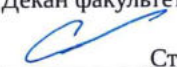


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВОЕНМЕХ» ИМ. Д.Ф. УСТИНОВА

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  
  
\_\_\_\_\_  
(подпись) Страхов С. Ю.  
ФИО  
« 02 » 02 2022

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ФАЗИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Направление/специальность подготовки	12.03.02 Оптотехника
Специализация/профиль/программа подготовки	Приборы и системы лучевой энергетики
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	И Информационных и управляющих систем
Выпускающая кафедра	И1 ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА
Кафедра-разработчик рабочей программы	И1 ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	7	3	108	51	34	17	0	57	0	0	57	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**12.03.02 Оптотехника**

год набора группы: 2021

Программу составил:

Кафедра И1 ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА  
Савин Сергей Владимирович, старший преподаватель



Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **И1 ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Борейшо А.С., д.т.н., проф.



Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**И1 ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Борейшо А.С., д.т.н., проф.



## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ФАЗИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ**

### **Разделы рабочей программы**

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

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

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

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-1.2 — Способность проводить измерения электромагнитных полей на современном научном оборудовании
ПСК-1.4 — Способность проектировать приборы и системы, предназначенные для генерации и управления электромагнитного излучения оптического диапазона

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-1.2**

*знания:*

методов измерения параметров и модуляции когерентного оптического излучения.;

*умения:*

использования научного оборудования для измерения характеристик электромагнитного излучения.;

*навыки:*

расчёта параметров электрооптических модуляторов..

### **ПСК-1.4**

*знания:*

- принципов построения фазированных решеток излучателей, физических процессов протекающих в них,

- особенностей конструкции решеток, излучающих в различных диапазонах электромагнитного спектра,

- характеристик направленности одиночных излучателей и их систем.;

*умения:*

- обоснования характеристик массивов фазированных лазерных излучателей,

- обоснование типа конструкции фазированной решетки излучателей, необходимой для решения технической задачи.;

*навыки:*

расчёта характеристик направленности фазированных решеток излучателей..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ФАЗИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **вариативной части блока 1** программы подготовки по направлению *12.03.02 Опотехника*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ФИЗИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ПРИБОРОВ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
- ОПК-3 — Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики оптических измерений

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемые компетенции, %	
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ПСК-1,2	ПСК-1,4
4	7	Раздел 1. Раздел 1. Фазированные решетки излучателей СВЧ диапазона. 1.1 Антенны и устройства СВЧ. 1.2 Фазированные решетки излучателей СВЧ диапазона. 1.3 Материально-техническая база и направления развития фазированных решеток.	52	25	17	8	27	10	50
4	7	Раздел 2. Раздел 2. Фазированные решетки излучателей оптического диапазона. 2.1. Принципы построения фазированных решеток излучателей оптического диапазона. Типы излучателей. 2.2. Виды и технология создания фазированных решеток. 2.3 Области применения фазированных решеток.	56	26	17	9	30	90	50
Всего за 7 семестр			108	51	34	17	57	100	100
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	100

#### 3.2. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Раздел 1. Фазированные решетки излучателей СВЧ диапазона.	Исследование характеристик направленности одиночного излучателя	4
2		Исследование характеристик направленности фазированной решётки излучателей	4
3	Раздел 2. Раздел 2. Фазированные решетки излучателей оптического диапазона.	Исследование характеристик электрооптического модулятора	4
4		Исследование энергетических характеристик лазерной решётки	5
Всего за 7 семестр			17

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Раздел 1. Фазированные решетки излучателей СВЧ диапазона.	Изучение рекомендуемой литературы	13
2		Подготовка к лабораторной работе 1.1	7
3		Подготовка к лабораторной работе 1.2	7
4	Раздел 2. Раздел 2. Фазированные решетки излучателей оптического диапазона.	Изучение рекомендуемой литературы	16
5		Подготовка к лабораторной работе 2.1	7
6		Подготовка к лабораторной работе 2.2	7
Всего за 7 семестр			57

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7						ТекК						ТекК					Вопр.Диф.Зач, диф. зач.

Условные обозначения:

- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- вопросы для текущего контроля;
- вопросы к дифференцированному зачету.

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

- вопросы для текущего контроля.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. В. Лентовский. . Приборы квантовой электроники. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2007, эл. рес.
2. Г. Л. Киселёв. . Квантовая и оптическая электроника. Санкт-Петербург: Лань, 2020, эл. рес.
3. Е. Г. Бородин, В. В. Лентовский. . Основы квантовой электроники. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 353 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. А. И. Братчиков, В. И. Васин, О. О. Василенко. . Активные фазированные антенные решётки. М.: Радиотехника, 2004, 3 экз.
2. Д. И. Воскресенский. . Антенны с обработкой сигнала. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2002, 3 экз.
3. Д. И. Воскресенский, В. И. Степаненко, В. С. Филиппов. . Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решёток. М.: Радиотехника, 2003, 3 экз.
4. Ю. Айхлер, Г. И. Айхлер. . Лазеры. Исполнение, управление, применение. М.: Техносфера, 2012, 0 экз.
5. Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер. . Лазеры. Исполнение, управление, применение. М.: Техносфера, 2008, 3 экз.

### 5.3. Периодические издания:

1. Радиотехника – XXI век.

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

1. <https://www.quantum-electron.ru> — Квантовая электроника;
2. <https://e.lanbook.com> — ЭБС Лань.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Mathcad Prime 3.1.

### 5.6. Информационные технологии:

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



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

### **6.1. Лекционные занятия:**

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

### **6.2. Лабораторные занятия:**

1. Mathcad Prime 3.1.

### **6.3. Прочее:**

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

### **Аннотация рабочей программы**

Дисциплина **ФАЗИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **вариативной части блока 1** программы подготовки по направлению **12.03.02 Оптотехника**. Дисциплина реализуется на факультете И Информационных и управляющих систем БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой И1 ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА.

Дисциплина нацелена на формирование компетенций:

ПСК-1.2 Способность проводить измерения электромагнитных полей на современном научном оборудовании;

ПСК-1.4 Способность проектировать приборы и системы, предназначенные для генерации и управления электромагнитного излучения оптического диапазона.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с применением фазированных решеток излучателей различного диапазона, особенностями их проектирования и конструирования, а также их элементной базой.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- вопросы для текущего контроля;
- вопросы к дифференцированному зачету.

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

- вопросы для текущего контроля.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

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

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

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

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Раздел 1. Фазированные решетки излучателей СВЧ диапазона.</b>		
Изучение рекомендуемой литературы	Д. И. Воскресенский. . Антенны с обработкой сигнала: М.: САЙНС-ПРЕСС, 2002 (1-14)	13
Подготовка к лабораторной работе 1.1	А. И. Братчиков, В. И. Васин, О. О. Василенко. . Активные фазированные антенные решётки: М.: Радиотехника, 2004 (1-15) Д. И. Воскресенский, В. И. Степаненко, В. С. Филиппов. . Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решёток: М.: Радиотехника, 2003 (1-20)	7
Подготовка к лабораторной работе 1.2		7
Итого по разделу 1		27
<b>Раздел 2. Раздел 2. Фазированные решетки излучателей оптического диапазона.</b>		
Изучение рекомендуемой литературы	Г. Л. Киселёв. . Квантовая и оптическая электроника: Санкт-Петербург: Лань, 2020 (1-10) Ю. Айхлер, Г.-И. Айхлер. . Лазеры. Исполнение, управление, применение: М.: Техносфера, 2008 (1-24)	16
Подготовка к лабораторной работе 2.1	Ю. Айхлер, Г. И. Айхлер. . Лазеры. Исполнение, управление, применение: М.: Техносфера, 2012 (1-24)	7
Подготовка к лабораторной работе 2.2	В. В. Лентовский. . Приборы квантовой электроники: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2007 (3) Е. Г. Бородина, В. В. Лентовский. . Основы квантовой электроники: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (3)	7
Итого по разделу 2		30

## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- вопросы для текущего контроля;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- дифференцированный зачет.

### Критерии оценивания

#### Вопросы для текущего контроля

- 1.2 Как зависят от расстояния  $r$  значения амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей в дальней зоне элементарных излучателей?
- 1.2 Какие выражения описывают регулярность линии передачи?
- 1.3 Что такое шумовая температура?
- 1.4 Какие параметры симметричного вибратора определяют мощность его излучения?
- 1.5 Чем ограничена длина симметричного вибратора?
- 1.6 Возможно ли создание антенной решетки с круговой поляризацией поля? Какова могла бы быть ее конструкция?
- 1.7 Где расположен фазовый центр симметричного вибратора?
- 1.8 Какова поляризация волн сингулярной антенной решетки? Можно ли ей управлять?
- 1.9 Что такое взаимный импеданс?
- 1.10 Есть ли у симметричного вибратора реактивное сопротивление?
- 1.11 В чем заключается понятие тонкого «вибратора»?
- 1.12 Что такое множитель системы?
- 2.1 Сформулируйте принципы работы электрооптических модуляторов.
- 2.2 Напишите выражения для пространственного распределения поля лазерной решетки в дальней зоне.
- 2.3 Перечислите параметры единичных излучателей, влияющие на модовый режим лазерной решетки.

#### Вопросы к дифференцированному зачету

1. Источники электромагнитного излучения. Классификация и характеристики.
2. Волновое уравнение, скалярный и векторный потенциалы.
3. Элементарные источники излучения. Поле в ближней и дальней зонах.
4. Понятие о линии передачи СВЧ энергии.
5. Симметричный вибратор.
6. Рупорная и директорная антенны. Зеркальная антенна.
7. Излучение линейной эквидистантной антенной решетки.
8. Топологии антенных решеток, технические характеристики.
9. АФАР, сферы применения, достоинства и недостатки.
10. Приемно-передающий модуль АФАР.
11. Устройства СВЧ техники.
12. Адаптивная ФАР.
13. Антенные решетки с электронным сканированием, характеристики, обеспечение максимума КНД.
14. Антенные решетки с электронным сканированием, свойства ДН АР, удовлетворяющей условию максимума КНД. Оценка смещения луча.
15. Классификация и области применения ФЛР (фазированных лазерных решеток).
16. Устройства для модуляции лазерного излучения.
17. Сопряженное фазирование независимых одномодовых излучателей. Схема с общим гетеродином.
18. Сопряженное фазирование независимых одномодовых излучателей. Схема с реперным гетеродином.
19. Внешняя синхронизация лазеров путём инжекции внешнего излучения. Системы с глобальной связью.
20. Внешняя синхронизация лазеров путём инжекции внешнего излучения. Системы со связью между соседними излучателями.
21. Уравнения излучения для оптически связанных лазеров.
22. Эффект Тэлбота. Резонаторы Тэлбота различной геометрии.
23. Синхронизация МКВ (многоканальный волоконный) лазеров.
24. Построение ФЛР из волоконных лазеров.

#### Дифференцированный зачет

К дифференцированному зачету допускаются студенты, которые успешно выполнили лабораторные работы и сдали отчеты по ним.

Зачет проводится в устной форме по билетам, выданным преподавателем. Студент должен подготовить, пользуясь конспектом, составленным по материалам курса, ответить на два вопроса.

Оценка «отлично» ставится, если ответ является полным и правильным. Материал изложен в определенной логической последовательности. При ответе на дополнительные вопросы студент показал знание основных понятий и формул.

Оценка «хорошо» ставится, если ответ является полным и правильным, при этом допущены несущественные ошибки, исправленные после наводящих вопросов преподавателя. При ответе на дополнительные вопросы студент демонстрирует понимание основного содержания учебного материала. Студент свободно ориентируется в материале, изложенном в конспекте.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если студент обнаруживает знание и понимание материала курса, но излагает материал неполно и допускает существенные ошибки в формулировке основных понятий и формул. Ответ на дополнительные вопросы вызывает у экзаменуемого затруднения или содержит ошибки, которые он может исправить после наводящих вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если при ответе обнаружено непонимание основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые учащийся не может исправить при наводящих вопросах преподавателя.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ПСК-1.2	ПСК-1.4	
4	7	Раздел 1. Раздел 1. Фазированные решетки излучателей СВЧ диапазона.	52	25	17	8	27	10	50	Вопросы для текущего контроля
4	7	Раздел 2. Раздел 2. Фазированные решетки излучателей оптического диапазона.	56	26	17	9	30	90	50	Вопросы для текущего контроля, Вопросы к дифференцированному зачету
Всего за 7 семестр			108	51	34	17	57	100	100	
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	100	