};$$

1)  $(h_g'')' = h_g'' \cdot \frac{V_g}{V_n}$ ;

2)  $(h_g'')' = h_g'' \cdot \frac{V_n}{V_g}$ ;

3)  $(h_g'')' = h_g''/10$ ;

3. Что представляет собой область пространства, существенно участвующая в формировании поля на заданной линии? Каким существенным параметром она характеризуется?

1) эллипсоид вращения; максимальный радиус существенного эллипсоида может быть ограничен восьмью зонами Френеля:  $\rho_{\rho \text{ макс}} = \sqrt{2\pi r}$ ;

2) сфера с радиусом  $\beta r \gg 1$ ;

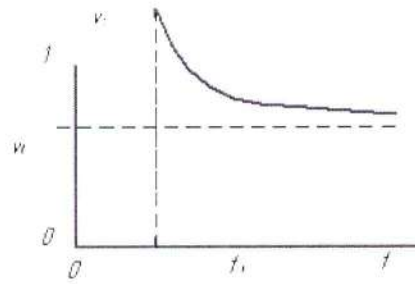
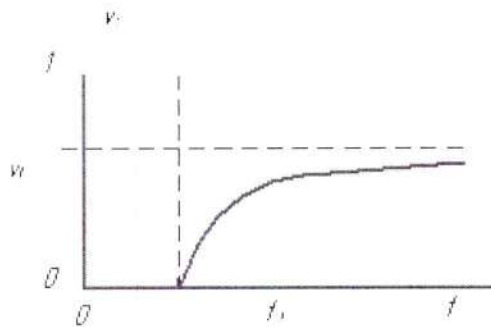
3) цилиндр радиусом и длиной  $\beta r \gg 1$ ,  $R \ll 1$ .

## Вариант 2

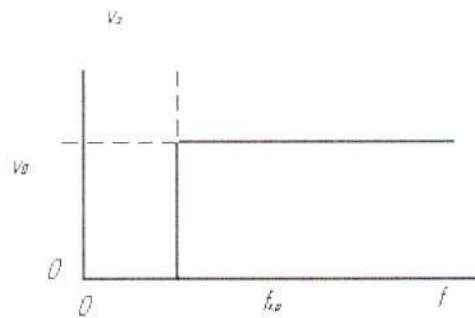
1. Каким выражением определяется скорость распространения энергии гармонических волн в линиях передачи? Постройте его частотную зависимость.

1)  $v_{\text{э}} = v_0 \cdot \sqrt{1 - (f_{\text{кр}}/f)^2}$ ;

2)  $v_{\text{э}} = v_0 / \sqrt{1 - (f_{\text{кр}}/f)^2}$ ;



3)  $v_{\text{э}} = v_0, f > f_{\text{кр}}$



2. При каком волновом сопротивлении коаксиальной линии достигается минимальное затухание в металлических проводниках?

1)  $z_{\text{в}} = 77 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$  Ом;

2)  $z_{\text{в}} = 30 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$  Ом;

3)  $z_{\text{в}} = 60 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$  Ом.

3. Как размеры существенного для распространения радиоволн эллипсоида зависят от длины волны?

1) Максимальный радиус эллипсоида, соответствующий середине трассы  $\rho_{n \text{ макс}} = \sqrt{\pi \lambda r} / 2$ ;

2) Максимальный радиус существенного эллипсоида  $\rho_n = \sqrt{n\lambda r' r'' / (r' + r'')}, r' + r'' = r;$

3) Максимальный радиус существенного эллипсоида  $\rho_n = \sqrt{\pi\lambda r/2}.$

### Вариант 3

1. Какими факторами обусловлены потери в линиях передачи? Как выглядит общее выражение для постоянной затухания?

1) Потери в среде, заполняющей линию, потери в металлических проводниках линии;

$$h'' = P'_{n \text{ ср}} / 2P_{\text{ср}};$$

2) Потери в среде, заполняющей линию;

$$h''_g \sqrt{2} = \sqrt{-h_0^2 + \sqrt{h_0^4 + w^4 \mu_a^2 \varepsilon_a'^2}}, h_0 = \sqrt{w^2 \mu_a \varepsilon_a' - (2\pi/1_{\text{кр}})^2};$$

3) Потери в металлических проводниках линии;  $h''_H = \frac{R_S}{L P_{\text{ср}}} \oint_L |\vec{H}_{0m}|^2 dl.$

2. Какой тип волны в коаксиальной линии с волной Т является высшим и как определяется его критическая длина волны?

1)  $H_{11}, \lambda_{\text{кр}}^{H_{11}} = \pi(R_1 + R_2);$

2)  $H_{11}, \lambda_{\text{кр}}^{H_{11}} = 3,41a;$

3)  $H_{10}, \lambda_{\text{кр}}^{H_{10}} = 2a.$

3. Из каких соображений осуществляется деление пути распространения земной волны на освещенную зону, зону полутени, зону тени?

$$r_{\text{кр}} = \sqrt{2Q_3}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) - \text{расстояние прямой...:}$$

1) ОЗ:  $r < r_{\text{кр}};$  ЗПТ:  $r \approx r_{\text{кр}};$  ЗТ:  $r > r_{\text{кр}};$

2) ОЗ:  $r > r_{\text{кр}};$  ЗПТ:  $r \approx r_{\text{кр}};$  ЗТ:  $r < r_{\text{кр}};$

3) ОЗ:  $r \approx r_{\text{кр}};$  ЗПТ:  $r < r_{\text{кр}};$  ЗТ:  $r > r_{\text{кр}}.$

6.3. Самостоятельная работа студентов (СРС).

6.3.1. СРС с лекционными материалами.

Самостоятельная работа включает домашнюю работу с лекционными материалами,



которые входят в состав учебно-методического комплекса, сопровождающего дисциплину. Эффективному характеру самостоятельной работы способствуют еженедельные консультации.

Основное внимание в курсе лекций уделено электродинамическому анализу направляющих структур различных типов и передачи по линии электромагнитной энергии, исследованию колебательных систем СВЧ; рассматриваются физические процессы, связанные с распространением радиоволн в анизотропных средах, исследуются особенности распространения радиоволн в природных средах. Хорошему усвоению материала при его высокой информативности способствует подробное изложение в конспекте математической части курса. Необходимые дополнительные пояснения имеют индивидуальный характер и вносятся в конспект непосредственно при СРС с лекционными материалами.

Оценка эффективности СРС по материалам курса проводится три раза за семестр в процессе рейтинг-контроля по прилагаемым структурированным вопросам .

Вопросы к СРС.

1. Направляющие структуры и направляемые электромагнитные волны. Направляющие структуры. Классификация направляемых волн. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в регулярной направляющей структуре. Критическая частота. Критическая длина волны. Поперечные электромагнитные волны. Электрические волны. Магнитные волны. Концепция парциальных волн. Скорость распространения энергии. Групповая скорость. Мощность, переносимая электромагнитной волной по линии передачи.

(ЭМП и В: 3, 4, 6, 7, 8), 2 => 3, 4, 5, 6; ЭМП и В – Электромагнитные поля и волны. КЛ - конспект лекций.

Литература: 7б, [4] с. 239 – 256, КЛ с. 3 - 14.

2. Прямоугольный волновод. Круглый волновод. Токи на системах прямоугольного и круглого волноводов. Волны и коаксиальные линии. Линии поверхностной волны. Планарные линии передачи.

2, 3 => 4, 5, 6.

Литература: 7б, [4] с. 257 – 291, КЛ с. 15 - 36.

3. Требования к линиям передачи. Одноволновый и многоволновый режим.

Электрическая прочность линии передачи. Тепловой пробой. Предельная и допустимая мощность. Затухание в линиях передачи. Передача энергии по прямоугольному волноводу. Передача энергии по круглому волноводу. Передача энергии по коаксиальной линии.

3, 4  $\Rightarrow$  5, 6.

Литература: 7б, [4] с. 292 – 312, КЛ с. 37 – 44

4. Объемные резонаторы . Эволюция электромагнитных колебательных систем при повышении рабочей частоты. Прямоугольный объемный резонатор. Общая задача о колебаниях в прямоугольном объемном резонаторе. Цилиндрический объемный резонатор. Способы возбуждения и включения объемных резонаторов. Добротность объемных резонаторов. Другие типы объемных резонаторов.

(ЭМП и В: 5, 6), 2, 3, 5  $\Rightarrow$  6.

Литература: 7а, [1] с. 231 – 255, КЛ с. 45 - 56.

5. Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах. Физический механизм анизотропии ферритов. Уравнение движения намагниченности. Тензор магнитной проницаемости намагниченного феррита. Уравнение Максвелла в анизотропной среде. Поперечное распространение электромагнитных волн в намагниченном феррите. Продольное распространение электромагнитных волн в намагниченном феррите.

(ЭМП и В: 2, 7, 8), 2, 3, 4, 6  $\Rightarrow$  9, 10, 11.

Литература: 7а, [1] с. 327 – 346, КЛ с. 57 - 64.

6. Компьютерные методы решения задач электродинамики. Прямоугольный волновод с неоднородным заполнением. Метод сеток. Метод Бубнова – Галеркина. Метод интегральных уравнений.

3, 7  $\Rightarrow$  3.

Литература: 7а, [1] с. 387 – 405, КЛ с. 65 - 83.

7. Механизм распространения радиоволн в свободном пространстве. Энергетические соотношения в условиях свободного пространства. Область пространства, существенно участвующая в формировании поля на заданной линии.

(ЭМП и В: 2, 7), 8  $\Rightarrow$  9, 10, 11;

Литература: 7а, [2] с.467 – 478, КЛ с. 84 - 90.

8. Распространение земных радиоволн. Физические процессы при распространении земной волны. Классификация методов расчета поля земной волны. Поле высоко поднятого излучателя в освещенной зоне. Поле низко расположенного излучателя в зоне приближения плоской Земли. Поле в зонах полутени и тени при высоко поднятых и низко расположенных излучателях.

(ЭМП и В: 2, 7, 8, 10), 9  $\Rightarrow$  10, 11.

Литература: 7а, [2] с.478 – 484, КЛ с. 91 - 101.

9. Атмосфера и ее влияние на распространение радиоволн. Строение атмосферы.

Электрические свойства тропосферы и стратосферы. Электрические свойства ионосферы.

(ЭМП и В: 2, 7, 10, 11), 10 => 11.

Литература: 7а, [2] с. 485 – 496, КЛ с. 102 - 108.

10. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов. Распространение УКВ на наземных радиоприемниках. Распространение УКВ на космических радиоприемниках.

Распространение КВ. Распространение средних и длинных волн. Особенности распространения волн оптического диапазона

(ЭМП и В: 2, 7, 10, 11), 8, 9, 10 => 11;

Литература: 7а, [2] с.497 – 505, КЛ с. 109 - 118.

### 6.3.2.Контрольные работы для СРС.

Домашние контрольные работы являются базой для оценки степени усвоения теоретического материала и, совместно с другими формами учебного процесса, учитываются в рейтинг - контроле.

Для каждой контрольной работы подготовлено 10 вариантов. Каждый вариант содержит теоретические вопросы и задачи. Номера задач соответствуют сборнику [3], включенному в раздел 7а. В электронном виде сборник задач входит в учебно-методический комплекс по дисциплине ВП в ПС.

## Контрольная работа № 1

### Вариант 1

1. Каким образом можно установить связь между продольными и поперечными составляющими волн в регулярной направляющей структуре? Зачем это нужно?
2. Рассмотрите свойства волн типа Е в прямоугольном волноводе. Проанализируйте их основные параметры.
3. [3], п.7.а: 7.12, 8.39, 9.15.

### Вариант 2

1. Из каких соображений устанавливаются понятия критической частоты, критической длины волны в линии передачи?
2. Рассмотрите свойства волн типа Н в прямоугольном волноводе. Проанализируйте их основные параметры.
3. [3], п.7.а: 7.12, 8.39, 9.15.

### Вариант 3



1. Объясните физический смысл условий распространения волн в линиях передачи. Как эти условия связаны с критической длиной волны, критической частотой?
2. Какими характерными особенностями обладает волна  $H_{10}$  в прямоугольном волноводе? При каких условиях для нее реализуется режим одноволновости?
3. [3], п.7.а: 7.16, 8.40, 9.16.

#### Вариант 4

1. Что подразумевают под дисперсией в линиях передачи? Как это понятие можно проиллюстрировать графически?
2. Проанализируйте свойства и параметры волн типа Е в круглом волноводе.
3. [3], п.7.а: 7.17, 8.38, 9.17.

#### Вариант 5

1. Сформулируйте общие свойства волн типа Т в линиях передачи.
2. Проанализируйте свойства и параметры волн типа Н в круглом волноводе. Какую волну называют основной для круглого волновода?
3. [3], п.7.а: 7.20, 8.37, 9.18.

#### Вариант 6

1. Сформулируйте общие свойства волн типа Е в линиях передачи.
2. Постройте и проанализируйте структуру поверхностных токов на стенках прямоугольного волновода с волной  $H_{10}$ .
3. [3], п.7.а: 7.29, 8.35, 9.19.

#### Вариант 7

1. Сформулируйте общие свойства волн типа Н в линиях передачи.
2. Постройте и проанализируйте структуру поверхностных токов на стенках круглого волновода с волной  $H_{11}$ , волной  $H_{01}$ .
3. [3], п.7.а: 7.43, 8.34, 9.20.

#### Вариант 8

1. Поясните физический смысл концепции парциальных волн. Как на ее основе определяются параметры волн Е и Н в линиях передачи?



2. Проанализируйте выражения для составляющих поля и основные параметры волн типа Т в коаксиальной линии. При каком условии в коаксиале реализуется одноволновый режим волны Т?
3. [3], п.7.а: 7.46, 8.24, 9.6.

#### Вариант 9

1. Что подразумевается под групповой скоростью? При каких ограничениях справедливо это понятие?
2. Рассмотрите условия существования волн типа Е, типа Н в линии поверхностной волны (металлическая плоскость покрытая слоем диэлектрика).
3. [3], п.7.а: 7.39, 8.19, 9.7.

#### Вариант 10

1. Каким образом определяется скорость распространения энергии гармонических волн в линиях передачи? Постройте и проанализируйте ее частотную зависимость.
2. Сформулируйте условия существования поверхностных волн в металлической гребенчатой структуре.
3. [3], п.7.а: 7.40, 8.18, 9.8.

### Контрольная работа № 2

#### Вариант 1

1. Какими факторами обусловлены потери в линиях передачи? Получите общее выражение для постоянной затухания.
2. С чем связан переход в колебательных системах к структурам с распределенными параметрами?
3. [3], п.7.а: 7.55, 10.8, 13.8.

#### Вариант 2

1. Получите выражение для постоянной затухания в линии передачи, обусловленной потерями в среде, заполняющей линию. Проанализируйте полученное соотношение.
2. Поясните возможность реализации объемного резонатора из отрезка регулярного прямоугольного волновода. Какими свойствами он будет обладать?
3. [3], п.7.а: 7.54, 10.9, 13.9.

### Вариант 3

1. Получите выражение для постоянной затухания в линии передачи, обусловленной потерями в металлических проводниках. Проанализируйте полученное соотношение.
2. Рассмотрите общую задачу о колебаниях в прямоугольном объемном резонаторе. Возможно ли в нем существование колебания с третьим нулевым индексом?
3. [3], п.7.а: 7.53, 10.10, 13.10.

### Вариант 4

1. Постройте график зависимости постоянной затухания в прямоугольном волноводе от частоты. Проанализируйте и объясните характерные особенности на примере волновода с волной  $H_{10}$ .
2. Рассмотрите общую задачу о колебаниях в цилиндрическом резонаторе. Приведите структуру поля низших типов колебаний.
3. [3], п.7.а: 7.52, 10.11, 13.26.

### Вариант 5

1. Объясните связь постоянной затухания в прямоугольном волноводе с волной  $H_{10}$  с размерами поперечного сечения и величиной удельной объемной проводимости стенок.
2. Приведите основные способы возбуждения и включения объемных резонаторов.
3. [3], п.7.а: 7.51, 10.12, 13.25.

### Вариант 6

1. Объясните процедуру получения выражения для предельной мощности в прямоугольном волноводе с волной  $H_{10}$ . Как она связана с длиной волны? Сравните с предельной мощностью для коаксиальной линии с волной типа  $T$ .
2. Что подразумевается под добротностью объемных резонаторов? Как она связана с резонансной частотой и размерами резонатора?
3. [3], п.7.а: 7.50, 10.13.

### Вариант 7

1. Постройте и объясните зависимость постоянной затухания в круглом волноводе от частоты. Проведите сравнительную оценку величины затухания для основного типа и высших типов волн.
2. Поясните эффект смещения поля в прямоугольном волноводе с поперечно подмагниченным ферритом.
3. [3], п.7.а: 7.49, 10.14, 13.24.

#### Вариант 8

1. Объясните характерную особенность присущую зависимости постоянной затухания от частоты для волны  $H_{01}$  в круглом волноводе. При каких размерах поперечного сечения она становится наиболее выраженной?
2. Поясните особенности распространения линейно поляризованных волн в намагниченной ферритовой среде.
3. [3], п.7.а: 7.38, 10.15, 13.23.

#### Вариант 9

1. Какими соображениями обусловлен стандарт на волновое сопротивление коаксиальной линии 50 Ом?
2. Объясните особенности распространения в намагниченной ферритовой среде волн с круговой поляризацией.
3. [3], п.7.а: 7.37, 10.16, 13.22.

#### Вариант 10

1. Какими соображениями обусловлен стандарт на волновое сопротивление коаксиальной линии 75 Ом?
2. Объясните возникновение эффекта Фарадея в гирромагнитных средах.
3. [3], п.7.а: 7.36, 10.17, 13.21.

### Контрольная работа №3

#### Вариант 1

1. Что подразумевают под механизмом распространения радиоволн? Приведите примеры радиолиний использующих земную волну, рассеянную волну, ионосферную волну, прямую волну.
2. Почему диэлектрическая проницаемость тропосферы испытывает пространственные и временные изменения? В каких случаях свойства тропосферы близки к идеальному диэлектрику?

3. Что такое эффективная длина трассы при расчете ослабления поля в осадках?
4. Что называют зоной уверенного приема СВ и какими способами увеличивают протяженность этой зоны?
5. Определить значение частоты, при которой в сухой почве с параметрами  $\varepsilon=5$ ,  $\sigma=10^{-3}$  см/м действительная и мнимая части комплексной диэлектрической проницаемости становятся одинаковыми.

#### Вариант 2

1. Поясните физическую сущность процесса ослабления поля в условиях свободного пространства (УСП).
2. Поясните закономерности распределения электронной концентрации во внутренней и внешней ионосфере.
3. Поясните термины «отклоняющее» и «неотклоняющее» поглощение в ионосфере.
4. От каких параметров трассы и оборудования зависит напряженность поля пространственной волны в диапазоне СВ?
5. Известно, что на уровне земной поверхности значение индекса преломления  $N_0=300$ . Найти относительную диэлектрическую проницаемость воздуха  $\varepsilon$  на земле и на высоте  $h=3$  км.

#### Вариант 3

1. От каких параметров линии в УСП зависит мощность на входе приемника радиолиний первого типа, радиолиний второго типа?
2. Каковы причины образования и количественные характеристики локальных неоднородностей в тропосфере?
3. Какие параметры трассы и оборудования определяют интерференционную формулу применяемую для расчета напряженности поля в освещенной области?
4. Какие характерные черты распределения поля на ДВ?
5. Оценить эффект атмосферной рефракции для условий:  $\varepsilon(h=0) = 1,006$ ,  
  1.  $\varepsilon(h=3\text{км}) = 1,00036$ . Реальный неоднородный слой заменить двумя однородными с диэлектрическими проницаемостями  $\varepsilon_1=1,0006$  и  $\varepsilon_2=1,00036$ . Положить угол падения  $\varphi=70^\circ$ .

#### Вариант 4

1. Что такое множитель ослабления поля свободного пространства? Что называется потерями и основными потерями передачи в УСП?



2. Почему ионосфера является средой с дисперсией? Почему диэлектрическая проницаемость ионосферы меньше, чем свободного пространства?
3. Назовите виды шероховатых поверхностей для дециметровых волн. Что такое эффект «усиления» препятствием?
4. Почему радиус действия СВ передатчика изменяется в течение суток?
5. Плоская волна падает на слой E ионосферы с электронной концентрацией  $N_e=10^{11}$  м<sup>-3</sup> под углом  $\varphi=60^\circ$ . Определить наибольшее значение частоты  $f_{\text{макс}}$ , при которой еще наблюдается полное отражение от слоя.

#### Вариант 5

1. Как построить зоны Френеля на плоскости? Что такое существенный эллипсоид для распространения и почему его размеры зависят от длины волны?
2. Каковы основные характеристики неоднородностей диэлектрической проницаемости ионосферы?
3. Назовите физические процессы, являющиеся причиной замираний на открытых трассах. Какие процессы обуславливают «потерю усиления» антенн?
4. Почему понятие «мертвой зоны» для приема характерно для КВ диапазона?
5. Ионосферный слой F с концентрацией электронов  $N_e=10^{12}$  м<sup>-3</sup> располагается на высоте  $h=400$  км от поверхности Земли. Найти наивысшее значение частоты поля  $f_{\text{макс}}$ , которое еще обеспечивает полное отражение электромагнитной волны от слоя.

#### Вариант 6

1. Какие физические процессы сопровождают распространение радиоволн вдоль земной поверхности? Поясните принцип отражательной трактовки влияния Земли, какие ограничения при этом появляются в связи с наличием существенной области для отражения?
2. От чего зависит угол наклона и радиус кривизны траектории волны на некоторой высоте в атмосфере?
3. От каких параметров трассы и оборудования зависит месячное медианное значение множителя ослабления при ДТР?
4. Как влияет условие распространения на КВ-радиолиниях на требования к ДН антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях?
5. Космическая радиолиния связи имеет протяженность 400 км. Мощность передатчика 80 Вт, длина волны 3 см. Антенны передатчика и приемника

идентичны и представляют собой однозеркальные параболические антенны (коэффициент  $\eta = 0,55$ ) диаметром 1 м. определить мощность, поступающую на вход приемника.

#### Вариант 7

1. От каких параметров трассы зависит интерференционная структура поля земной волны? Что такое приведенная высота антенны?
2. При каких метеоусловиях наблюдается положительная или отрицательная рефракция в тропосфере?
3. Опишите явления в тракте распространения, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации систем спутниковой связи.
4. Чем ограничена скорость передачи дискретной информации на КВ радиолиниях?
5. Космическая радиolinия снабжена антеннами с коэффициентом направленного действия  $D=5900$ . Мощность передатчика 80 Вт. Используется приемник с шумовой температурой 150 К. Линия предназначена для передачи телевизионного изображения среднего качества и имеет полосу пропускания 4 МГц. Вычислить длину трассы  $g$ , при которой мощность принятого сигнала в 10 раз превышает мощность шума ( $q = P_{\text{пр}} / P_{\text{ш}} = 10$ ).

#### Вариант 8

1. Каков принцип деления трассы распространения земной волны на три зоны при высоко поднятых и низко расположенных системах относительно поверхности земли?
2. Что такое эквивалентный радиус Земли и когда это понятие справедливо?
3. Почему на космических линиях передача и прием ведутся при углах возвышения траектории волн более  $5^\circ$ ?
4. Каковы основные положения метода расчета напряженности поля на КВ радиолиниях?
5. Найдите предельную длину трассы с прямой видимостью между антенной Останкинского телецентра ( $h=500\text{м}$ ) и антенной коллективного приема телевидения, расположенной на крыше жилого дома ( $h=40\text{м}$ ).

#### Вариант 9

1. Поясните закономерность поля земной волны в зоне тени при низко расположенных антеннах? Почему УКВ сильнее ослабляются при распространении за линию горизонта, чем средние и длинные волны?

2. Что такое критическая частота ионосферного слоя и как определить эквивалентную частоту при наклонном падении? Чем ограничен верхний предел частоты волн, отражающихся от ионосферы?
3. От каких характеристик тракта распространения зависит необходимая мощность земного и бортового передатчиков?
4. Каковы причины замираний на КВ радиоприемах и какие меры позволяют повысить устойчивость приема?
5. Спроектируйте линию КВ-связи длиной 1200 км, работающую за счет отражения от слоя F ионосферы с концентрацией электронов  $N_e = 1,5 \times 10^{12} \text{ м}^{-3}$ . Высота слоя 260 км.

#### Вариант 10

1. По каким признакам разделяют атмосферу на тропосферу, стратосферу и ионосферу?
2. Чем объясняется частотная зависимость ослабления поля в газах?
3. Какие особенности возникают при связи с ИСЗ перемещающимися относительно наземного пункта связи?
4. В чем различие максимальной применимой частоты и максимальной частоты?
5. Передающая часть космической радиоприемной антенны снабжена однозеркальной параболической антенной (кип – 0,55) площадью  $1000 \text{ м}^2$ . Однозеркальная параболическая приемная антенна (кип – 0,55) имеет площадь  $30 \text{ м}^2$ . Рабочая длина

волны 7,5 см. Приемник с полосой пропускания 15 кГц имеет шумовую температуру 120К. Определить предельную длину радиоприемной антенны, при которой отношение сигнал/шум на входе приемника будет не ниже 3 дБ. На сколько сократится длина антенны, если полосу пропускания приемника расширить до 1 МГц?

### 7.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ВП в ПС

а) Основная литература:

1. Кураев А.А., Попкова Т.Л., Сеницын А.К. Электродинамика и распространение радиоволн: учебное пособие / А.А. Кураев, Т.Л. Попкова, А.К. Сеницын. – М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2013. – 424 с.



2. Боков Л.А. Электродинамика и распространение радиоволн (электронный ресурс): учебное пособие / Л.А. Боков, В.А. Замотринский, А.Е. Мандель. – Электронные текстовые данные. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 301 с.
3. Сборник задач по курсу Электродинамика и распространение радиоволн / Баскаков С.И. и др., Под ред. С.И. Баскакова. – М: Высшая школа, 2015. – 208 с. (Библиотека ВлГУ)
4. Электродинамика и распространение радиоволн: метод. Указания к лабораторным работам по курсу “Электродинамика и распространение радиоволн” для студентов специальности 11.03.03 дневной формы обучения/ НГТУ им. Р.Е.Алексеева: сост.:С.М. Никулин, Е.А. Лебедева - Нижний Новгород, 2015. 63с.

б) Дополнительная литература

1. Мандель А.Е. Распространение радиоволн (электронный ресурс): учебное пособие / А.Е. Мандель, В.А. Замотринский. - Электронные текстовые данные. – Электронные текстовые данные. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 163 с.
2. Григорьев А.Д. Методы вычислительной электродинамики[Электронный ресурс]/ Григорьев А.Д.-Электрон. Текстовые данные.-М.:ФИЗМАТЛИТ,2012.-432с.
3. Электродинамика: Учебное пособие / И.Ф. Будагян, В.Ф. Дубровин, А.С. Сигов. - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 304 с.
4. Евдокимов Ю. К., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И.  
LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 400 с.

## **8.МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ВП в ПС**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

- лабораторные макеты и измерительное оборудование специализированной лаборатории (510-3) по дисциплине ВП в ПС (3 физических лабораторных работ): Г4-80 – 2 шт., Г4-32А, Г4-111Б, Г4-83, В3-38 – 3 шт., У2-8 – 3 шт., П6-23А; Р2-53 – 1 шт.



Программа составлена в соответствии с требованием ФГОС ВО по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи.

Рабочую программу составил профессор кафедры РТ и РС \_\_\_\_\_ В.М. Гаврилов


Рецензент(ы) Генеральный директор ОАО "Владимирское КБ Радиосвязи" \_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_ А.Е.Богданов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТ и РС

Протокол № 23 от 26.06.15 года.

Заведующий кафедрой РТ и РС \_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_ О.Р. Никитин

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления \_\_\_\_\_

Протокол № 10 от 24.06.15 года.

Председатель комиссии \_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_ О.Р.Никитин

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Институт \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_

Актуализированная  
рабочая программа  
рассмотрена и одобрена  
на заседании кафедры  
протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ 2019 г.  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_  
(подпись, ФИО)

**Актуализация рабочей программы дисциплины**

---

(наименование дисциплины)

Направление подготовки

Профиль/программа подготовки

Уровень высшего образования

Форма обучения

Рабочая программа учебной дисциплины актуализирована в части рекомендуемой литературы.

Актуализация выполнена: \_\_\_\_\_  
(подпись, должность, ФИО)

а) основная литература: \_\_\_\_\_ *(не более 5 книг)*

б) дополнительная литература: \_\_\_\_\_

в) периодические издания: \_\_\_\_\_

г) интернет-ресурсы: \_\_\_\_\_