

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета  В.А. Небольсин
_____/_____/_____
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)
«Основы лазерных систем передачи информации»

Специальность 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы
Направленность Радиоэлектронные системы передачи информации
Квалификация выпускника Инженер
Нормативный период обучения 5,5 лет
Форма обучения Очная
Год начала подготовки 2019 г.

Автор программы  /Федоров С.М./

Заведующий кафедрой
радиоэлектронных устройств
и систем  /Журавлёв Д.В./

Руководитель ОПОП  /Журавлёв Д.В./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Цель изучения дисциплины: дать будущим радиоинженерам теоретические и практические знания необходимых для успешной научной и профессиональной деятельности в различных областях лазерной физики и оптики, а также овладение математическим аппаратом, применяемым для постановки и аналитического решения физических задач в области лазеров.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Сформировать знания, навыки и умения, позволяющие самостоятельно применять методы анализа лазерных устройств и отдельных их подсистем; сформировать способность анализировать физические процессы, происходящие в лазерных системах и устройствах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Основы лазерных систем передачи информации» относится к дисциплинам вариативной части блока Б.1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Основы лазерных систем передачи информации» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-4 - способен к проведению диагностики, оценки качества и надежности в процессе эксплуатации радиоэлектронных систем и комплексов.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-4	знать особенности эксплуатации лазерных систем передачи информации.
	уметь определять категории оценки качества (на надежность, безотказность, долговечность) лазерных систем передачи информации.
	владеть навыками проектирования, ремонта и обслуживания лазерных систем передачи информации.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Основы лазерных систем передачи информации» составляет 4 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		А			
Аудиторные занятия (всего)	90	90			
В том числе:					
Лекции	36	36			
Практические занятия (ПЗ)	18	18			
Лабораторные работы (ЛР)	36	36			
Самостоятельная работа	54	54			
Курсовой проект					
Контрольная работа					
Вид промежуточной аттестации – зачет с оценкой	+	+			
Общая трудоемкость	час	144	144		
	зач. ед.	4	4		

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Элементарные квантовые переходы в средах, протекающие с участием фотонов	Заселение энергетических состояний ансамблей квантовых частиц. Излучение черного тела. Спонтанные квантовые переходы. Процессы индуцированного поглощения фотонов. Условия баланса фаз и амплитуд в оптическом квантовом автогенераторе (лазере). Оптический резонатор. Индуцированное излучение фотонов. Роль спонтанных и вынужденных переходов квантовых микрочастиц вещества в работе лазера. Режим модуляции добротности. Синхронизация мод.	6	4	8	10	28
2	Устройство лазера	Активная среда лазера. Накачка рабочей среды лазера. Достижение инверсии населенности в двухуровневой квантовой системе. Достижение инверсии населенности в трехуровневой квантовой среде. Создание инверсии населенности в четырехуровневой квантовой среде. Колебательная система лазера. Условия обеспечения режима генерации в лазере. Линии атмосферной оптической связи (ЛАОС). Структурная схема ЛАОС. Оптические передатчики. Оптические антенны. Системы взаимного наведения оптических передатчиков и приемников. Оптические приемники. Гомодинный и гетеродинный прием оптических сигналов. Когерентный и некогерентный прием оптических сигналов. Физический предел чувствительности приемников оптического излучения. Структура построения лазерного локатора. Принцип действия локатора. Системы лазерного видения. Лидары. Разрешающая способность оптического локатора. Оптические помехи.	14	8	16	24	62
3	Свойства гауссовых пучков	Параметры области устойчивости оптических резонаторов. Эквивалентные открытые. Матрица передачи световых лучей. Гауссовы пучки в устойчивых резонаторах оптические резонаторы. Моды оптических колебаний высших порядков в открытых резонаторах. Поправка спектра резонаторных частот открытого оптического резонатора. Характер уширения спектральных линий в открытых резонаторах. Пределы изменения ширины спектральных линий квантового перехода	10	6	6	10	32
4	Типы лазеров	Гелий-неоновый лазер. Молекулярные лазеры. Углекислотный лазер. Волноводный CO ₂ лазер. Газодинамические лазеры. Лазер на угарном газе (СО-лазер). Химические лазеры. Рубиновый лазер. Лазер на неодиме. Неодимовый лазер на стекле. Твердотельный лазер с диодной накачкой. Твердотельные лазерные усилители. Жидкостные лазеры на красителях.	6		4	10	20
Итого			36	18	36	54	144

5.2 Перечень лабораторных работ

№ п/п	Наименование лабораторной работы	Объем часов	Виды контроля
1	Лабораторная работа №1. Исследование оптической аналоговой линии связи «ЛУЧ»	9	отчет
2	Лабораторная работа №2. Исследование цифровой оптической системы связи «ЛУЧ-2»	9	отчет
3	Лабораторная работа № 3. Исследование параметров открытых оптических резонаторов	9	отчет
4	Лабораторная работа № 4. Расчет параметров ВОЛС	9	отчет
Итого		36	

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Не предусмотрено учебным планом.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе: «аттестован»; «не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения,, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-4	знать особенности эксплуатации лазерных систем передачи информации.	Активная работа на при выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь определять категории оценки качества (на надежность, безотказность, долговечность) лазерных систем передачи информации.	Защиты выполненных лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками проектирования, ремонта и обслуживания лазерных систем передачи информации.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в семестре

А для очной формы обучения:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ПК-4	знать особенности эксплуатации лазерных систем передачи информации.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь определять категории оценки качества (на надежность, безотказность, долговечность) лазерных систем передачи информации.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	владеть навыками проектирования, ремонта и обслуживания лазерных систем передачи информации.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Что такое активная среда?
2. Что такое временная когерентность?
3. Что такое вынужденное (индуцированное) излучение?
4. Что такое газодинамические лазеры?
5. Что такое гетероструктурные лазеры?
6. Что такое дисперсия среды?
7. Чем определяется добротность оптического резонатора?
8. Что такое инверсия населенности?
9. Что такое когерентность?
10. Как работают квантовые оптические усилители?
11. Что такое квантовый выход ?
12. Как определяется чувствительность фотоприемника?
13. Числовая апертура световода это - ...?

Ключ

1. Среда, в которой осуществлена инверсия населенности.
2. Корреляция между фазами электромагнитного поля в заданной точке пространства в различные моменты времени.
3. Разновидность квантовых переходов, происходящих под воздействием внешнего электромагнитного поля. исходный и порожденный квант излучения являются точными копиями и имеют одинаковую длину волны, фазу, поляризацию, направление распространения и др.
4. Лазеры, у которых источниками энергии являются колебательно-возбужденные молекулы, а инверсия населенности создается путем быстрого расширения предварительно нагретой усиливающей газовой смеси, движущейся со сверхзвуковой скоростью через оптический резонатор.
5. Полупроводниковые лазеры, в которых используются оптические переходы с участием свободных носителей в многослойных сложных кристаллических структурах с оптическим ограничением света и электронным ограничением диффузного растекания инжектируемых носителей тока.
6. Зависимость параметров распространения электромагнитной волны в среде от параметров волны (частота, поляризация и др.).
7. Отношение запасенной энергии электромагнитного поля к средней энергии, теряемой колебательной системой за один период колебаний.
8. Нахождение большого количества элементов активной среды в верхнем энергетическом состоянии, по сравнению с нижним состоянием.

9. Свойство электромагнитных полей, когда происходит согласование во времени и пространстве нескольких волновых процессов.

10. Приборы, способные за счет внутренней энергии электронов, связанных с атомами и молекулами активной среды, усиливать оптические колебания без искажения формы электромагнитного поля.

11. Отношение числа фотоэлектронов, проделавших работу выхода и вышедших из фотокатода в вакуум, к числу фотонов, падающих на фотокатод.

12. Отношение изменения электрической величины на выходе приемника излучения, вызванная падающим на него излучением, к количественной характеристике этого излучения в заданных эксплуатационных условиях.

13. Показатель световода определяющий тот конус света, который захватывается сердцевинной световода, если все лучи конуса располагаются в осевой плоскости и, падая на торцевую поверхность световода, попадают в осевую точку.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Физические процессы взаимодействия излучения с веществом.
2. Спонтанное и вынужденное излучение, вероятности переходов;
3. Усиление электромагнитных колебаний в среде с инверсной населенностью;
4. Оптические резонаторы;
5. Моды генерации лазеров;
6. Оптические квантовые усилители;
7. Шумы усилителей и лазеров;
8. Ширина спектральной линии;
9. Нелинейные оптические явления;
10. Детектирование световых сигналов;
11. Шумы приемников излучения;
12. Квантовый предел чувствительности;
13. Модуляция световых сигналов.
14. Оптоэлектронные процессоры
15. Структурное построение ВОЛС: назначение оптических передатчиков, приемников, ретрансляторов.
16. Источники оптического излучения для ВОЛС. Зонная структура полупроводниковых лазерных материалов. Полупроводниковые лазеры и полупроводниковые светодиоды.
17. Основные параметры и принцип действия светоизлучающих диодов и полупроводниковых лазеров.
18. Полупроводниковые лазеры: гомо-лазеры и лазеры с двойным гетеропереходом.
19. Многомодовые и одномодовые гетеролазеры. РБО и РСО-лазеры.

20. Принцип действия лазеров с распределенной обратной связью и с вертикальным оптическим резонатором.

21. Внутренняя и внешняя модуляция полупроводниковых источников оптического излучения.

22. Особенности передачи цифровых сигналов по оптическим линиям связи: модулированные импульсные последовательности

23. Принцип действия оптического диэлектрического волновода. Важнейшие параметры световода: Числовая апертура, профиль показателя преломления

24. Одномодовые и многомодовые световоды: межмодовая, материальная, поляризационная и волноводная дисперсия.

25. Одномодовые и многомодовые световоды: Ширина полосы пропускания и скорость передачи информации, ослабление оптического излучения

26. Оптимальная длина волны для ВОЛС: энергетические соотношения.

27. Волновая теория световода: Типы направляемых волн. Вытекающие волны.

28. Оптические приемники ВОЛС: Принцип детектирования оптических сигналов

29. Оптические приемники ВОЛС: Фотодиодные детекторы; *p-i-n* фотодиод; Лавинный фотодиод

30. Оптические приемники ВОЛС: Шумы фотоэлектронного преобразования Фоновая засветка; Дробовой шум; Тепловой шум. Шум лавинного размножения.

31. Оптические приемники ВОЛС: важнейшие характеристики фотодетекторов. Электрические усилители фототока.

32. Регенераторы и усилители оптических сигналов: принцип действия оптических усилителей и оптических регенераторов.

33. Оптические приемники ВОЛС: Квантовый предел фотодетектирования: балансные соотношения для ВОЛС .

34. Топология ВОЛС. Аналоговые и цифровые ВОЛС. Пути совершенствования ВОЛС

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет с оценкой проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 30 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 30.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 16 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 16 до 20 баллов.
3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 25 баллов.
4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 26 до 30 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Элементарные квантовые переходы в средах, протекающие с участием фотонов	ПК-4	Тест, зачет, устный опрос
2	Устройство лазера	ПК-4	Тест, зачет, устный опрос
3	Свойства гауссовых пучков	ПК-4	Тест, зачет, устный опрос
4	Типы лазеров	ПК-4	Тест, зачет, устный опрос

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Останков А.В., Пастернак Ю.Г., Юдин В.И. Волоконно-оптические линии связи. Учебное пособие, под ред. В. И. Юдина. - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2005. - 112 с.

2. Енгибарян И.А. Волоконно-оптические линии связи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Енгибарян И.А., Зуев В.В.— Электрон. текстовые данные.— Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи и информатики, 2012.— 152 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/61294.html>

3. Фокин В.Г. Основы оптической связи [Электронный ресурс]: практикум/ Фокин В.Г.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2013.— 35 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/35608.html>.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, OptiPerformer.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лекционных занятий необходима аудитория, оснащенная плакатами и пособиями по профилю.

Персональные компьютеры в ауд. 315/4.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Основы лазерных систем передачи информации» читаются лекции, проводятся лабораторные работы и практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета систем оптической связи, подбора основного и вспомогательного оборудования. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы направлены на приобретение практических навыков расчета инженерных систем радионавигации, подбора основного и вспомогательного оборудования. Занятия проводятся путем решения конкретных задач на лабораторном оборудовании.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой отчетов и защите лабораторных работ. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторные работы	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, решение задач по алгоритму.
Подготовка к дифференцированному зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и выполненные лабораторные работы.