Б1.В.ДВ.7.2

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
(Проректор по учебной работе)
_____ **П.Е. Троян**
«30» 09 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки **28.03.01** «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Профиль Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 2 **Семестр** 4

Учебный план набора 2014 года.

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 1	Семестр 2	Семестр 3	Семестр 4	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции				18					18	часов
2.	Лабораторные работы				-					-	часов
3.	Практические занятия				18					18	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)				-					-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)				36					36	часов
6.	Из них в интерактивной форме				14					14	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)				36					36	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)				72					72	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена				-					-	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)				72					72	часов
	(в зачетных единицах)				2					2	ЗЕ

Зачет 4 **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 10700

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 73 от « 8 » 9 2016 г.

Согласована на портале № 10700

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 6 марта 2015 г. № 177, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от «_8_» __09___ 2016 г., протокол № _73_.

Разработчики:
Профессор кафедры ФЭ _____ / П.Е. Троян
Ассистент кафедры ФЭ _____ / В.В. Каранский

Заведующий кафедрой
Профессор кафедры ФЭ _____ / П.Е. Троян

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

Декан ФЭТ _____ / А.И. Воронин

Зав. профилирующей кафедрой ФЭ _____ / П.Е. Троян

Зав. выпускающей кафедрой ФЭ _____ / П.Е. Троян

Эксперты:
Председатель методической комиссии факультета ФЭТ _____ / И.А. Чистоедова

Председатель методической комиссии кафедры ФЭ _____ / И.А. Чистоедова

Согласована на портале № 10700

Согласована на портале № 10700

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Микроэлектроника» является приобретение знаний по физическим процессам в биполярных и полевых транзисторах, особенностях их работы в составе интегральных схем; основным принципам микроэлектроники; методам изоляции в интегральных схемах; основным свойствам и характеристикам аналоговых и цифровых интегральных схем; схемотехническим структурам интегральной микроэлектроники, элементам функциональной электроники.

Задачей изучения дисциплины «Микроэлектроника» является приобретение умений и навыков производить расчеты параметров активных и пассивных элементов интегральных схем; представления альтернативных приборов в виде эквивалентных схем и моделей; определения параметров моделей; схемотехнику аналоговых и цифровых интегральных схем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части базовой части (Б1.В.ДВ.7.2) образовательной программы по направлению 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника».

Изучение дисциплины базируется на следующих ранее изучаемых дисциплинах: физика, теоретические основы электротехники, физика конденсированного состояния, материалы электронной техники.

На материалах, изучаемых в данной дисциплине, базируются следующие дисциплины учебного плана, изучаемые позднее: твердотельная электроника, наноэлектроника, физика полупроводников, элементы и приборы наноэлектроники.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у бакалавров следующих *профессиональных компетенций* (ПК):

- способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий **(ПК-1);**

- способностью владеть современными методами расчета и проектирования изделий микро- и наноэлектроники и микросистемной техники, изготовленных с применением нанотехнологий, способностью к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования **(ПСК-1)**;

- готовность к выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области производства изделий наноэлектроники и микросистемной техники **(ПСК-3)**.

3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр должен:

знать:

– виды интегральных схем и методы изоляции в интегральных схемах;

– устройство, принцип действия и основные характеристики основных элементов интегральных схем – биполярных и полевых транзисторов и особенности их работы в интегральных схемах;

– эквивалентные схемы и функциональные электрические модели биполярных и полевых транзисторов интегральных схем;

– функциональные электрические модели приборов и методы определения параметров моделей;

уметь:

– определять путем измерений и расчетов параметры пассивных и активных элементов интегральных схем;

– производить выбор интегральной схемы для создания устройств микроэлектроники и твердотельной электроники;

– представлять элементы интегральных схем в виде моделей и эквивалентных схем;

владеть:

– навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами интегральных схем.

Согласована на портале № 10700

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет __2__ зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		4
Аудиторные занятия (всего)	**36**	**36**
В том числе:	-	
Лекции	18	18
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа (всего)	**36**	**36**
В том числе:	-	
Проработка лекционного материала	4	4
Подготовка к практическим занятиям	14	14
Подготовка к контрольным работам	6	6
Выполнение и защита индивидуального задания	12	12
Общая трудоемкость час	**72**	**72**
Зачетные Единицы Трудоемкости	**2**	**2**

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практические занятия	Самост. работа студента	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Введение, цели и задачи дисциплины, основные понятия.	1	-	-	1	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
2.	Классификация интегральных микросхем.	1	-	1	2	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
3.	Биполярные транзисторы интегральных схем.	6	14	21	41	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
4.	Полевые транзисторы интегральных схем.	4	4	10	18	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
5.	Пассивные элементы интегральных схем.	1	-	1	2	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
6.	Логические элементы на биполярных и полевых транзисторах.	2	-	1	3	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
7.	Элементы памяти.	1	-	1	2	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
8.	Цифровые и аналоговые интегральные схемы.	2	-	1	3	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
	ИТОГО	**18**	**18**	**36**	**72**	

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Введение, цели и задачи дисциплины, основные понятия.	Цели и задачи курса. Требования к объему знаний, умений и навыков. Краткая историческая справка по этапам развития микроэлектроники. Микроэлектроника – как научно-техническое направление в электронике. Принципы и задачи, решаемые микроэлектроникой. Микроэлектроника как исторически обусловленный этап развития электроники и одно из ее основных направлений, обеспечивающее разработку качественно нового типа электронных приборов - интегральных микросхем. Сочетание физического, технологического и схемотехнического аспектов микроэлектроники. Предметная область дисциплины «Микроэлектроника», идеология курса.	1	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3

Согласована на портале № 10700

		Некоторые понятия: интегральная схема, пассивные и активные элементы интегральной схемы, степень интеграции, плотность упаковки элементов.		
2.	Классификация интегральных микросхем.	Классификация интегральных микросхем по различным признакам. Классификация интегральных микросхем по технологическим признакам: полупроводниковые, гибридные и прочие микросхемы. Микросхемы на биполярных и МДП-элементах. Цифровые и аналоговые микросхемы. Интегральные микросхемы малой, средней и большой степени интеграции, сверхбольшие интегральные микросхемы.	1	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
3.	Биполярные транзисторы интегральных схем.	Схема потоков носителей зарядов в БТ. Внутренние физические параметры БТ: эффективность эмиттера, коэффициент переноса, эффективность коллектора. Внешние параметры БТ: коэффициент передачи тока эмиттера, коэффициент передачи тока базы. Связь между внутренними и внешними параметрами в БТ. Статические параметры трех режимов работы БТ. Явление в БТ при больших токах. Эффект модуляции базы (эффект Эрли) и его следствия. Пробой БТ. Особенности пробоя БТ в схеме с ОЭ. Статические характеристики БТ в схеме с ОБ и ОЭ. Динамические характеристики БТ. Области активной работы, режима отсечки и насыщения. Предельные режимы по току и напряжению. Усилительные свойства БТ в схемах с ОБ, ОЭ и ОК. Частотные параметры БТ: предельная частота коэффициента передачи тока эмиттера, предельная частота коэффициента передачи тока базы, граничная частота, максимальная частота генерации. Зависимость эффективности эмиттера, коэффициента переноса, коэффициентов передачи тока эмиттера и тока базы от частоты. Переходные процессы в БТ для включения с ОБ и ОЭ. Характеристики переходных процессов: tз, tн, tрасс, tсп, tвкл, tвыкл. Описание переходных процессов методом заряда. Температурные зависимости динамических характеристик. Зависимость коэффициентов передачи токов эмиттера и базы от температуры. Термостабильность схем с ОБ и ОЭ. Описание БТ как линейного четырехполюсника. Система y-, z- и h- параметров. Схемы замещения БТ в y-, z- и h-параметрах. Переход от одной системы параметров к другой. Смысл h-параметров. Взаимосвязь h-параметров с физическими параметрами БТ. Расчет h-параметров по физическим параметрам БТ и наоборот. Методы определения h-параметров. Физическая эквивалентная схема БТ. Эквивалентная схема БТ с ОБ и ОЭ для низких частот. Эквивалентная схема БТ для высоких частот. Параметры эквивалентной схемы БТ. Зависимость параметров БТ от Iэ, T и Uк. П-образная и гибридная эквивалентные схемы. Мощные БТ. Составной транзистор (транзистор Дарлингтона). Лавинный транзистор. Однопереходный транзистор. Инжекционный транзистор. IGBT-транзистор. Модели БТ: Эберса-Молла, зарядоуправляемая. Шумы в БТ: определение шума, виды шумов, их зависимость от частоты, IЭ, Uк. Особенности структур биполярных транзисторов интегральных схем. Методы изоляции в интегральных схемах: обратносмещенным p-n переходом, диэлектрической пленкой, воздушным промежутком, диэлектрическими материалами, комбинированной изоляцией. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы. Транзисторы с диодом Шоттки. Транзисторы p-n-p структуры для интегральных схем и новые структуры транзисторов. Диоды	6	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3

Согласована на портале № 10700

		интегральных схем. Эквивалентная схема и модель интегрального биполярного транзистора. Четырехслойные тиристорные структуры.		
4.	Полевые транзисторы интегральных схем.	ПТ с управляющим p-n переходом. Устройство ПТ. Принцип действия. Явление отсечки канала, UOTC. Причины, приводящие к отсечке тока и приращения тока. Процессы в ПТ после отсечки приращения тока. Качественный вид выходных ВАХ. Расчет выходных ВАХ ПТ с управляющим переходом. Передаточная характеристика. Основные характеристики усилительного режима: крутизна, внутреннее сопротивление, коэффициент усиления по напряжению. Эквивалентная схема ПТ с управляющим переходом. Граничная частота, критерий граничной частоты. Схемы замещения для НЧ и ВЧ для трех схем включения ПТ. Полевые транзисторы с изолированным затвором и индуцированным каналом (МДП-транзистор). Устройство. Принцип действия. Напряжение Unop. Качественный вид входных и выходных ВАХ МДП-транзистора. Передаточная характеристика. Расчет выходных статических характеристик. Основные параметры усилительного и ключевого режимов работы. Переходные процессы. Комплементарная пара. Эквивалентная схема. Модели МДП-транзистора: динамическая модель малого и большого сигналов. Статическая и динамическая модель мощных ПТ. Полевые транзисторы с изолированным затвором и встроенным каналом. Устройство, принцип действия, эквивалентная схема. Семейство выходных статических характеристик. Передаточные характеристики. Отличие транзистора со встроенным каналом от прибора с индуцированным каналом. Транзисторы с n-каналами и самосовмещенными затворами. Параметры и характеристики транзисторов с короткими каналами. Разновидности полевых транзисторных структур СБИС. Особенности полевых транзисторов с управляющими переходами в интегральном исполнении. Паразитная связь между элементами через полуизолирующую подложку. Интегральные схемы на ПТШ на основе арсенида галлия. НЕМТ-транзисторы.	4	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
5.	Пассивные элементы интегральных схем.	Полупроводниковые резисторы, пленочные резисторы, конденсаторы и индуктивности, микрополосковые линии и элементы на их основе.	1	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
6.	Логические элементы на биполярных и полевых транзисторах.	Классификация логических элементов. Основные характеристики и параметры логических элементов. Элементы транзисторно-транзисторной логики. Элементы эмиттерно-связанной логики. Логические элементы БИС с инжекционным питанием. Элементы Шоттки-транзисторной логики и интегральной Шоттки-логики. Инвертор на n-канальных МДП-транзисторах. Инвертор на комплементарных транзисторах. Логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ. Логические элементы динамического типа. Логические элементы сверхскоростных микросхем на МЕП-транзисторах.	2	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
7.	Элементы памяти.	Элементы памяти статического типа на МДП-транзисторах. Элементы памяти динамического типа на МДП-транзисторах. Элементы микросхем репрограммируемых постоянных запоминающих устройств. Элементы памяти на биполярных транзисторах.	1	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3
8.	Цифровые и аналоговые интегральные схемы.	Триггеры. Полупроводниковые микросхемы памяти. Микропроцессоры и микро-ЭВМ. Логические БИС.	2	ПК-1; ПСК-1; ПСК-3

Согласована на портале № 10700

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, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Предшествующие дисциплины									
1.	физика	+	+	+	+	+	+	+	+
2.	теоретические основы электротехники	-	+	+	+	+	+	+	+
3.	физика конденсированного состояния	+	-	+	+	-	-	-	-
4.	материалы электронной техники	+	-	+	+	-	-	-	-
Последующие дисциплины									
1	твердотельная электроника	+	+	+	+	+	+	+	+
2	наноэлектроника	+	-	+	+	-	-	-	-
3	физика полупроводников	+	-	-	-	-	-	-	-
4	элементы и приборы наноэлектроники	+	+	+	+	+	+	+	+

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

Перечень компетенций	Виды занятий			Формы контроля
	Л	ПЗ	СРС	
ПК-1	+	+	+	Опрос на лекциях. Отчет по практической работе. Результаты контрольных работ. Защита индивидуального задания.
ПСК-1	+	+	+	Опрос на лекциях. Отчет по практической работе. Результаты контрольных работ. Защита индивидуального задания.
ПСК-3	+	+	+	Опрос на лекциях. Отчет по практической работе. Результаты контрольных работ. Защита индивидуального задания.

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы / Формы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Всего
Мультимедийные презентации с видеороликами и раздаточным материалом с последующим обсуждением	4	4	8
Работа в команде	-	6	6
Итого интерактивных занятий	4	10	14

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

не предусмотрено

Согласована на портале № 10700

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1.	3	Схемы включения и режимы работы биполярного транзистора.	1	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
2.	3	Расчет внутренних параметров биполярного транзистора.	2	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
3.	3	Расчет внешних параметров биполярного транзистора.	2	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
4.	3	Эффект Эрли в биполярных транзисторах.	1	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
5.	3	Частотные свойства биполярного транзистора.	2	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
6.	3	Определение малосигнальных параметров биполярного транзистора.	2	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
7.	3	Определение параметров эквивалентной схемы биполярного транзистора.	2	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
8.	4	Расчет параметров полевых транзисторов.	2	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
9.	3	КР №1 «Расчет параметров биполярных транзисторов».	2	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3
10.	3	КР №2 «Расчет малосигнальных параметров и параметров эквивалентных схем биполярного транзистора»	2	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы
1.	2-8	Проработка лекционного материала	10	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3	Опрос на лекциях
2.	3-4	Проработка лекционного материала при подготовке к практическим занятиям	10	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3	Отчет по практической работе
3.	3	Проработка лекционного материала при подготовке к контрольным работам	4	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3	Результаты контрольных работ
4.	3-4	Выполнение и защита индивидуальных заданий.	12	ОПК-2; ПК-1; ПСК-3	Защита индивидуального задания

10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

не предусмотрено

11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Индивидуальное задание №1	10			**10**
Индивидуальное задание №2		10		**10**
Индивидуальное задание №3			10	**10**
Контрольная работа КР-1	15			**15**
Контрольная работа КР-2		15		**15**
Отчеты по практическим занятиям	10	5	10	**25**
Компонент своевременности	3	3	3	**9**
Посещение занятий	2	2	2	**6**
Итого максимум за период:	**40**	**35**	**25**	**100**
Нарастающим итогом	**40**	**75**	**100**	**100**

Согласована на портале № 10700

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

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	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)

Вопросы для подготовки к зачету:

1. Классификация интегральных микросхем по различным признакам.
2. Классификация интегральных микросхем по технологическим признакам: полупроводниковые, гибридные и прочие микросхемы.
3. Микросхемы на биполярных и МДП-элементах.
4. Цифровые и аналоговые микросхемы.
5. Интегральные микросхемы малой, средней и большой степени интеграции, сверхбольшие интегральные микросхемы.
6. Биполярный транзистор (БТ): определение, схемы включения, режимы работы.
7. Дрейфовый и бездрейфовый БТ.
8. Схема потоков носителей в БТ.
9. Внутренние параметры БТ: γ, $\alpha П$, α^*.
10. Внешние параметры БТ: α, β.
11. Статические характеристики БТ.
12. Усилительные свойства БТ.
13. Частотные параметры БТ.
14. Эквивалентная схема БТ.
15. БТ как четырехполюсник. Система y, z, h – параметров.
16. Мощные БТ.
17. Лавинный БТ.
18. Однопереходный транзистор.
19. Инжекционный транзистор.
20. Шумы в БТ.
21. Модель Эберса–Молла.
22. Классификация и маркировка БТ.
23. Полевые транзисторы (ПТ): определение, виды.
24. ПТ с управляющим переходом и барьером Шоттки.
25. ПТ с индуцированным и встроенным каналом.
26. Комплементарная пара. Параметры ПТ. Достоинства и недостатки.
27. Вертикальный МДП-транзистор.
28. ПТШ.
29. Тиристоры: определение, виды.
30. Принцип действия диодного тиристора.
31. Триодный тиристор.
32. Симметричный тиристор.
33. Полупроводниковые датчики, преобразователи.
34. Методы изоляции.
35. Многоэмиттерный и многоколлекторный БТ.

Согласована на портале № 10700

36. Вертикальный и горизонтальный транзистор.
37. Полупроводниковые резисторы, пленочные резисторы, конденсаторы и индуктивности, микрополосковые линии и элементы на их основе.
38. Классификация логических элементов.
39. Основные характеристики и параметры логических элементов.
40. Элементы транзисторно-транзисторной логики.
41. Элементы эмиттерно-связанной логики.
42. Логические элементы БИС с инжекционным питанием.
43. Элементы Шоттки-транзисторной логики и интегральной Шоттки-логики.
44. Инвертор на n-канальных МДП-транзисторах.
45. Инвертор на комплементарных транзисторах.
46. Логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ.
47. Логические элементы динамического типа.
48. Логические элементы сверхскоростных микросхем на МЕП-транзисторах.
49. Элементы памяти статического типа на МДП-транзисторах.
50. Элементы памяти динамического типа на МДП-транзисторах.
51. Элементы микросхем репрограммируемых постоянных запоминающих устройств.
52. Элементы памяти на биполярных транзисторах.
53. Триггеры.
54. Полупроводниковые микросхемы памяти.
55. Микропроцессоры и микро-ЭВМ.

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

12.1 Основная литература

1. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники. – Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 496 с. – [электронный ресурс]. – http://lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=68&pl1_id=952

12.2 Дополнительная литература

1. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 488 с. **(224)**
2. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. – М.: Высшая школа, 2006. – 480 с. **(98)**
3. Троян П.Е. Микроэлектроника. Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 346 с. **(50)**
4. Щука А.А. Электроника. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 800 с. **(3)**

12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

1. Троян П.Е. Микроэлектроника. Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 103 с. **(50)**

12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: http://www.ph4s.ru/
2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: http://window.edu.ru/
3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru
4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/

13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации программы учебной дисциплины требуется аудитория, оснащенная мультимедийным проектором.

Согласована на портале № 10700

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
(Проректор по учебной работе)
_____ **П.Е. Троян**
«30» 09 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки **28.03.01** «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Профиль Нанотехнологии в электронике и микросистемной техник

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 2 **Семестр** 4

Учебный план набора 2014 года.

Зачет 4 **семестр**

Разработчики:
Профессор кафедры ФЭ _____ / П.Е. Троян
Ассистент кафедры ФЭ _____ / В.В. Каранский

Томск 2016

Согласована на портале № 10700

Согласована на портале № 10700

1. ВВЕДЕНИЕ

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

ФОС по учебной дисциплине «Микроэлектроника» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Микроэлектроника» компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ПК-1	- способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий;	*знать* эквивалентные схемы и функциональные электрические модели биполярных и полевых транзисторов интегральных схем; *уметь* представлять элементы интегральных схем в виде моделей и эквивалентных схем; *владеть* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
ПСК-1	- способностью владеть современными методами расчета и проектирования изделий микро- и наноэлектроники и микросистемной техники, изготовленных с применением нанотехнологий, способностью к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования;	*знать* устройство, принцип действия и основные характеристики основных элементов интегральных схем – биполярных и полевых транзисторов и особенности их работы в интегральных схемах; *уметь* определять путем измерений и расчетов параметры пассивных и активных элементов интегральных схем; *уметь* экспериментально определять параметры твердотельных приборов и элементов микросистемной техники; *владеть* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
ПСК-3	- готовность к выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области производства изделий наноэлектроники и микросистемной техники.	*знать* функциональные электрические модели приборов и методы определения параметров моделей; *уметь* производить выбор интегральной схемы для создания устройств микроэлектроники и твердотельной электроники; *владеть* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем

2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

2.1 Компетенция ПК-1

ПК-1 способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	*знает* эквивалентные схемы и функциональные электрические модели биполярных и полевых транзисторов интегральных схем;	*умеет* представлять элементы интегральных схем в виде моделей и эквивалентных схем;	*владеет* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
Виды занятий	Лекции; Практические занятия;	Практические занятия; Индивидуальное задание;	Индивидуальное задание; Самостоятельная работа

Согласована на портале № 10700

	Групповые консультации	Самостоятельная работа	
Используемые средства оценивания	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Зачет	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление);	Зачет

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – 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, совершенствует 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 исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем
Удовлетворительно (пороговый уровень)	обладает базовыми общими знаниями	обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач	работает при прямом наблюдении

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	*понимает* связь между параметрами и характеристиками эквивалентных схем приборов нано- и микросистемной техники; *определяет* экспериментальными методами параметры эквивалентных схем приборов нано- и микросистемной техники; *физически аргументирует* выбор и план решения задачи; *графически иллюстрирует* задачу	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* математически описывать связь между параметрами эквивалентных схем полупроводниковых приборов; *умеет* использовать стандартные программные средства для компьютерного моделирования нано- и микросистемной техники; умеет строить простейшие математические и физические модели приборов, схем, устройств и установок нано- и микросистемной техники	*свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе; *классифицирует* устройства и установки нано- и микросистемной техники
Хорошо (базовый уровень)	*распознает* эквивалентные схемы устройств нано- и микросистемной техники; *знает* принцип действия	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование;	*владеет* разными способами представлениями информации; *способен организовать* ра-

Согласована на портале № 10700

	основных классов устройств нано- и микросистемной техники; *составляет* план решения задачи	*применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет строить* простейшие физические и математические модели приборов нано- и микросистемной техники	боту в междисциплинарной команде; *способен классифицировать* приборы и устройства нано- и микросистемной техники
Удовлетворительно (пороговый уровень)	*дает* определения основных понятий; *распознает* эквивалентные схемы основных устройств нано- и микросистемной техники; *знает* принцип действия основных классов приборов электроники и наноэлектроники	*умеет* работать со справочной литературой; *использует* приборы, указанные в описании лабораторной работы; *умеет* представлять результаты своей работы	*владеет* терминологией в предметной области знания; *владеет* навыками практической работы с приборами нано- и микросистемной техники

2.2 Компетенция ПСК-1

ПСК-1 способностью владеть современными методами расчета и проектирования изделий микро- и наноэлектроники и микросистемной техники, изготовленных с применением нанотехнологий, способностью к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	*знать* устройство, принцип действия и основные характеристики основных элементов интегральных схем – биполярных и полевых транзисторов и особенности их работы в интегральных схемах;	*уметь* определять путем измерений и расчетов параметры пассивных и активных элементов интегральных схем; *уметь* экспериментально определять параметры твердотельных приборов и элементов микросистемной техники;	*владеть* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Индивидуальное задание; Самостоятельная работа	Индивидуальное задание; Самостоятельная работа
Используемые средства оценивания	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Зачет	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление);	Зачет

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.2 в п. 2.1.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть

Согласована на портале № 10700

Отлично (высокий уровень)	*понимает* связь между параметрами и характеристиками эквивалентных схем приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники; *называет* основные технические характеристики основных устройств и приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники; *аргументирует* выбор метода расчета основных параметров эквивалентных схем приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники; *физически аргументирует* выбор и план решения задачи; *графически иллюстрирует* задачу	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* математически описывать связь между параметрами эквивалентных схем полупроводниковых приборов; *умеет выбирать* метод расчета основных параметров эквивалентных схем приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники; *умеет* использовать стандартные программные средства для проектирования приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники	*свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме; *владеет* современными методами расчета и проектирования приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе; *классифицирует* устройства и установки микро- и наноэлектроники и микросистемной техники
Хорошо (базовый уровень)	*знает* принцип действия основных приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники; *определяет* методы расчета параметров приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники; *составляет* план решения задачи	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование; *применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет рассчитывать* основные параметры приборов и устройств микро- и наноэлектроники и микросистемной техники	*владеет* разными способами представлениями информации; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *способен классифицировать* приборы и устройства микроэлектроники и твердотельной микро- и наноэлектроники и микросистемной техники
Удовлетворительно (пороговый уровень)	*дает* определения основных понятий; *распознает* эквивалентные схемы основных устройств микро- и наноэлектроники и микросистемной техники; *знает* принцип действия основных классов приборов микро- и наноэлектроники и микросистемной техники	*умеет* работать со справочной литературой; *использует* приборы, указанные в описании лабораторной работы; *умеет* представлять результаты своей работы	*владеет* терминологией в предметной области знания; *владеет* навыками практической работы с приборами микро- и наноэлектроники и микросистемной техники

2.3 Компетенция ПСК-3

ПСК-3 готовность к выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области производства изделий наноэлектроники и микросистемной техники

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	*знать* функциональные электрические модели приборов	*уметь* производить выбор интегральной схемы для соз-	*владеет* навыками практической работы с полупровод-

Согласована на портале № 10700

	и методы определения параметров моделей;	дания устройств микроэлектроники и твердотельной электроники;	никовыми приборами и элементами электронных схем
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Индивидуальное задание; Самостоятельная работа	Индивидуальное задание; Самостоятельная работа
Используемые средства оценивания	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Зачет	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление);	Зачет

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.2 в п. 2.1.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	*понимает* разницу между функциональными и электрическими моделями приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *аргументирует* выбор метода определения параметров функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *физически аргументирует* выбор и план решения по определения параметров моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *графически иллюстрирует* основные зависимости функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники	*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет* математически описывать связь между параметрами электронной схемы; *умеет выбирать* метод расчета основных параметров электронной схемы, обеспечивая при этом высокую надежность электрических схем	*свободно владеет* разными способами представления физической информации в графической и математической форме; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе *проводит* опытно-конструкторские работы в области производства изделий наноэлектроники и микросистемной техники
Хорошо (базовый уровень)	*распознает* функциональные и электрические модели приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *знает* принцип действия функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *определяет* методы расчета параметров функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной	*самостоятельно подбирает* и готовит для эксперимента необходимое оборудование; *применяет* методы решения нетиповых задач; *умеет рассчитывать* основные параметры электронных схем, обеспечивая при этом высокую надежность схем	*владеет* разными способами представлениями информации; *способен организовать* работу в междисциплинарной команде; *способен классифицировать* полупроводниковые приборы и элементы интегральных схем

Согласована на портале № 10700

	техники; *составляет* план решения задачи		
Удовлетворительно (пороговый уровень)	*дает* определения основных понятий; *распознает* функциональные и электрические модели приборов наноэлектроники и микросистемной техники; *знает* принцип действия функциональных и электрических моделей приборов наноэлектроники и микросистемной техники	*умеет* работать со справочной литературой; *использует* приборы, указанные в описании лабораторной работы; *умеет* представлять результаты своей работы	*владеет* терминологией в предметной области знания; *владеет* навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем

3. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы:

– типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе: контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, самостоятельная работа, зачет.

3.1 Контрольные работы

1. Расчет параметров биполярных транзисторов.
2. Расчет малосигнальных параметров и параметров эквивалентных схем биполярного транзистора.

3.2 Индивидуальные задания

1. Физические параметры биполярного транзистора.
2. Малосигнальные параметры биполярного транзистора.
3. Полевые транзисторы.

3.3 Темы для самостоятельной работы

1. Классификация интегральных микросхем.
2. Биполярные транзисторы интегральных схем.
3. Полевые транзисторы интегральных схем.
4. Пассивные элементы интегральных схем.
5. Логические элементы на биполярных и полевых транзисторах.
6. Элементы памяти.
7. Цифровые и аналоговые интегральные схемы.

3.4 Зачет

1. Классификация интегральных микросхем по различным признакам.
2. Классификация интегральных микросхем по технологическим признакам: полупроводниковые, гибридные и прочие микросхемы.
3. Микросхемы на биполярных и МДП-элементах.
4. Цифровые и аналоговые микросхемы.
5. Интегральные микросхемы малой, средней и большой степени интеграции, сверхбольшие интегральные микросхемы.
6. Биполярный транзистор (БТ): определение, схемы включения, режимы работы.
7. Дрейфовый и бездрейфовый БТ.
8. Схема потоков носителей в БТ.
9. Внутренние параметры БТ: γ, $\alpha П$, α^*.
10. Внешние параметры БТ: α, β.
11. Статические характеристики БТ.

Согласована на портале № 10700

12. Усилительные свойства БТ.
13. Частотные параметры БТ.
14. Эквивалентная схема БТ.
15. БТ как четырехполюсник. Система y, z, h – параметров.
16. Мощные БТ.
17. Лавинный БТ.
18. Однопереходный транзистор.
19. Инжекционный транзистор.
20. Шумы в БТ.
21. Модель Эберса–Молла.
22. Классификация и маркировка БТ.
23. Полевые транзисторы (ПТ): определение, виды.
24. ПТ с управляющим переходом и барьером Шоттки.
25. ПТ с индуцированным и встроенным каналом.
26. Комплементарная пара. Параметры ПТ. Достоинства и недостатки.
27. Вертикальный МДП-транзистор.
28. ПТШ.
29. Тиристоры: определение, виды.
30. Принцип действия диодного тиристора.
31. Триодный тиристор.
32. Симметричный тиристор.
33. Полупроводниковые датчики, преобразователи.
34. Методы изоляции.
35. Многоэмиттерный и многоколлекторный БТ.
36. Вертикальный и горизонтальный транзистор.
37. Полупроводниковые резисторы, пленочные резисторы, конденсаторы и индуктивности, микрополосковые линии и элементы на их основе.
38. Классификация логических элементов.
39. Основные характеристики и параметры логических элементов.
40. Элементы транзисторно-транзисторной логики.
41. Элементы эмиттерно-связанной логики.
42. Логические элементы БИС с инжекционным питанием.
43. Элементы Шоттки-транзисторной логики и интегральной Шоттки-логики.
44. Инвертор на n-канальных МДП-транзисторах.
45. Инвертор на комплементарных транзисторах.
46. Логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ.
47. Логические элементы динамического типа.
48. Логические элементы сверхскоростных микросхем на МЕП-транзисторах.
49. Элементы памяти статического типа на МДП-транзисторах.
50. Элементы памяти динамического типа на МДП-транзисторах.
51. Элементы микросхем репрограммируемых постоянных запоминающих устройств.
52. Элементы памяти на биполярных транзисторах.
53. Триггеры.
54. Полупроводниковые микросхемы памяти.
55. Микропроцессоры и микро-ЭВМ.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы:

4.1 Основная литература

1. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники. – Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 496 с. – [электронный ресурс]. – http://lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=68&pl1_id=952

4.2 Дополнительная литература

1. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 488 с.
(224)

Согласована на портале № 10700

2. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. – М.: Высшая школа, 2006. – 480 с. **(98)**

3. Троян П.Е. Микроэлектроника. Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 346 с. **(50)**

4. Щука А.А. Электроника. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 800 с. **(3)**

4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

1. Троян П.Е. Микроэлектроника. Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 103 с. **(50)**

4.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: http://www.ph4s.ru/

2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: http://window.edu.ru/

3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru

4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/

Согласована на портале № 10700