МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая и оптическая электроника

Уровень образования: **высшее образование - специалитет**
Направление подготовки (специальность): **10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем**
Направленность (профиль): **Защита информации в системах связи и управления**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФБ, Факультет безопасности**
Кафедра: **БИС, кафедра безопасности информационных систем**
Курс: **5**
Семестр: **10**
Учебный план набора 2016 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	10 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	28	28	часов
2	Практические занятия	28	28	часов
3	Всего аудиторных занятий	56	56	часов
4	Из них в интерактивной форме	16	16	часов
5	Самостоятельная работа	52	52	часов
6	Всего (без экзамена)	108	108	часов
7	Общая трудоемкость	108	108	часов
		3.0	3.0	З.Е

Зачет: 10 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 12424

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 5 от «22» 12 2016 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем, утвержденного 2016-11-16 года, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «_22_» декабря 2017 года, протокол №__5____.

Разработчики:

Заведующий каф. СВЧиКР _____ Шарангович С. Н.

Заведующий обеспечивающей каф. СВЧиКР _____ Шарангович С. Н.

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки (специальности).

Декан ФБ _____ Давыдова Е. М.

Заведующий выпускающей каф. БИС _____ Мещеряков Р. В.

Эксперты:

Проф. кафедры СВЧиКР _____ А.Е. Мандель___

Директор Центр системного проектирования _____ Конев А. А.

Согласована на портале № 12424

1. Цели и задачи дисциплины

Целью преподавания дисциплины является изучение физических основ квантовой и оптической электроники и развивающихся на этой основе систем и устройств оптического диапазона, а также о элементной базе систем оптической связи

Задачами дисциплины является изучение:

- изучение физических основ, принципов действия, характеристик и параметров важнейших приборов и устройств, используемых в оптических системах связи. К их числу относятся квантовые генераторы и усилители, оптические модуляторы, фотоприемные устройства, нелинейно-оптические элементы, голографические и интегрально-оптические компоненты.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП:

Дисциплина «Квантовая и оптическая электроника» (Б1.Б.32) относится к блоку 1 (базовая часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: . физика, математический анализ

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ПК-4 способностью участвовать в разработке компонентов телекоммуникационных систем.

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

-знать физические основы и принципы построения оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем ;

уметь:

- выполнять расчеты, связанные с выбором режимов работы и определением параметров оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем;

владеть:

- навыками расчетов оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем;

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет _3_зачетных единицы

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		10 семестр
Аудиторные занятия (всего)	56	56
Лекции	28	28
Практические занятия	28	28
Из них в интерактивной форме	16	16
Самостоятельная работа (всего)	52	52
Всего (без экзамена)	108	108
Общая трудоемкость час	108	108
Зачетные Единицы Трудоемкости	3.0	3.0

5. Содержание дисциплины

5.1 Разделы дисциплин и виды занятий

Согласована на портале № 12424

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практич. занятия.	Самост. работа студента	Лабораторные занятия	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ПК)
1.	Взаимодействие излучения с веществом	6	6	12		24	ПК-4
2.	Физические основы оптических квантовых генераторов и усилителей	5	5	12		22	ПК-4
3.	Детектирование световых сигналов	4	4	6		14	ПК-4
4.	Элементы управления оптическим излучением	4	4	6		14	ПК-4
5	Волоконно-оптические линии связи	5	5	8		18	ПК-4
6	Устройства отображения информации	4	4	8		16	ПК-4
							ПК-4
	Итого:	28	28	52		108	ПК-4

5.2. Содержание разделов лекционного курса

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час)	Формируемые компетенции (ОК, ПК)
1.	Взаимодействие излучения с веществом	Взаимодействие оптического излучения с квантовыми системами. Общая характеристика задачи взаимодействия поля с веществом. Волновая теория излучения. Взаимодействие бегущих электромагнитных волн с активной средой. Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Понятие спонтанного излучения. Средняя продолжительность жизни атома в возбужденном состоянии. Вероятности переходов. Оптические переходы.. Энергетические уровни атомов и молекул. Количество энергетических уровней в интервале энергий на единицу площади. Ширина и форма спектральной линии. Время жизни по спонтанным переходам. Спектральные коэффициенты Эйнштейна. Усиление электромагнитных колебаний. Принцип работы квантовых усилителей и генераторов и пороговые условия генерации. Методы получения инверсной населенности в квантовых генераторах и усилителях. Понятие отрицательной температуры.	6	ПК-4
2.	Физические основы оптических квантовых генераторов и усилителей	Оптические резонаторы. Структуры электрических полей. Схемы оптических резонаторов. Перестраиваемые резонаторы. Устройство и принципы работы лазеров и области их применения. Когерентные источники оптического излучения. Основные типы квантовых генераторов, их устройство. Параметры и характеристики электромагнитного излучения. Пороговые условия генерации и мощность излучения. Полупроводниковые лазеры на двойных гетеропереходах (на GaAs и InP), устройства, основные рабочие характеристики. Моды генерации. Формирование спектра излучения оптических генераторов при неоднородном и однородном уширении спектральной линии. Нелинейные оптические явления. Нелинейное взаимодействие электромагнитных полей. Многофотонные эффекты. Рассеяния Релея, комбинационное и вынужденное рассеяние. Лазерные преобразователи частоты. Трансформация оптического излучения. Шумы усилителей и лазеров. Дробовые шумы. Фликкер шумы. Мощность теплового шума. Эффективная тепловая температура. Оптические квантовые усилители. Возможности квантового усиления в оптических системах.	5	ПК-4

Согласована на портале № 12424

3.	Детектирование световых сигналов.	Элементы зонной теории твердого тела. Поглощение света в твердых телах. Явление фотоэффекта. Эффект Дембера. Физические принципы и основные элементы регистрации оптического излучения. Принцип восприятия изображения фотоприемниками. Фотогальванический эффект. Фотомагнитоэлектрический эффект. Типы фотоприемников (ФП): полупроводниковые фотоприемники, фотоэлектронные приборы, приборы с внутренним усилением фототока, pin- и лавинные фотоприемные устройства. Параметры и характеристики приемников оптического излучения. Детектирование световых сигналов. Частотная (амплитудная) характеристики, реакция ФП на импульсное излучение, инерционные свойства ФП, Коэффициенты ошибок. Детекторы световых сигналов. Классификация фотоприемников Принцип работы ячейки фотоматрицы, ПЗС матрицы. Шумы приемников излучения.	4	ПК-4
4	Элементы управления оптическим излучением	Модуляция световых сигналов. Электрооптические модуляторы оптического излучения. Модуляция света акустооптическими вол-нами. Дефлекторы оптического излучения. Применение элементов управления. Непосредственная модуляция полупроводникового лазера по цепи питания.	4	ПК-4
5	Волоконно-оптические линии связи	Структура оптической связи. Основные достоинства волоконно – оптических линий связи (ВОЛС). Типы оптических волокон (ОВ) и их конструкции. Основные параметры ОВ. Одномодовый и много-модовый режимы передачи сигнала. Компоненты оптических линий связи. Оптические кабели и разъемы: волоконно-оптические жгуты, Источники излучения передатчиков оптических линий связи: свето-диоды и полупроводниковые лазеры. Уплотнение каналов. Методы увеличения коэффициента использования пропускной способности оптического волокна: временное (OTDM), спектральное уплотнение (WDM и DWDM). Когерентные линии оптической связи. Элементная база когерентных волоконно-оптических систем передачи информамации (ВОСПИ). Одномодовые световоды с устойчивой поляризацией. Фотодетекторы. Помехоустойчивость и информативность когерентных систем связи.	5	ПК-4
6	Устройства отображения информации	Основные параметры и характеристики устройств отображения оптических сигналов: интерактивность, наглядность, автоматизация. Типы устройств отображения: индивидуальные и коллективные. Видеомониторы: электронно-лучевые трубки, ЖК мониторы, плазменные мониторы. Терминал ввода, вывода. Панельная рабочая станция с процессором. Проекторы. Многофункциональные процессоры. Полиэкранные устройства отображения видео-звуковой информации.	4	ПК-4

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины из табл.5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин								
		1	2	3	4	5	6	7		
Предшествующие дисциплины										
1.	Математический анализ	+	+	+	+	+	-	-		
2.	Физика	+	+	+	+	+	+	+		

Согласована на портале № 12424

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Л	П	СРС	Формы контроля
ПК-4	+	+	+	Опрос на практических занятиях, контрольные работы, тестирование, зачет

Л – лекция, П – практические и семинарские занятия, СРС – самостоятельная работа студента

6. Методы и формы организации обучения

Для успешного освоения дисциплины применяются различные образовательные технологии, которые обеспечивают достижение планируемых результатов обучения согласно основной образовательной программе и с учётом требований к объёму занятий в интерактивной форме.

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы \ Формы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Всего
Обратная связь (вопросы на лекциях, опросы на на практических занятиях)	6	6	12
Работа с контрольным тестом		4	4
Итого интерактивных занятий	6	10	16

7. Лабораторный практикум

Лабораторные занятия не предусмотрены

8. Практические занятия (семинары) (28 часов)

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудо-емкость (час.)	Компе-тенции, ПК, ПКС
1	Взаимодействие излучения с веществом	Расчет энергетических состояний квантовых систем	6	ПК-4
2	Физические основы оптических квантовых генераторов и усилителей	Взаимодействие излучения с веществом. Спонтанное и вынужденное излучение	5	ПК-4
3	Детектирование световых сигналов	Расчет условий усиления и генерации колебаний в квантовых системах	4	ПК-4
4	Элементы управления оптическим излучением	Расчет параметров акустооптических модуляторов и дефлекторов	4	ПК-4
5	Волоконно-опти-ческие линии связи	Расчет характеристик оптического волокна (дисперсия, затухание, числовая апертура	5	ПК-4
6	Устройства отобра-жения информации	Расчет параметров и характеристик фотоприемников	4	ПК-4

9. Самостоятельная работа

№	№	Тематика самостоятельной работы	Трудо	Компе-	Контроль

Согласована на портале № 12424

п/п	раздела дисциплины из табл. 5.1	*(детализация)*	емкость (час.)	тенции ОК, ПК	выполнения работы
1	1	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к тестовой контрольной работе.	8	ПК-4	Опрос на практическом занятии. Контрольная работа.
2	2	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к тестовой контрольной работе.	10	ПК-4	Опрос на практическом занятии. Контрольная работа.
3	3	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к тестовой контрольной работе.	6	ПК-4	Опрос на практическом занятии. Контрольная работа.
4	4	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к тестовой контрольной работе.	8	ПК-4	Опрос на практическом занятии. Контрольная работа.
5	5	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к тестовой контрольной работе.	12	ПК-4	Опрос на практическом занятии. Контрольная работа.
6	6	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к тестовой контрольной работе.	8	ПК-4	Опрос на практическом занятии. Контрольная работа.

10. Примерная тематика курсовых проектов (работ)

Курсовые проекты (работы) учебным планом не предусмотрены

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

Методика подсчета промежуточной успеваемости осуществляется в соответствии с Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов (приказ ректора 25.02.2010 № 1902) и основана на балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости, действующей с 2009 г. Правила формирования пятибалльных оценок за каждую контрольную точку (КТ1, КТ2) осуществляется путем округления величины, рассчитанной по формуле:

$$KTx\Big|_{x=1,2} = \frac{(Сумма_баллов,_набранная_к_KTx)*5}{Требуемая_сумма_баллов_по_балльной_раскладке}$$

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля (зачет 10семестр)

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл за 1 КТ	Максимальный балл за 2 КТ	Зачетная составляющая	Всего за семестр

Согласована на портале № 12424

Посещение занятий	-	-	-		-
Тестовый контроль	20	20	письменный тест	20	70
			устное собеседование	10	
Самостоятельная работа	10	10	-		20
Бонусные баллы	5	5	-		10
Итого максимум за период	35	35	30		100
Нарастающим итогом	35	70	100		100

Примечание 1: на основании методики проведения текущего контроля успеваемости оценка за зачет формируется по совокупности баллов, набранных студентом в течение семестра (max 100). Независимо от суммы баллов после 2-х контрольных точек оценка за семестр формируется по совокупности трех элементов (максимальный балл за 1 КТ (35), максимальный балл за 2 КТ (35), зачетная составляющая (30)). Студенты, получившие в течение семестра менее 60 баллов, зачет не получают.
Примечание 2: бонусные баллы начисляются студентам, принимающим активное участие в подготовке и защите рефератов на предлагаемые темы; в подготовке и защите конструктивных элементов по защите информационных систем

Таблица 11.2 Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

Таблица 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку (зачет)

Оценка (ФГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен (зачет)	Оценка (ECTS)
5 (отлично) / зачтено	90 - 100	A (отлично)
4 (хорошо) / зачтено	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) / зачтено	65 – 69	
	60 - 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно), (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Киселев Г.Л. Квантовая и оптическая электроника. Издательство Лань.2011.-320с.: Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/627 **(10).**
2. Скляров, О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 268 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/76830

Согласована на портале № 12424

12.2. Дополнительная литература

3. Малышев В.А. Основы квантовой электроники и лазерной техники. - М.: Высшая школа, 2005. - 542 с. **(40)**
4. Шангина Л.И. Квантовая и оптическая электроника. УП. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра сверхвысоко-частотной и квантовой радиотехники. - Электрон. текстовые дан. - Томск: [б.и.], 2012.- 228 с.Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/714.
5. Кущ Г.Г., Соколова Ж.М., Шангина Л.И.. Приборы и устройства оптического и СВЧ-диапазонов. - Томск: Издательство научно-технической литературы, 2003. - 556 с. **(10)**
6. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. – М: Высшая школа. 2001, - 572с. **(159)**
7. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей: учебное пособие для вузов / Е. Б. Алексеев, В.Н.Гордиенко, В.В.Крухмалев, [и др.] ; ред.: В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. - 2-е изд., испр. - М. : Горячая линия - Телеком, 2012. - 392 с. (**10**).

12.3 Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

8. Шангина Л. И. Квантовая и оптическая электроника : Учебно-методическое пособие по практическим занятиям../ Электронный ресурс. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники. - Электрон. текстовые дан. - Томск **:** [б. и.], 2012. - 228 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/714
9. Ефанов В. И Сборник задач по волоконно-оптическим линиям связи: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям /. – 2012. 50 Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/788
10. Кущ Г. Г , Шарангович С. Н. Оптические устройства в радиотехнике. Учебно-методическое пособие по организации самостоятельной работы студентов/ Электронный ресурс. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники. - Электрон. текстовые дан. - Томск : [б. и.], 2012. - 25 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/18

12.3.2 Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

12.4. Базы данных, информационно-справочные, поисковые системы и требуемое программное обеспечение

1. Springer Journals – полнотекстовая коллекция электронных журналов издательства Springer. [Электронный ресурс]. URL: **http://link.springer.com/**
2. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина». [Электронный ресурс]. URL **http://www.ph4s.ru/**; (дата обращения 14.01.2017)

Согласована на портале № 12424

3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. [Электронный ресурс]. URL http://elibrary.ru/defaultx.asp; (дата обращения 14.01.2017)
4. Университетская информационная система Россия. [Электронный ресурс]. URL: http://uisrussia.msu.ru/is4/-main.jsp; (дата обращения 14.01.2017)

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

13.1 Общие требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

Для проведения **занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации** используется учебная аудитория, с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются наглядные пособия в виде презентаций по лекционным разделам дисциплины.

Для проведения **практических занятий** используется лаборатории, расположенная по адресу 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 3 этаж, ауд. 329б. Состав оборудования:

Учебная мебель;. Компьютеры класса не ниже Intel Pentium G3220 (3.0GHz/4Mb)/4GB RAM/ 500GB с широкополосным доступом в Internet,– 8 шт.; Используется лицензионное программное обеспечение, пакеты версией не ниже: Microsoft Windows XP Professional with SP3; Visual Studio 2008 EE with SP1; Microsoft Office Visio 2010; Microsoft SQL-Server 2005; Matlab v6.5 . Автоматизированные рабочие места для расчета, моделирования и экспериментального исследования волноводно-оптических, фотополимерных дифракционных, а также фоторефрактивных оптических элементов в специализированной лаборатории ГПО «Оптоэлектроника» на каф.СВЧиКР (ауд. 329б, РТК).

Для **самостоятельной работы** используется учебная аудитория (компьютерный класс), расположенная по адресу 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 3 этаж, ауд.333ь. Состав оборудования:

Учебная мебель; Компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Ce1егоп D336 2.8ГГц. - 12 шт.; Компьютеры подключены к сети ИНТЕРНЕТ и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При обучении студентов **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для удаленного просмотра.

При обучении студентов **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

14. Фонд оценочных средств

14.1. Основные требования к фонду оценочных средств и методические рекомендации

Фонд оценочных средств и типовые контрольные задания, используемые для оценки сформированности и освоения закрепленных за дисциплиной компетенций при проведении текущей, промежуточной аттестации по дисциплине приведен в приложении к рабочей программе.

Согласована на портале № 12424

14.2 Требования к фонду оценочных средств для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с инвалидностью предусмотрены дополнительные оценочные средства, перечень которых указан в таблице.

Таблица 14 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью

Категории студентов	Виды дополнительных оценочных средств	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, исходя из состояния обучающегося на момент проверки

14.3 Методические рекомендации по оценочным средствам для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 12424

Приложение 1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 2017_ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Квантовая и оптическая электроника

Уровень образования: **высшее образование - специалитет**
Направление подготовки (специальность): **10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систе** **10.05.02**
Направленность (профиль): **Защита информации в системах связи и управления**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФБ, Факультет безопасности**
Кафедра: **БИС, кафедра безопасности информационных систем**
Курс: **5**
Семестр: **10**

Учебный план набора 2016 года

Разработчики:
- каф. СВЧиКР Шарангович С. Н.

Зачет: 10 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 12424

1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Антенны и распространение радиоволн» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи, контрольные работы, тесты) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов. Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций приведён в таблице 1

Таблица 1 – Перечень закреплённых за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ПК-4	Способность участвовать в разработке компонентов телекоммуникационных систем	**знать:** -знать физические основы и принципы построения оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем ; **уметь:** - выполнять расчеты, связанные с выбором режимов работы и определением параметров оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем; **владеть:** - навыками расчетов оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем;

2. Формирование и реализация компетенций

Компетенция ПК-4: Способность участвовать в разработке компонентов телекоммуникационных систем.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.

Таблица 2–Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	-знать физические основы и принципы построения оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем	Умеет выполнять расчеты, связанные с выбором режимов работы и определением параметров оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем	Владеет навыками расчетов оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем
Виды занятий	Лекции Групповые консультации Самостоятельная работа студентов	Лекции Практические занятия Контрольные работы Тестирование Самостоятельная работа студентов	Практические занятия Контрольные работы Тестирование Самостоятельная работа студентов

Согласована на портале № 12424

Используемые средства оценивания	Контроль самостоятельной работы студентов. Зачет.	Проверка домашних заданий по практикам Проверка контрольных работ. Проверка тестов. Контроль самостоятельной работы студентов. Зачет.	Проверка домашних заданий по практикам Проверка контрольных работ. Проверка тестов. Контроль самостоятельной работы студентов. Зачет.

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 3.

Таблица3 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем	Контролирует работу, проводит оценку, совершен-ствует действия работы
Хорошо (базовый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования	Берет ответственность за завершение задач в ис-следовании, приспосабли-вает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем
Удовлетвори-тельно (пороговый уровень)	Обладает базовыми общими знаниями	Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач	Работает при прямом наблюдении

Согласована на портале № 12424

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Знает физические основы и принципы построения оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем	Умеет свободно выполнять расчеты, связанные с выбором режимов работы и определением параметров оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем	Владеет навыками расчетов оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем
Хорошо (базовый уровень)	Имеет представление о физических основах и принципах построения оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем	Умеет выполнять расчеты, связанные с выбором режимов работы и определением параметров оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем	Владеет основными навыками расчетов оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Имеет представление об отдельных физических основах и принципах построения оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем -	Показывает неполное, недостаточное умение выполнять расчеты, связанные с выбором режимов работы и определением параметров оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем	Демонстрирует неполное, недостаточное владение навыками расчетов оптоэлектронных и квантовых компонентов телекоммуникационных систем

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы: типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе:

3.1 Практические занятия по темам:

1. Расчет энергетических состояний квантовых систем
2. Взаимодействие излучения с веществом. Спонтанное и вынужденное излучение
3. Расчет условий усиления и генерации колебаний в квантовых системах
4. Расчет параметров акустооптических модуляторов и дефлекторов
5. Расчет характеристик оптического волокна (дисперсия, затухание, числовая апертура
6. Расчет параметров и характеристик фотоприемников
7. Расчет параметров и характеристик полупроводниковых лазеров

Согласована на портале № 12424

3.2 Контрольные работы по темам

1. Взаимодействие излучения с веществом. Спонтанные и индуцированные переходы. Энергетические состояния квантовых систем. Мощность излучения квантовых генераторов
2. Лазеры их параметры и характеристики. Параметры и характеристики оптических резонаторов. Параметры и характеристики приемников оптического излучения.
3. Управление лазерным излучением. Параметры и характеристики акустооптических модуляторов и дефлекторов. Характеристики оптического волокна (дисперсия, затухание, числовая апертура)

Пример: Контрольная работа 1

Тема: Взаимодействие излучения с веществом. Спонтанные и индуцированные переходы. Энергетические состояния квантовых систем. Мощность излучения квантовых генераторов.

1.Квантовые системы со свободным и связанными движениям частиц. Энергия свободной и связанной частицы.
2. Спонтанные и индуцированные переходы.
3.Энергетические уровни и зонная теория
4. Какие методы используются для создания инверсии населенностей уровней в квантовых системах?
5.Соотношения между коэффициентами Эйнштейна
6.Причины уширения спектральных линий
7.В чем состоит взаимодействие оптического излучения и вещества ?
8. Что характеризует монохроматичность, когерентность, поляризован-ность лазерного излучения?
9. При каких условиях вещество способно усиливать электромагнитное излучение?
10. Доплеровское уширение
11. Уширение из-за столкновений
12. Возможность усиления и генерации в квантовых системах
13. Оптическая накачка лазерных активных сред. Спектры поглощения и структуры энергетических уровней
14. Какими свойствами обладают спонтанные и индуцированные излучения?
15. Учет неоптических переходов и нелинейных эффектов.
16. Что понимается под отрицательной температурой вещества?
17. Как возникают колебания в ОКГ, и какие условия необходимы для существования стационарных колебаний?
18.Энергетические характеристики лазеров и лазерного излучения.
19. Почему в ОКГ возможно существование колебаний с различными частотами?
20. Поперечные структуры лазерного излучения.
21 Как изменяется спектр частот колебаний при уменьшении длины резонатора ОКГ?
22. Если инверсная населенность в среде равна 2, то чему равна отрицательная температура при длине волны 1 мкм, излучаемой в среде.
23. Характеристики излучения ОКГ. Монохроматичность, когерентность, направленность лазерного излучения
24. Чему равна ширина естественной спектральной линии вещества, если время жизни по спонтанным переходам равно $5 \cdot 10^{-7}$ с и рабочая длина волны 0,63 мкм?
25. Населенность верхнего и нижнего уровней равна соответственно $1 \cdot 10^{10}$ и $0{,}5 \cdot 10^{10}$ $см^{-3}$. Кратность вырождения верхнего уровня 2, нижний уровень не вырожден. Возможно ли в рассматриваемой системе усиление? Поглощение?
26. Каково соотношение между населенностями энергетических уровней двухуровневой системы при эффекте насыщения.
27. Используя принцип детального равновесия, найти соотношения между спонтанными и индуцированными переходами.
28. Чему равна ширина естественной спектральной линии вещества, если время жизни по

Согласована на портале № 12424

спонтанным переходам равно $5 \cdot 10^{-7}$ с и рабочая длина волны 0,7 мкм?

29.Если коэффициент усиления в активной среде равен $3 \cdot 10^{-1} см^{-1}$, то чему равна мощность сигнала в процессе прохождения через активное вещество при мощности на входе в активное вещество $P(o,v_0)$ – 1мВт?

30. Система энергетических уровней атома образует электронные уровни. Определить рабочий частотный диапазон переходов для электронных уровней. (Справка: $1эВ = 1.6 \times 10^{-19}$ *Дж*).

3.3 Тестовые задания

№1

Почему в оптико-электронном приборе поток информации передаётся лишь в одном направлении - от источника к приёмнику.

1. Поскольку источник и приёмник связаны электрически.
2. Поскольку источник и приёмник не связаны электрически.
3. Так как излучение источника когерентно.
4. Так как излучение источника направленно.
5. Из-за пространственной модуляции сигнала.

№2

Излучение полупроводникового лазера наблюдается на длине волны λ=0,84 мкм, какова при этом ширина запрещенной зоны в полупроводнике?

6. Eg=2,5 эВ.
7. Eg=3,2 эВ.
8. Eg=1 эВ.
9. Eg=1,48 эВ.
10. Eg=0,8 эВ.

№3

Какие лазеры широко используются в настоящее время в бытовой радиоэлектронике?

1. Рубиновые.
2. Газовые на CO_2.
3. Аргоновые.
4. Полупроводниковые.
5. Все выше перечисленные лазеры.

№4

Почему в настоящее время интенсивно разрабатываются полупроводниковые лазеры с двойной гетероструктурой, генерирующее либо при λ=1,3 мкм, либо при λ=1,6 мкм?

1. Мощность лазера велика.
2. Направленность высокая.
3. На этих длинах волн минимальные потери у световодов.
4. Яркость велика.
5. Среди ответов нет правильного.

№5

Каким образом можно перестраивать длину волны излучения в полупроводниковых лазерах?

4. Меняя состав полупроводника.
5. Меняя длину резонатора.
6. Подать на полупроводник обратное смещение.
7. Длина волны в полупроводнике зависит от всех перечисленных выше факторов.
8. Все ответы неверны.

№6.

Как следует изменить конструкцию полупроводникового лазера, чтобы с меньшими потерями передать излучение в световод?

1. Поставить коллимирующую систему.
2. Ограничить область излучения.
3. Повысить коэффициент пропускания выходного зеркала.

Согласована на портале № 12424

4. Использовать пластину полупроводника в форме трапеции.
5. Правильного ответа нет.

№7.

Определить величину прямого смещения в GaAs лазере для начала люминесценции?

1. U≈ 1,5 В.
2. U≈ 2,1 В.
3. U≈ 1 В.
4. U≈ 3 В.
5. U≈ 5,2 В.

№8

Вычислите межмодовое расстояние для полупроводникового лазера с длиной активного слоя 0,5 мм при показателе преломления μ=4.

1. Δν=50 МГц.
2. Δν=70 Гц.
3. Δν=10 ГГц.
4. Δν=15 ГГц.
5. @Δν=75 ГГц.

№9.

Измерения поля в дальней зоне изменения анодов из GaAs дают угловую ширину Ω≈30˚. Определите соответствующую высоту области d, занятой полем излучающей моды, если длина волны излучения λ =0,84 мкм.

1. d=5 мкм.
2. d=2 мкм.
3. d=1 мкм.
4. d=3,2 мкм.
5. d=6 мкм.

№10.

Определите энергию фотона Еф полупроводникового лазера, если длина волны излучения составляет λ=0,84 мкм.

1. $E_ф=23,55\cdot 10^{-20}$ Дж.
2. $E_ф=40\cdot 10^{-10}$ Дж.
3. $E_ф=40\cdot 10^{-34}$ Дж.
4. $E_ф=24\cdot 10^{-15}$ Дж.
5. $E_ф=10^{-20}$ Дж.

№11.

Полупроводниковый лазер работает на λ=1,6 мкм. Чему равна энергия фотона $E_ф$?

1. $E_ф=12.36\cdot 10^{-10}$ Дж.
2. $E_ф=12.36\cdot 10^{-34}$ Дж.
3. $E_ф=12.36\cdot 10^{-20}$ Дж.
4. $E_ф=2\cdot 10^{-30}$ Дж.
5. $E_ф=2\cdot 10^{-24}$ Дж.

№12.

Определите длину волны света , излученного СИД, если ширина запрещенной зоны составляет ΔEq=1,42 эВ.

1. λ=1,06 мкм.
2. λ=0,87 мкм.
3. λ=1,35 мкм.
4. λ=1,6 мкм.
5. λ=15 мкм.

№13.

Почему желательно в лазерных диодах использовать короткие резонаторы?

Согласована на портале № 12424

1. Легче стыковать лазер с волокном .
2. Можно получить более высокую мощность.
3. Они дают возможность работать с $1^{ой}$ модой.
4. Диаграмма направленности уже.
5. Диаграмма направленности становится симметричной.

№14.

Каков физический смысл энергии уровня Ферми в полупроводниковом образце?

1. Энергия уровня Ферми определяет инверсию населенностей.
2. Определяет пороговый ток накачки.
3. Разделяет заполненные электронами энергетические состояния от пустых.
4. Энергия Ферми не влияет на распределение электронов по уровням.
5. Все ответы не верны.

№15.

Каким параметром определяется концентрация собственных носителей в полупроводнике?

1. Током накачки.
2. Шириной запрещенной зоны.
3. Постоянной кристаллической решетки.
4. Проводимостью полупроводника.
5. Правильного ответа нет.

№16.

Для получения излучения с длиной зоны 1,55 мкм какая требуется ширина запрещенной зоны полупроводника?

1. E_q= 0,95 эВ.
2. E_q=1 эВ.
3. E_q=0,8 эВ.
4. E_q=1,4 эВ.
5. E_q=1,92 эВ.

3.4. Темы домашних заданий

1. Детектирование световых сигналов
2. Устройства отображения информации
3. Видеомониторы: электронно-лучевые трубки, ЖК мониторы, плазменные мониторы.
4. Терминал ввода, вывода. Панельная рабочая станция с процессором.
5. Помехоустойчивость и информативность когерентных систем связи.

3.5. Темы самостоятельной работы

Совпадают с приведёнными в пунктах 3.3. и 3.4. темами контрольных работ и домашних заданий.

3.6. Вопросы по курсу

1. .Квантовые системы со свободным и связанным движением частиц.
2. Энергия свободной и связанной частицы
3. Энергетические уровни и зонная теория. Энергетические уровни в газах и твердых телах.
4. Дать полную характеристику электронным, колебательным, вращательным энергетическим уровням
5. Какие методы используются для создания инверсии населенностей уровней в квантовых системах (виды накачек)?
6. Причины уширения спектральных линий.
7. Возможность усиления и генерации в квантовых системах. Условия необходимые для существования стационарных колебаний.
8. Оптическая накачка лазерных активных сред Спектры поглощения, спектры излучения и структуры энергетических уровней.

Согласована на портале № 12424

9. Спонтанные и индуцированные и тепловые переходы их характеристики?
10. Как связаны друг с другом коэффициенты спонтанного и вынужденного излучения и поглощения.
11. Интегральные и дифференциальные (спектральные) коэффициенты Эйнштейна.
12. Что называется инверсной населенностью и почему она необходима для получения усиления в квантовой системе.
13. От каких факторов зависит пороговая инверсная населенность для излучения.
14. Чем характеризуется усиление сигнала в инверсной среде.
15. От каких факторов зависит ширина спектральной линии.
16. Как оценить естественную ширину спектральной линии.
17. Назовите и кратко охарактеризуйте основные способы накачки.
18. Сформулируйте условия получения максимального уровня инверсии в трехуровневой системе.
19. Почему в четырехуровневой системе можно получать инверсную населенность при минимальном уровне накачки.
20. Укажите условия возникновения генерации излучения в квантовой системе.
21. Что такое насыщение усиления и как оно проявляется.
22. Оптические резонаторы. Типы резонаторов и их характеристика. Основное назначение резонаторов. Какие потери наблюдаются в резонаторе с активной средой.
23. Укажите виды потерь энергии в резонаторе. Какие виды потерь являются полезными.
24. Проведите сравнение свойств плоских и сферических резонаторов.
25. Опишите процесс формирования гигантского импульса в режиме модуляции добротности.
26. Что такое когерентность излучения, и для каких областей применения лазеров она важна.
27. Как можно экспериментально наблюдать когерентность излучения лазера.
28. Какими факторами определяется расходимость лазерного излучения.
29. Почему плотность мощности излучения лазеров может достигать очень больших величин.
30. Укажите основные параметры и особенности следующих лазеров: рубинового; на неодимовом стекле; на алюмоиттриевом гранате; - гелий-неонового; - на смеси углекислый газ - азот - гелий; газодинамического; химического; на парах металлов; ионно - аргоновых; азотного; эксимерных; полупроводниковых.
31. Укажите функции гелия в гелий-неоновом лазере.
32. Сформулируйте принцип работы полупроводникового лазера.
33. С чем связаны трудности создания полупроводниковых лазеров в синей области спектра?
34. Структурные схемы квантовых усилителей и генераторов.
35. Условия самовозбуждения оптических квантовых генераторов.
36. Условие стационарного режима генерации. Мощность излучения и Мощность генерации.
37. Характеристики излучения ОКГ. Монохроматичность,
38. когерентность, направленность лазерного излучения.
39. Как осуществляется формирование спектра генерации?
40. Как проводится непосредственная модуляция полупровод-никового лазера?
41. Какик преимущества имеют передатчики оптических линий связи: свето-диоды и полупроводниковые лазеры.
42. Пространственные характеристики излучения ОКГ. Управление пространственными характеристиками лазерного излучения.
43. Физические основы оптических модуляторов и дефлекторов
44. Акустооптические модуляторы. Дифракция Рамана–Ната, Дифракция Брэгга.
45. Фотоприемники. Параметры и характеристики фотоприемников.
46. Фотодиодные матрицы. Многоэлементные фотоприемники.
47. Как осущуствляется Уплотнение каналов. Методы увеличения коэффициента использования пропускной способности оптического волокна:
48. Основные параметры и характеристики устройств отображения оптических сигналов
49. Что представляет собой двухлинзовый фурье-процессор. Много-функциональные процессоры.

Согласована на портале № 12424

4. Методические материалы

Для обеспечения учебного процесса и решения задач обучения используются совпадающие с пунктом 12 рабочей программы по дисциплине следующие методические материалы:

4.1. Основная литература

1. Киселев Г.Л. Квантовая и оптическая электроника. Издательство Лань.2011.-320с.: Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/627 **(10).**
2. Скляров, О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 268 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/76830

4.2. Дополнительная литература

3. Малышев В.А. Основы квантовой электроники и лазерной техники. - М.: Высшая школа, 2005. - 542 с. **(40)**
4. Шангина Л.И. Квантовая и оптическая электроника. УП. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра сверхвысоко-частотной и квантовой радиотехники. - Электрон. текстовые дан. - Томск: [б.и.], 2012.- 228 с.Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/714.
5. Кущ Г.Г., Соколова Ж.М., Шангина Л.И.. Приборы и устройства оптического и СВЧ-диапазонов. - Томск: Издательство научно-технической литературы, 2003. - 556 с. **(10)**
6. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. – М: Высшая школа. 2001, - 572с. **(159)**
7. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей: учебное пособие для вузов / Е. Б. Алексеев, В.Н.Гордиенко, В.В.Крухмалев, [и др.] ; ред.: В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. - 2-е изд., испр. - М. : Горячая линия - Телеком, 2012. - 392 с. (**10**).

4.3 Учебно-методические пособия

4.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

8. Шангина Л. И. Квантовая и оптическая электроника : Учебно-методическое пособие по практическим занятиям../ Электронный ресурс. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники. - Электрон. текстовые дан. - Томск **:** [б. и.], 2012. - 228 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/714
9. Ефанов В. И Сборник задач по волоконно-оптическим линиям связи: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям /. – 2012. 50 Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/788
10. Кущ Г. Г , Шарангович С. Н. Оптические устройства в радиотехнике. Учебно-методическое пособие по организации самостоятельной работы студентов/ Электронный ресурс. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники. - Электрон. текстовые дан. - Томск : [б. и.], 2012. - 25 с. Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/18

Согласована на портале № 12424