

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



Проректор  
по образовательной деятельности

А.А.Панфилов

« 02 » 09 2016 г

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА РАДИОВОЛН

Направление подготовки 11.03.01 Радиотехника

Профиль/программа подготовки

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения заочная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
4	6/216	4	4	4	204	зачет с оценкой
Итого	6/216	4	4	4	204	зачет с оценкой

Владимир 2016

*Мид.*

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Физика радиоволн» (ФРВ) являются:

1. Усвоение основных понятий теорем и принципов теории электромагнитного поля;
2. Анализ закономерностей волновых процессов, включая элементы теории дифракции и излучения;
3. Получение базовых и углубленных знаний для успешного освоения дисциплины профессионального цикла, связанных с разными сферами деятельности специалиста:
  - проектно-конструкторской;
  - производственно-технологической
  - научно-исследовательской;
  - сервисно-эксплуатационной.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина: Физика радиоволн (ФРВ);

- индекс: Б1.В.ДВ.3;
- вариативная часть, дисциплины по выбору.

Успешное освоение дисциплины предполагает знание общих разделов высшей математике, физики, основ теории цепей. Из специальных разделов математики студентам должны быть известны основные операции и теоремы векторного анализа, матричная алгебра, теория функций комплексного переменного.

Освоение дисциплины ФРВ необходимо, как предшествующей, для последующих дисциплин: «Электродинамика и распространение радиоволн», «Устройства СВЧ и антенны», «Проектирование микроэлектронных устройств и антенн», «Оптические устройства в радиотехнике».

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ФРВ

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

1. Знать:
  - основные уравнения принципы и теоремы классической теории электромагнитного поля;

- свойства электромагнитных волн в свободном пространстве и закономерности их рассеивания на границе раздела сред;
- элементы теории дифракции и теории излучения (ОК-7).

**2. Уметь:**

- математически описывать простейшие волновые процессы, в том числе процессы излучения и дифракции электромагнитных волн;
- формулировать и решать задачи излучения и распространения электромагнитных волн, как в свободном пространстве, так и в слоисто-неоднородных средах (ОПК-2).

**3. Владеть:**

- методами решения прикладных задач классической теории электромагнитного поля; основами математического моделирования электромагнитных полей в задачах излучения и дифракции, в том числе, с помощью ЭВМ;
- практическими навыками измерения электромагнитных полей в физических задачах рассеяния, возбуждения и дифракции с помощью современной измерительной аппаратуры (ОК-7, ОПК-2).



#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ФРВ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часа.

№ 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	0,1							
2	Электромагнитное поле и параметры сред	4	1	0,1	0,2				11		0,4/100
3	Основные уравнения электродинамики	4	2	0,2	0,2				11		0,4/100
4	Граничные условия	4	3	0,2	0,2				11		0,4/100
5	Энергия электромагнитного поля	4	4	0,2	0,2				11		0,4/100
6	Волновые уравнения	4	5	0,2	0,2				11		0,4/100
7	Плоские электромагнитные волны в однородной изотропной среде	4	6	0,2	0,2				11		0,4/100
		4	7	0,2	0,2				11		0,4/100
8	Волновые явления на границе раздела двух сред	4	8	0,4	0,4				11		0,8/100
		4	9	0,4	0,4				11		0,8/100
		4	10	0,2	0,2				12		0,4/100
		4	11	0,2	0,2	4			14		4,4/100
9	Поверхностный эффект	4	12	0,2	0,2				12		0,4/100
10	Излучение электромагнитных волн	4	13	0,2	0,2				12		0,4/100
		4	14	0,2	0,2				11		0,4/100
11	Основные теоремы электродинамики	4	15	0,2	0,2				11		0,4/100
		4	16	0,2	0,2				11		0,4/100
12	Основы теории дифракции электромагнит-	4	17	0,2	0,2				11		0,4/100
		4	18	0,2	0,2				11		0,4/100

ных волн									
Всего		4	4	4		204		12/100	зачет с оценкой

<b>Матрица соотнесения разделов дисциплины и формируемых компетенций</b>				
Раздел дисциплины	Трудоемкость (в часах)	Компетенции		Количество компетенций
		ОК-7	ОПК-2	
1	0,1	+		1
2	0,3	+		1
3	0,4	+		1
4	0,4	+		1
5	0,4	+		1
6	0,4	+		1
7	1,2	+	+	2
8	7,2	+	+	2
9	0,8	+	+	2
10	1,6	+	+	2
11	1,6	+	+	2
12	1,6	+	+	2
Вес компетенций		0,67	0,33	

№ п/п	Темы практических занятий	Трудоемкость (в часах)
1	Уравнение Максвелла	0,5
2	Плоские электромагнитные волны	1
3	Отражение и преломление плоских электромагнитных волн	1
4	Элементарные излучатели	0,5
5	Интерференция и дифракция электромагнитных волн	1

№ п/п	Темы лабораторных работ	Трудоемкость (в часах)
1	Отражение и преломление электромагнитных волн на границе раздела диэлектрических сред	4



## 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. Объем занятий, проводимых с использованием интерактивных форм, составляет 4 часа лекционных занятий, 4 часа лабораторных и 4 часа практических занятий.

### 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. 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 глубокого и качественного освоения дисциплины студентами предоставляется электронная версия учебно-методического комплекса, включающего: конспект лекций; сборник задач; методические указания к лекциям, к практическим работам, к лабораторному практикуму; сборник компьютерных программ для подготовки к лабораторным занятиям; рабочую программу; список вопросов к зачету с оценкой; тесты для проверки остаточных знаний.

### 5.4. Лекции приглашённых специалистов

В рамках курса ФРВ 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

Для заочной формы обучения рейтинг-контроль не проводится.

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

6.1.Вопросы к зачету с оценкой.

1. Векторы электрического поля (Конспект лекций (КЛ) с.4-6).
2. Векторы магнитного поля (КЛ с.6-9).
3. Классификация сред (КЛ с.9-10).
4. Графическое изображение полей (КЛ с.10).
5. Потенциальные и вихревые поля (КЛ с.10-11).
6. Уравнение непрерывности (КЛ с.12-13).
7. Закон сохранения заряда (КЛ с.13).
8. Третье уравнение Максвелла (КЛ с.13-14).
9. Четвертое уравнение Максвелла (КЛ с.14).
10. Первое уравнение Максвелла (КЛ с.14-16).
11. Второе уравнение Максвелла (КЛ с.16-17).
12. Закон Ома в дифференциальной форме (КЛ с.17-18).
13. Уточнение понятия о проводниках и диэлектриках (КЛ с.18-19).
14. Полная система уравнений Максвелла (КЛ с.21).
15. Классификация электромагнитных явлений (КЛ с.21-23).
16. Уравнение Максвелла и сторонние токи (КЛ с.22-24).
17. Граничные условия для нормальных составляющих векторов электрического поля. Поверхностные заряды (КЛ с.25-27).
18. Граничные условия для касательных составляющих векторов электрического поля (КЛ с.27-28).
19. Граничные условия для нормальных составляющих векторов магнитного поля (КЛ с.28-29).
20. Граничные условия для касательных составляющих векторов магнитного поля. Поверхностный ток (КЛ с.29-31).
21. Полная система граничных условий. Граничные условия на поверхности идеального проводника (КЛ с.31-32).
22. Баланс энергий электромагнитного поля (КЛ с.32-36).
23. Плотность энергии электромагнитного поля (КЛ с.36-37).
24. Скорость распространения энергии электромагнитного поля (КЛ с.37-38).
25. Уравнение Максвелла для монохроматического поля (КЛ с.38-41).
26. Уравнение баланса для средней за период мощности (КЛ с.41-42).
27. Уравнение баланса для комплексной мощности (КЛ с.44-47).
28. Теорема единственности для внутренней и внешней задач электродинамики (КЛ с.49-53).
29. Уравнение Гельмгольца (КЛ с.49-50).
30. Электродинамические потенциалы для комплексных амплитуд (КЛ с.50-53).
31. Решение неоднородного уравнения Гельмгольца (КЛ с.53-54).
32. Уравнение Максвелла с учётом магнитных токов и зарядов (КЛ с.55-57).
33. Плоские волны в однородной изотропной среде без потерь (КЛ с.57-62).



34. Плоские волны в однородной изотропной среде с проводимостью отличной от нуля (КЛ с.62-67).
35. Электромагнитные волны в реальных диэлектриках (КЛ с.67-68).
36. Электромагнитные волны в реальных проводниках (КЛ с.68-70).
37. Поляризация волн (КЛ с.70-71).
38. Плоские волны, распространяющиеся в произвольном направлении (КЛ с.71-72).
39. Падение плоской волны на границу раздела двух диэлектриков (нормальная поляризация) (КЛ с.72-75).
40. Падение плоской волны на границу раздела двух диэлектриков (параллельная поляризация) (КЛ с.75-78).
41. Условие полного прохождения волны во вторую среду. Угол Брюстера (КЛ с.78-80).
42. Полное отражение от границы раздела двух сред (две диэлектрические среды) – поле в первой среде (КЛ с.80-85).
43. Полное отражение от границы раздела двух сред (две диэлектрические среды) – поле во второй среде (КЛ с.85-87).
44. Полное отражение от границы раздела двух сред (диэлектрик и идеальный проводник) (КЛ с.87-88).
45. Падение плоской волны на границу поглощающей среды (КЛ с.88-89).
46. Падение плоской волны на границу хорошо проводящей среды (КЛ с.89-90).
47. Приближенные граничные условия Щукина-Леонтовича (КЛ с.90-91).
48. Явление поверхностного эффекта (КЛ с.91-92).
49. Потери энергии в проводниках (КЛ с.92-93).
50. Эквивалентный поверхностный ток (КЛ с.93-94).
51. Поверхностное сопротивление проводника (КЛ с.94-95).
52. Элементарный электрический излучатель (КЛ с.95-96).
53. Векторный электрический потенциал для элементарного электрического излучателя (КЛ с.96-97).
54. Составляющие электромагнитного поля элементарного электрического излучателя (КЛ с.97-98).
55. Ближняя и дальняя зоны элементарного электрического излучателя (КЛ с.99-100).
56. Диаграмма направленности элементарного электрического излучателя (КЛ с.100-101).
57. Мощность излучения элементарного электрического излучателя. Сопротивление излучения (КЛ с.101-103).
58. Понятие о магнитном токе (КЛ с.103).
59. Элементарный щелевой излучатель (КЛ с.103-106).
60. Лемма Лоренца (КЛ с.107-109).
61. Теорема взаимности для элементарных излучателей (КЛ с.109-110).
62. Эквивалентные источники электромагнитного поля. Принцип Гюйгенса (КЛ с.110-112).
63. Элемент Гюйгенса (КЛ с.113-116).
64. Строгая постановка задачи дифракции (КЛ с.116-118).
65. Дифракция плоской волны на круговом цилиндре (КЛ с.118-123).
66. Приближение Гюйгенса-Кирхгофа (КЛ с.123-125).
67. Геометрическая оптика (КЛ с.125-128).
68. Метод краевых волн (КЛ с.128-130).
69. Геометрическая теория дифракции (КЛ с.130-132).



6.2. Текущий контроль. Тесты для контроля знаний по дисциплине «Физика радиоволн».

Для тестирования подготовлено 10 вариантов заданий, каждое из которых содержит 4 теоретических вопроса из разных разделов.

Тест №1

### Вариант 1

1. Для какого класса электромагнитных явлений справедлив закон полного тока в следующей форме:  $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \vec{j}^{\text{в}} d\vec{S}$ ;  $\text{rot} \vec{H} = \vec{j}^{\text{в}}$ ?
  - 1) Стационарного;
  - 2) Нестационарного;
  - 3) Квазистационарного.
2. Как связано направление переноса мощности с ориентацией векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  в плоской однородной волне?
  - 1) Перпендикулярно плоскости расположения векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ ;
  - 2) Совпадает с вектором  $\vec{E}$ ;
  - 3) Совпадает с вектором  $\vec{H}$ .
3. Поясните физическое содержание задачи рассеяния плоской волны падающей на плоскую границу раздела сред.
  - 1) Физический смысл основан на граничных условиях и условии излучения, согласно которому возбуждаемая поверхность порождает лишь уходящие от неё волны: отраженные и преломленные;
  - 2) Физический смысл решений основан на использовании леммы Лоренца и теоремы эквивалентности, согласно которым возбуждаемая поверхность порождает лишь уходящие от неё волны: отраженные и преломленные;

3) Физический смысл решений основан на использовании принципа перестановочной двойственности и теоремы взаимности, согласно которым возбуждаемая поверхность порождает уходящие от неё волны: отраженные и преломленные.

4. Что понимается под плоской электромагнитной волной?

Под плоской подразумевается волна, распространяющаяся вдоль линейной координаты и в любой фиксированный момент времени неизменная в плоскости, перпендикулярной этой координате:

$$1) \bar{P} = \bar{l}_z \dot{I}_z, \dot{E}_z = H_z = 0; \frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} = 0; \frac{\partial}{\partial z} \neq 0;$$

$$2) \bar{P} = \bar{l}_z \dot{I}_z, E_z, H_z \neq 0; \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \neq 0; \frac{\partial}{\partial z} = 0;$$

$$3) \bar{P} = \bar{l}_z \dot{I}_z, E_z = H_z = 0; \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \neq 0; \frac{\partial}{\partial z} = 0.$$

## Вариант 2

1. Истоками (стоками) какого вектора электрического поля являются как свободные, так и связанные электрические заряды?

$$1) \bar{E};$$

$$2) \bar{D};$$

$$3) \bar{P}.$$

2. Различаются ли фазовая скорость и скорость распространения энергии для однородной плоской волны в средах без потерь и в поглощающих средах?

$$1) V_{\phi|\sigma=0} > V_{\phi|\sigma \neq 0}; \quad V_{\varepsilon|\sigma=0} > V_{\varepsilon|\sigma \neq 0};$$

$$2) V_{\phi|\sigma=0} = V_{\phi|\sigma \neq 0}; \quad V_{\varepsilon|\sigma=0} = V_{\varepsilon|\sigma \neq 0};$$

$$3) V_{\phi|\sigma=0} < V_{\phi|\sigma \neq 0}; \quad V_{\varepsilon|\sigma=0} < V_{\varepsilon|\sigma \neq 0}.$$

3. При каких условиях в задаче рассеяния плоской волны на границе раздела диэлектрических сред отсутствует отражённая волна?

$$1) \text{ при параллельной поляризации, } \operatorname{tg} \varphi = \sqrt{\varepsilon_2 / \varepsilon_1};$$

$$2) \text{ при нормальной поляризации, } \operatorname{tg} \varphi = \sqrt{\mu_2 / \mu_1};$$

$$3) \text{ при круговой поляризации, } \sin \varphi = n_2 / n_1.$$

4. Что такое элементарный электрический излучатель и каковы его направленные свойства?



- 1) линейный проводник с переменным электрическим током, длина которого  $l \ll \lambda$ ;  $F(\theta) = \sin\theta$ ;  $F(\varphi) = 1$ ;
- 2) проводник с переменным электрическим током, длиной  $l \ll \lambda$ ;  $F(\theta) = 1$ ;  $F(\varphi) = \sin\theta$ ;
- 3) фрагмент фронта распространяющейся волны ( $\Delta S \ll \lambda^2$ );  $F(\theta) = (1/2)(1 + \cos\theta)$ .

### Вариант 3

1. Как выразить средний за период поток мощности через замкнутую поверхность  $S$ , ограничивающую объем  $V$ , включающий сторонние источники?
  - а)  $P_{\Sigma \text{ср}} = R_e \oint_S \dot{\vec{P}} d\vec{S}$ ;
  - б)  $P_{\Sigma \text{ср}} = \oint_S \dot{\vec{P}} d\vec{S}$ ;
  - в)  $P_{\Sigma \text{ср}} = \int_S \dot{\vec{P}} d\vec{S}$ .
  
2. В чем состоит главное различие волн в непоглощающих и поглощающих средах?
  - 1)  $\sigma \neq 0$ :  $V_\phi, V_\varepsilon, Z_c \sim f(\omega)$ ;
  - 2)  $\sigma = 0$ :  $V_\phi, V_\varepsilon, Z_c \sim f(\omega)$ ;
  - 3)  $\sigma \neq 0$ :  $V_\phi, V_\varepsilon, Z_c \neq f(\omega)$ .
  
3. При каких условиях в задаче рассеяния плоской волны на границе раздела диэлектрических сред отсутствует преломленная волна?
  - 1)  $n_1 > n_2, \varphi > \varphi_{\text{кр}}$ ;
  - 2)  $n_1 < n_2, \varphi > \varphi_{\text{кр}}$ ;
  - 3)  $n_1 < n_2, \varphi < \varphi_{\text{кр}}$ .
  
4. В чем заключается основные различия поля элементарного электрического излучателя в ближней и дальней зонах?
  - 1)  $\gamma r \gg 1$ :  $\dot{E}_\theta, \dot{H}_\varphi \sim f(1/r)$ ;  $\dot{E}_\theta / \dot{H}_\varphi = Z_c$ ;  $\dot{\vec{P}} = R_c \dot{\vec{P}}$ ;
  - 2)  $\gamma r \gg 1$ :  $\dot{E}_\theta, \dot{H}_\varphi, \dot{E}_r \sim f(1/r^n)$ ;  $n \geq 2$ ,  $\dot{P}_r \approx \text{Im}$ ;
  - 3)  $\gamma r \ll 1$ :  $\dot{E}_\theta, \dot{H}_\varphi \sim f(1/rn)$ ;  $E_\theta / H_\varphi = Z_c$ ;  $\dot{\vec{P}} = \text{Re} \dot{\vec{P}}$ .

Тест №2

Вариант 1

1. Всегда ли вектора напряженности и индукций коллинеарны?
  - 1)  $\vec{E} \parallel \vec{D}, \vec{H} \parallel \vec{B}$  в изотропных средах;
  - 2)  $\vec{E} \parallel \vec{D}, \vec{H} \parallel \vec{B}$  в анизотропных средах;
  - 3)  $\vec{E} \parallel \vec{D}, \vec{H} \parallel \vec{B}$  в гиромангнитных средах.
  
2. Могут ли электрические и магнитные составляющие поля плоской волны быть синфазны при распространении в поглощающей среде?
  - 1) Нет;
  - 2) Да;
  - 3) При действительном значении  $\dot{Z}_c$ .
  
3. Что такое направляемые волны? Когда они являются поверхностными?
  - 1) Волна, распространяющаяся вдоль границы раздела; направляемая волна с экспоненциально убывающей в нормальном направлении к направляющей поверхности;
  - 2) Волна, распространяющаяся перпендикулярно границе раздела сред; волна экспоненциально убывающая в направлении распространения;
  - 3) Волна, распространяющаяся вдоль линейной координаты; волна с неизменными параметрами в плоскости перпендикулярной направлению распространения.
  
4. Как найти поле элементарного магнитного излучателя, используя принцип перестановочной двойственности?
 

В выражениях для поля элементарного электрического излучателя осуществить замены:

  - 1)  $\dot{E} \leftrightarrow \dot{H}; \dot{j}^{\partial} \leftrightarrow -\dot{j}^m; \mu_a \leftrightarrow -\varepsilon_a;$
  - 2)  $\dot{E} \leftrightarrow -\dot{H}; \dot{j}^{\partial} \leftrightarrow -\dot{j}^m; \mu_a \leftrightarrow -\varepsilon_a;$
  - 3)  $\dot{E} \leftrightarrow \dot{H}; \dot{j}^{\partial} \leftrightarrow -\dot{j}^m; \mu_a \leftrightarrow \varepsilon_a.$

## Вариант 2

1. Какой характер будет иметь диэлектрическая проницаемость: среды неоднородной изотропной и среды однородной анизотропной?
  - 1)  $\varepsilon = f(P); \varepsilon = \|\varepsilon\|;$
  - 2)  $\varepsilon = f(P); \varepsilon = \text{const};$
  - 3)  $\varepsilon = \|\varepsilon\|; \varepsilon = f(P).$



2. Каким соотношением связаны поперечные составляющие плоской волны, распространяющейся в положительном направлении координаты  $Z$ ?

$$1) \dot{H}_1 = 1/\dot{Z}_c [\overline{1_z \dot{E}_1}];$$

$$2) \dot{H}_1 = z_c [\overline{1_z \dot{E}_1}];$$

$$3) \dot{H}_1 = z_c [\dot{E}_1 \overline{1_z}].$$

3. В каких пределах лежит значение фазовой скорости направляемой поверхностной волны на границе раздела диэлектрических сред?

$$1) v_{01} < v_\phi < v_{02};$$

$$2) v_{01} > v_\phi > v_{02};$$

$$3) c < v_\phi < v_{02}.$$

4. Как вычислить мощность излучения элементарного электрического и магнитного излучателей?

$$1) P_{\Sigma_{cp}} = \oint_S \overline{\Pi}_{cp} d\overline{S};$$

$$2) P_{\Sigma_{cp}} = \int_S \overline{\Pi}_{cp} d\overline{S};$$

$$3) P_{\Sigma_{cp}} = \int_V \overline{\Pi}_{cp} dV.$$

### Вариант 3

1. Каким граничным условиям удовлетворяют нормальные и тангенциальные составляющие электромагнитного поля на границе раздела сред с различными электродинамическими параметрами?

$$1) E_{1\tau} = E_{2\tau}; H_{1\tau} = H_{2\tau}; D_{1n} = D_{2n}; B_{1n} = B_{2n};$$

$$2) D_{1\tau} = D_{2\tau}; B_{1\tau} = B_{2\tau}; E_{1n} = E_{2n}; H_{1n} = H_{2n};$$

$$3) E_{1\tau} = E_{2\tau}; H_{1n} = H_{2n}; D_{1n} = D_{2n}; B_{1n} = B_{2n}.$$

2. Как выглядит фазовый множитель плоской волны, распространяющейся в направлении  $Z'$ , составляющем с осями декартовой системы координат углы  $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ ?

$$1) e^{-jkz'} = e^{-jk(x\cos\varphi_x + y\cos\varphi_x + z\cos\varphi_z)};$$

$$2) e^{-jkz'} = e^{-jk(xtg\varphi_x + ytg\varphi_x + ztg\varphi_z)};$$

$$3) e^{-jkz'} = e^{-jk(x\sin\varphi_x + y\sin\varphi_x + z\sin\varphi_z)}.$$

3. Как связаны между собой фазовая скорость и скорость распространения энергии направляемой поверхностной волны, существующей на границе раздела диэлектрических сред?
- 1)  $v_{\phi} v_{\partial} = v_{01}^2$ ;
  - 2)  $v_{\phi} = v_{\partial}$ ;
  - 3)  $v_{\phi} v_{\partial} = v_{02}^2$ .
4. Что понимается под сопротивлением излучения элементарного электрического излучателя? Каков его физический смысл?
- 1)  $P_{\Sigma_{cp}} = I^2 R_{\Sigma} / 2$ ;  $I^2 = const, R_{\Sigma} \uparrow \rightarrow P_{\Sigma_{cp}} \uparrow$ ;
  - 2)  $P_{\Sigma_{cp}} = U_m^2 / 2 R_{\Sigma_{из}}$ ;  $U_m = const, R_{\Sigma_{из}} \uparrow \rightarrow P_{\Sigma_{cp}} \downarrow$ ;
  - 3)  $P_{\Sigma_{cp}} = (R_{\Sigma} / 2) \oint_S |\dot{\vec{H}}_{om}|^2 dS$ ;  $R_{\Sigma} \uparrow \rightarrow P_{\Sigma_{cp}} \uparrow$ .

#### Вариант 4

1. Какие граничные условия выполняются на поверхности идеального проводника?
- 1)  $E_{1\tau} = 0$ ;  $H_{1n} = 0$ ;
  - 2)  $E_{1n} = 0$ ;  $H_{1\tau} = 0$ ;
  - 3)  $\dot{I}_{\tau} \dot{E}_{1\tau} = \dot{Z}_{c2} [\bar{I}_n \dot{H}_1]$ .
2. Определите поляризацию плоской волны, распространяющейся вдоль координаты Z и образованную наложением двух ортогонально поляризованных волн одного направления:  $\dot{\vec{E}}_m = \dot{\vec{E}}_{m1} + \dot{\vec{E}}_{m2} = (\bar{I}_x \dot{A} + \bar{I}_y \dot{B}) e^{-jkz}$ , если фазы волн совпадают ( $\dot{A} = A e^{j\varphi}$ ,  $\dot{B} = B e^{j\varphi}$ ):
- 1) линейная;
  - 2) круговая;
  - 3) эллиптическая.
3. Какие особенности наблюдаются в случае наклонного падения плоской волны из диэлектрика на плоскую идеально проводящую поверхность?
- 1) полное внутреннее отражение при любом угле падения;
  - 2) полное внутреннее отражение при  $\varphi > \varphi_{кр}$ ;
  - 3) полное внутреннее отражение при  $\varphi = \varphi_{Б}$ .



4. Что понимают под поверхностным сопротивлением проводника?

- 1)  $\dot{Z}_S, \dot{E}_0 = \dot{Z}_S \dot{J}^{\text{э}}$ ;
- 2)  $\dot{Z}_S, \dot{E} = \dot{Z}_C [\dot{H}, \bar{1}_z]$ ;
- 3)  $R_\Sigma, P_{\Sigma \text{cp}} = (I^{\text{э}2} \cdot R_\Sigma) / 2$ .

Тест №3

### Вариант 1

1. Какое соотношение можно рассматривать в качестве критерия деления сред на проводники и диэлектрики?

- 1)  $\frac{\sigma}{\omega \varepsilon_a} \gg 1$  – проводники;  $\frac{\sigma}{\omega \varepsilon_a} \ll 1$  – диэлектрики;
- 2)  $\frac{\sigma}{\omega \varepsilon_a} \ll 1$  – проводники;  $\frac{\sigma}{\omega \varepsilon_a} \gg 1$  – диэлектрики;
- 3)  $\frac{\sigma}{\omega \varepsilon_a} \ll 0$  – проводники;  $\frac{\sigma}{\omega \varepsilon_a} = \infty$  – диэлектрики.

2. Определить поляризацию плоской волны, распространяющейся вдоль координаты  $Z$ , и образованную наложением двух ортогонально поляризованных волн одного направления:  $\dot{E}_m = \dot{E}_{m1} + \dot{E}_{m2} = (\bar{1}_x \dot{A} + \bar{1}_y \dot{B}) e^{-jkz}$ , при одинаковых амплитудах ( $A = B$ ) и фазовом различии  $90^\circ$ :  $\dot{A} = A e^{j\varphi}$ ,  $\dot{B} = B e^{j(\varphi - 90^\circ)}$ .

- 1) круговая правая;
  - 2) круговая левая;
  - 3) эллиптическая;
3. Какие особенности имеет преломленная волна при падении плоской волны на границу поглощающей среды?

- 1)  $\varphi_n = \varphi_d$ ;
- 2)  $\varphi_n = \varphi_0$ ;
- 3)  $\varphi_n = \varphi$ ;

4. Зачем вводится понятие эквивалентного поверхностного тока? Каким образом определяется его величина?

- 1) для упрощения расчетов;  $\dot{J}^{\text{э}} = [1_n \dot{H}_0]$
- 2) для уточнения расчетов;  $\int_{\Delta S} \dot{J}^{\text{э}} d\bar{S} = \oint_L \bar{H} d\bar{l}$ ;
- 3) для повышения достоверности;  $\dot{J}^{\text{э}} = \sigma \dot{E}$ .

## Вариант 2

1. Какой характерной особенностью с точки зрения распределения зарядов обладают среды с проводимостью отличной от нуля?

1)  $\rho^3(p, t) = \dot{\rho}^3(p, 0)e^{-(\sigma/\epsilon_a)t}$ ;

2)  $\rho^3(p, t) = \dot{\rho}^3(p, 0)e^{(\sigma/\epsilon_a)t}$ ;

3)  $\rho^3(p, t) = \dot{\rho}^3(p, 0)e^{(\epsilon_a/\sigma)t}$ .

2. С какими особенностями связано распространение плоских волн в реальных диэлектриках?

1)  $tg\delta \ll 1$ ;  $\beta = \omega\sqrt{\mu_a\epsilon_a} \cdot (1 + tg^2 \delta/8)$ ;  $v_\Phi = v_\Delta = v_0/(1 + tg^2 \delta/8)$ ;

$\alpha \cong \left(\frac{\sigma}{2}\right)\sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_a}}$  - дисперсия выражена слабо;

2)  $tg\delta \gg 1$ ;  $\beta = \alpha = \omega\sqrt{\mu_0\delta/2}$ ;  $v_\Phi = v_\Delta = \sqrt{2\omega/\mu_0\sigma}$ ;

$\lambda = 2\pi/\sqrt{f\mu_a\sigma}$ ; - дисперсия выражена сильно;

3)  $tg\delta = 0$ ;  $\beta = \omega\sqrt{\mu_a\epsilon_a}$ ;  $v_\Phi = v_\Delta = v_0$ ;  $\lambda = v_0/f$  - дисперсия отсутствует;

3. В чём состоит приближённость граничных условий Шукина-Леонтовича?

1)  $\bar{1}_\tau \dot{E}_{1\tau} = \dot{Z}_{c2} [\bar{1}_n \dot{H}_1]$ ;  $\varphi_g \cong 0$ ;

2)  $\bar{E}_2 = \dot{Z}_{c2} [\bar{1}_n \dot{H}_1]$ ;  $tg\varphi_g = \frac{k_1 \sin \varphi}{Re \sqrt{k_2^2 - k_1^2 \sin^2 \varphi}}$

3)  $\dot{E}_0^{np} = \dot{E}_0^{пад} T_{\perp(\parallel)}$ ;  $\sin \varphi_n = k_1/k_2 \sin \varphi$ .

4. В чём физическая суть принципа эквивалентности?

Замена известного распределения поля на поверхности:  $\vec{E}_s, \vec{H}_s$  - распределением эквивалентных сторонних источников:

1)  $\vec{j}^{\vec{\Theta}} = [\bar{1}_n \dot{H}^s]$ ;  $\tau^{\Theta} = \epsilon_a (\bar{1}_n \dot{E}^s)$ ;  $\dot{j}^M = -[\bar{1}_n \dot{E}^s]$ ;  $\tau^M = \mu_a (\bar{1}_n \dot{H}^s)$ ;

2)  $\vec{j}^{\vec{\Theta}} = [\bar{1}_n \dot{E}^s]$ ;  $\tau^{\Theta} = \mu_a (\bar{1}_n \dot{H}^s)$ ;  $\dot{j}^M = [\bar{1}_n \dot{H}^s]$ ;  $\tau^M = \epsilon_a (\bar{1}_n \dot{E}^s)$ ;

3)  $\vec{j}^{\vec{\Theta}} = [\bar{1}_n \dot{H}^s]$ ;  $\tau^{\Theta} = \mu_a (\bar{1}_n \dot{H}^s)$ ;  $\dot{j}^M = [\bar{1}_n \dot{E}^s]$ ;  $\tau^M = \epsilon_a (\bar{1}_n \dot{E}^s)$ .

## Вариант 3



1. Может ли мощность сторонних источников быть отрицательной величиной?

- 1) да,  $P_{ст} < 0$ , если  $\bar{E} \bar{j}^{эст} > 0$ ;
- 2) да,  $P_{ст} < 0$ , если  $\bar{E} \bar{j}^{эст} < 0$ ;
- 3) нет,  $P_{ст} > 0$  – всегда.

2. С какими особенностями связано распространение плоских волн в реальных проводниках?

- 1)  $\text{tg} \delta \gg 1$ ,  $\beta = \alpha = \sqrt{\omega \mu_a \sigma / 2}$ ;  $v_\Phi = v_\Delta = \sqrt{\frac{2\omega}{\mu_a \sigma}}$ ;  $\lambda = \frac{2\pi}{\sqrt{f \mu_a \sigma}}$  - дисперсия выражена

сильно;

- 2)  $\text{tg} \delta \ll 1$ ;  $\beta = \omega \sqrt{\mu_a \varepsilon_a} \cdot \left(1 + \frac{\text{tg}^2 \delta}{8}\right)$ ;  $v_\Phi = v_\Delta = v_0 / \left(1 + \frac{\text{tg}^2 \delta}{8}\right)$ ;  $\lambda \cong (\sigma/2) \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}}$  -

дисперсия выражена слабо;

- 3)  $\text{tg} \delta = 0$ ;  $\beta = \omega \sqrt{\mu_a \varepsilon_a} \left(1 + \frac{\text{tg}^2 \delta}{8}\right)$ ;  $v_\Phi = v_\Delta = v_0$ ,  $\lambda = v_0 / f$  - дисперсия

отсутствует;

3. Как выглядят приближенные граничные условия Щукина-Леонтовича?

- 1)  $\dot{\bar{I}}_\tau \dot{E}_{1\tau} = \dot{z}_{c2} [\bar{1}_n \dot{H}_1]$ ;
  - 2)  $E_{1\tau} = E_{2\tau}$ ;  $H_{1\tau} = H_{2\tau}$ ;  $D_{1n} = D_{2n}$ ;  $B_{1n} = B_{2n}$ ;
  - 3)  $(D_{1n} - D_{2n}) = \tau^{\mathcal{D}}$ ;  $[\bar{1}_n \dot{E}_1] - [\bar{1}_n \dot{E}_2] = -\dot{j}^m$ ;  $(B_{1n} - B_{2n}) = \tau^m$ ;
- $$[\bar{1}_n \dot{H}_1] - [\bar{1}_n \dot{H}_2] = \dot{j}^m.$$

4. Что собой представляет элемент Гюйгенса? Какими направленными свойствами он обладает?

- 1) элемент фронта распространяющейся волны:  $F(\theta) = (1/2)(1 + \cos \theta)$ ;
- 2) линейный проводник с переменным электрическим током, длиной  $l \ll \lambda$ ;  $F(\theta) = \sin \theta$ ;  
 $F(\varphi) = 1$ ;
- 3) рамочный проводник с переменным электрическим током, длиной  $l \ll \lambda$ ;  $F(\theta) = 1$ ;  
 $F(\varphi) = \sin \theta$ .

## 7.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ФРВ

### 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. -432 с.
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 ФРВ

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

- лабораторные макеты и измерительное оборудование специализированной лаборатории (510-3) по дисциплине ФРВ (3 лабораторные работы): Г4-114, Г4-37А, Г4-80 - 2 шт., У2-8, В3-38 - 3шт., ВМТ-Д, П6-23А;
- компьютеры со специализированным программным обеспечением LabVIEW (8 шт.) в специализированной лаборатории (504-3) для выполнения виртуальных лабораторных работ по дисциплине ФРВ (3 виртуальных работы).


Программа составлена в соответствии с требованием ФГОС ВО по направлению 11.03.01 Радиотехника.

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 № 1 от 1.09.16 года.

Заведующий кафедрой РТ и РС  О.Р. Никитин

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

Протокол № 1 от 2.09.16 года.

Председатель комиссии \_\_\_\_\_  О.Р. Никитин



**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

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 образования и науки 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 \_\_\_\_ 2017 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: \_\_\_\_\_