

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 07.07.2023 11:51:01  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)»**

---

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**ДИСЦИПЛИНЫ**

**«АНТЕННЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН»**

**для подготовки бакалавров**

**по направлению**

**11.03.01 «Радиотехника»**

**по профилю**

**«Аудиовизуальная техника»**

Санкт-Петербург

2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.т.н. Антонов Ю.Г.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ТОР  
03.03.2022, протокол № 2

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФРТ, 20.04.2022, протокол № 1

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФРТ
Обеспечивающая кафедра	ТОР
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	4
Курс	3
Семестр	6
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	48
Лабораторные занятия (академ. часов)	16
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	65
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	79
Всего (академ. часов)	144
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Экзамен (курс)	3

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«АНТЕННЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН»**

Дисциплина представляет собой сжатый общеобразовательный учебный курс по основам антенной техники, базирующийся на курсах технической электродинамики, математики и курса «электромагнитные поля и волны». Теоретическая часть курса включает в себя изучение основных понятий и характеристик антенн, математическое описание процессов излучения элементарных источников: диполя Герца, элемента Гюйгенса, вывод теорем перемножения диаграмм направленности, соотношения неопределенности. Вывод основных соотношений теории вибраторных антенн и антенных решеток на основе постулированного токового распределения и в самосогласованной постановке с помощью решения интегрального уравнения Поклингтона. Помимо этого, в курсе рассматриваются вопросы теории и техники фазированных антенных решеток (ФАР) и ряд смежных вопросов, в частности, фазовращатели ФАР. Практическая часть курса предполагает выполнение студентами ряда лабораторных работ, связанных с основными темами теоретического курса.

### **SUBJECT SUMMARY**

#### **«ANTENNAS AND PROPAGATION»**

Discipline is a concise general education course on the basics of antenna technology, which is based on the electrotechnical courses, mathematics, and the course "Electromagnetic Fields and Waves." The theoretical part of the course includes the study of the basic concepts and characteristics of the antenna, a mathematical description of the elementary processes of radiation sources: Hertz dipole, element Huygens conclusions of the theory of multiplication patterns, the uncertainty relation.

## 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цель изучения дисциплины состоит в получении студентами знаний, навыков и умений по курсу ”Антенны и распространение радиоволн”.

2. Задачи курса заключаются в приобретении студентами:

-знаний о решаемых с помощью антенн задачах, о закономерностях процесса излучения радиоволн антеннами, об особенностях распространения электромагнитных волн;

-умений пользоваться основными методами расчета антенн и антенных систем;

-навыков решения внутренней и внешней задач антенной теории.

3. В результате изучения дисциплины студенты должны приобрести знания

-основ теории излучения электромагнитных волн;

-основных понятий теории антенн;

-о ключевых характеристиках антенн;

-об аналитических и численных методах их расчета;

-о принципах действия и конструкциях ряда популярных вибраторных и апертурных антенн и антенных решеток;

-о принципе функционирования ФАР;

-о принципах функционирования симметрирующих и развязывающих узлов питания антенн.

4. В результате освоения дисциплины студенты должны получить умения:

-проводить анализ и синтез антенн и антенных систем;

-обоснованно формулировать требования к полевым и входным характеристикам антенн, антенных систем, антенных решеток и фазированных антенных решеток на основе выполненных аналитических расчетов и компьютерного моделирования.

-аргументированно давать физическую трактовку результатам проведенного анализа.

5. В результате освоения дисциплины студенты должны овладеть навыками:

- построения математических моделей антенн разных типов;
- экспериментальных исследований антенн и антенных решеток;
- оценивания характеристик направленности тех или иных типов антенн;
- проведения измерений диаграммы направленности, коэффициента усиления и др. характеристик антенн;
- применять компьютерные пакеты прикладных программ для проектирования и исследования антенных устройств.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Алгебра и геометрия»
2. «Математический анализ»
3. «Электромагнитные поля и волны»
4. «Техническая электродинамика»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Основы автоматизированного проектирования антенно-фидерных устройств»
2. «Прием и обработка радиосигналов»

### 3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

<b>Код компетенции/ индикатора компетенции</b>	<b>Наименование компетенции/индикатора компетенции</b>
ПК-2	Способен реализовывать программы экспериментальных исследований, включая выбор технических средств и обработку результатов
<i>ПК-2.1</i>	<i>Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов и блоков радиотехнических устройств и систем</i>
<i>ПК-2.2</i>	<i>Умеет проводить исследования характеристик радиотехнических устройств и систем</i>

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Содержание разделов дисциплины

#### 4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	1			
2	Тема 1. Диполь Герца	9			16
3	Тема 2. Линейные антенны и их характеристики	9	12		16
4	Тема 3. Решение внутренней задачи электродинамики для вибраторной антенны	9			16
5	Тема 4. Основные принципы теории антенн	9	2		16
6	Тема 5. Антенные решетки	10	2		15
7	Заключение	1		1	
	Итого, ач	48	16	1	79
	Из них ач на контроль	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	144/4			

#### 4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Аксиоматика технической электродинамики, основные понятия, определения и характеристики антенн.
2	Тема 1. Диполь Герца	Излучение элементарных источников. Понятие диполя Герца (ДГ), вывод выражения для электрического и магнитного поля ДГ, понятие ближней и дальней зоны, Особенности структуры полей в дальней зоне ДГ. Сопротивление излучения ДГ, его связь с входным сопротивлением. КПД диполя Герца.
3	Тема 2. Линейные антенны и их характеристики	Вывод выражения для диаграммы направленности линейной антенны с произвольным токовым распределением. Вибраторные излучатели. Анализ распределения тока в вибраторной антенне на основе эквивалентной длинной линии. Анализ ДН вибраторных антенн в полосе частот. Многочастотная вибраторная антенна с резонансными нагрузками.
4	Тема 3. Решение внутренней задачи электродинамики для вибраторной антенны	Интегральное уравнение Поклингтона вибраторной антенны с осевым приближением. Решение интегрального уравнения по Галеркину. Метод моментов. Входное сопротивление вибраторной антенны. Эквивалентная схема вибраторной антенны.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
5	Тема 4. Основные принципы теории антенн	Вывод соотношения между шириной главного лепестка ДН непрерывного излучателя и размером раскрыва. Анализ уровня боковых лепестков. Понятие КНД, вывод выражения для КНД антенны через ее ДН. Вывод теоремы перемножения ДН антенной решетки. Соотношение Чу-Маклина. Теорема подобия. Действующая высота антенны. Антенна в приемном режиме.
6	Тема 5. Антенные решетки	Основы теории и практики антенных решеток, ФАР. Влияние геометрии расположения элементов АР на характеристику направленности. Антенная решетка с осевым излучением. Коллинеарная антенная решетка. Принцип действия антенной решетки с частотным сканированием. Принцип действия и устройство ФАР. Вывод соотношения между углом сканирования и величиной фазового сдвига между соседними элементами. Конструкции и принцип действия фазовращателей.
7	Заключение	Перспективные направления в антенной технике.

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Исследование двухэлементной антенны «Волновой канал».	3
2. Исследование спиральной антенны	3
3. Исследование рупорной антенны	3
4. Исследование зеркальной антенны	3
5. Исследование влияние проводящей земли на характеристики антенн	2
6. Исследование печатной антенной решетки	2
Итого	16

## 4.3 Перечень практических занятий

Практические занятия не предусмотрены.

## 4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

## 4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

#### **4.6 Индивидуальное домашнее задание**

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

#### **4.7 Доклад**

Доклад не предусмотрен.

#### **4.8 Кейс**

Кейс не предусмотрен.

#### **4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятель-

ности, которые указывают путь решения проблемы.

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	24
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	10
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	10
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>79</b>

## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн [Текст] : учеб. для вузов по специальности 2011 (Радиовещание, радиосвязь, телевидение) / Г.А. Ерохин [и др.] ; под ред. Г.А. Ерохина, 2004. -491 с.	50
2	Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток [Текст] : Учеб. пособие для вузов по направлению "Радиотехника" / [Д.И. Воскресенский, В.И. Степаненко, В.С. Филиппов и др.]; Под ред. Д.И. Воскресенского, 2003. -631 с.	19
3	Антенны и распространение радиоволн [Текст] : лаб. практикум / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2014. -87 с.	30
4	Антенны и распространение радиоволн [Текст] : лаборатор. практикум / [В. С. Алексеев [и др.], 2018. -107, [1] с.	79
Дополнительная литература		
1	Балландович, Святослав Владимирович. Основы автоматизированного проектирования антенных решеток [Текст] : учеб. пособие / С. В. Балландович, М. И. Сугак, 2016. -89 с.	75

### 5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	ГОСТ 7.32-2017 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ. Структура и правила оформления <a href="https://docs.cntd.ru/document/1200157208">https://docs.cntd.ru/document/1200157208</a>

### 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=10397>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Антенны и распространение радиоволн» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

#### Экзамен

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

## Особенности допуска

Допуск к экзамену:

- посещение лекционных занятий (не менее 80%);
- выполнение лабораторных работ и защита отчетов на коллоквиумах.

## 6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Электромагнитное поле диполя Герца.
2	Диаграмма направленности диполя Герца. Поляризация электромагнитного поля диполя Герца.
3	Энергетические характеристики диполя Герца (поток мощности электромагнитного поля, мощность излучения, коэффициент полезного действия).
4	Коэффициент направленного действия, коэффициент усиления антенны.
5	Расчёт электромагнитного поля линейной антенны при известном токе.
6	Распределение тока и диаграмма направленности симметричной вибраторной антенны. Действующая длина антенны.
7	Линейная синфазная антенна (диаграмма направленности, уровень боковых лепестков, коэффициент направленного действия). Соотношение неопределённостей.
8	Входное сопротивление вибраторной антенны. Эквивалентная схема вибраторной антенны.
9	Соотношение Чу-Маклина.
10	Многочастотная вибраторная антенна (антенна с резонансными нагрузками). Принцип работы. Диаграмма направленности.
11	Антенные решётки. Осевое излучение, направленное излучение. Коэффициент направленного действия.
12	ФАР.
13	Развязывающие, трансформирующие и симметрирующие устройства.
14	Принципы построения широкополосных антенн.
15	Апертурные (рупорные и зеркальные) антенны.
16	Влияние проводящей поверхности на характеристики вибраторных антенн.
17	Принципы построения широкополосных антенн.
18	Теорема подобия в антенной теории.
19	Принцип работы антенной решетки с частотным сканированием.
20	Особенности работы антенны в приемном режиме.
21	Развязывающие и симметрирующие устройства питания антенн.

## **Форма билета**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

---

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

Дисциплина **Антенны и распространение радиоволн ФРТ**

1. Электромагнитное поле диполя Герца.
2. Развязывающие, трансформирующие и симметрирующие устройства.
3. Задача.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В. Н. Ушаков

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

### 6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
4	Тема 1. Диполь Герца	Коллоквиум
8	Тема 2. Линейные антенны и их характеристики	Коллоквиум
12	Тема 3. Решение внутренней задачи электродинамики для вибраторной антенны	Коллоквиум
16	Тема 4. Основные принципы теории антенн	Коллоквиум
17	Тема 5. Антенные решетки	Коллоквиум

### 6.4 Методика текущего контроля

#### 1. Методика текущего контроля на лекционных занятиях.

1.1. Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80% занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

#### 2. Методика текущего контроля на лабораторных занятиях.

2.1. Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты.

В процессе обучения по дисциплине «Антенны и распространение радиоволн» студент обязан выполнить 6 лабораторных работ. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. Для защиты лабораторных работ предусмотрено 5 коллоквиумов. Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется в бригадах до 3 человек. Оформление отчета студентами осуществляется в количестве одного отчета на бригаду в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения экспериментальных исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый

студент получает вопрос по теоретической части, или по процедуре проведения экспериментальных исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных экспериментальных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы.

Примеры контрольных вопросов приведены в методических указаниях по выполнению лабораторных работ.

2.2. Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам, по результатам которой студент получает допуск на экзамен.

### **самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных, лабораторных занятиях студентов по методикам, описанным выше.

### **Процедура экзамена**

Экзамен включает в себя несколько этапов:

1. Умение решать задачи. В начале экзамена экзаменуемые тянут билет с одной задачей, которую необходимо решить, чтобы получить допуск к следующей части экзамена. Пользоваться конспектами и учебниками не разрешается. По представленному решению преподаватель задает несколько уточняющих

вопросов и принимает решение о допуске или не допуске студента к теоретическому тесту. Не допуск означает получение студентом оценки ”неудовлетворительно”, и экзамен на этом этапе для него завершается.

2. Теоретический тест. Тестовое задание включает в себя 10 вопросов из списка «Контрольные вопросы». Время выполнения — 60 минут. Пользоваться конспектами и учебниками не разрешается. Необходимо в свободной форме, кратко и по существу ответить на вопросы, при этом приводить выводы формул не требуется. Ответ на каждый вопрос оценивается в диапазоне от 0 до 2 баллов.

Критерии оценивания:

- 2 балла — правильный и полный ответ;
- 1 балл — ответ частично правильный или неполный;
- 0 баллов — ответ неверный либо отсутствует.

Таким образом, за данную часть экзамена можно получить от 0 до 20 баллов.

Результаты оцениваются следующим образом:

- От 0 до 10 баллов включительно — оценка за экзамен «неудовлетворительно».
- От 11 до 15 баллов включительно — оценка за экзамен «удовлетворительно».
- От 16 до 20 баллов — оценка «удовлетворительно» при желании студента завершить экзамен, а при желании получить более высокую оценку необходима устная беседа с экзаменатором.

3. Устная беседа по контрольным вопросам. К этой части экзамена допускаются студенты, набравшие не менее 16 баллов и желающие получить оценку «хорошо» или «отлично». Оценка «удовлетворительно» на данном этапе не гарантирована. Данная часть экзамена начинается с краткого ответа (без под-

готовки и без использования литературы) на несколько выбранных экзаменатором вопросов из списка «Контрольные вопросы». При устном ответе на контрольные вопросы экзаменатор проверяет, разбирается студент в материале курса или правильные ответы просто выучены наизусть. По итогам этой беседы экзаменатор принимает одно из следующих решений:

- Сохраняется оценка «удовлетворительно», полученная по результатам контрольных работ и теоретического теста.
- Студент заслуживает оценки «неудовлетворительно».
- Студент заслуживает оценки «хорошо».
- Оценка «хорошо» гарантирована, при желании получить «отлично» необходима беседа по экзаменационному билету.

4. Устная беседа по экзаменационному билету. К этой части экзамена допускаются студенты, продемонстрировавшие хорошее понимание сути контрольных вопросов и имеющие, с точки зрения экзаменатора, шансы получить оценку «отлично». Студенту предлагается выбрать экзаменационный билет, в котором содержится два вопроса из списка «Экзаменационные вопросы». Ответ на вопросы производится по конспекту, без подготовки. Оценка «хорошо» на данном этапе гарантирована. Экзаменатор проверяет, насколько глубоко студент разбирается в математических выкладках и физических трактовках к полученным математическим результатам.

## 7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, меловая или маркерная доска	
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, лабораторные стенды — в соответствии с набором лабораторных работ	
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

## **8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

<b>№ п/п</b>	<b>Дата</b>	<b>Изменение</b>	<b>Дата и номер протокола заседания УМК</b>	<b>Автор</b>	<b>Начальник ОМОЛА</b>