

## МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение  
высшего образования«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

## УТВЕРЖДАЮ

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-ae0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

«30» \_\_\_\_\_ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКАУровень основной образовательной программы бакалавриатНаправления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»Профиль Квантовая и оптическая электроникаФорма обучения очнаяФакультет электронной техники (ФЭТ)Кафедра электронных приборов (ЭП)Курс 3Семестр 5Учебный 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					18				18	часов
3.	Практические занятия					18				18	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)					-				-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)					54				54	часов
6.	Из них в интерактивной форме					30				30	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)					54				54	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)					108				108	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена					-				-	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)					108				108	часов
	(в зачетных единицах)					3				3	ЗЕТ

Зачет 5 семестр

Томск 2016

### Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. № 218, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры электронных приборов от « 08 » 09 2016 г., протокол № 73.

#### Разработчики:


Профессор кафедры ФЭ

Ассистент кафедры ФЭ

 / П.Е. Троян  
 / В.В. Каранский

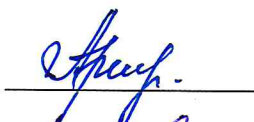
#### Заведующий кафедрой

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 ЭП

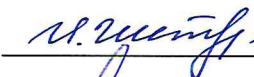
 / С.М. Шандаров

/ Зав. выпускающей кафедрой ЭП


 / С.М. Шандаров

#### Эксперты:

Председатель методической комиссии факультета ФЭТ

 / И.А. Чистоедова

Председатель методической комиссии кафедры ЭП

 / Л.Н. Орликов

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины «Твердотельная электроника» является приобретение знаний по физическим основам действия полупроводниковых приборов, их электрическим характеристикам для статического и динамического режимов работы, реакции приборов на внешние воздействия, представлению приборов в виде электрических моделей, методам экспериментального определения параметров моделей.

**Задачей** изучения дисциплины «Твердотельная электроника» является приобретение навыков и умений в вопросах правильного выбора вида полупроводниковых приборов для построения электронных схем, исходя из функциональных задач, решаемых этими схемами, и обеспечение грамотной эксплуатации приборов, позволяющих максимально использовать заложенные в них возможности.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП**

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части базовой части (Б1.Б.13.1) образовательной программы по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника».

Основой для изучения дисциплины «Твердотельная электроника» являются курсы: физика, материалы электронной техники.

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: физика конденсированного состояния, схемотехника, нанoeлектроника.

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

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

– способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-1);

– способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-2).

**3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр должен:**

**знать:**

– устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов;

– эквивалентные схемы приборов, методы определения и расчета параметров эквивалентных схем;

– функциональные электрические модели приборов и методы определения параметров моделей;

– методы анализа переходных процессов;

**уметь:**

– производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов;

– правильно выбирать элементы электронной схемы для решения поставленной задачи с максимальным использованием возможностей приборов, обеспечив при этом высокую надежность схем;

– анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда;

– экспериментально определять параметры твердотельных приборов;

**владеть:**

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

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
В том числе:		
Лекции	18	18
Лабораторные работы	18	18
Практические занятия	18	18
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
В том числе:		
Проработка лекционного материала	10	10
Подготовка к лабораторным работам	12	12
Выполнение практических заданий	8	8
Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2	16	16
Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2	8	8
<b>Общая трудоемкость, час</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
<b>Зачетные Единицы Трудоемкости</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самост. работа студента	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Введение, цели и задачи дисциплины	1	-	-	-	1	ПК-1, ПК-2
2.	Физические основы твердотельной электроники	3	4	-	3	10	ПК-1, ПК-2
3.	Полупроводниковые диоды	2	4	6	18	30	ПК-1, ПК-2
4.	Биполярные транзисторы (БТ)	6	8	8	22	44	ПК-1, ПК-2
5.	Полевые транзисторы (ПТ)	3	2	4	7	16	ПК-1, ПК-2
6.	Тиристоры	2	-	-	2	4	ПК-1, ПК-2
7.	Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	1	-	-	2	3	ПК-1, ПК-2
<b>ИТОГО</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>54</b>	<b>108</b>	

##### 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	Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Полупроводниковые приборы, как элементы электронных цепей (схем). Понятия, определения: электронные устройства, компоненты (пассивные и активные), полупроводниковые приборы. Основные разновидности полупроводниковых приборов по выполняемым функциям и технологии. Основные разделы курса лекций. Вклад отечественных ученых в развитие полупроводниковой техники. Список рекомендуемой литературы.	1	ПК-1, ПК-2
2.	Физические основы твердотельной электроники	Фундаментальная система уравнений – основа аналитического описания свойств полупроводниковых приборов. Аналитические выражения и физический смысл уравнений Пуассона, полного тока и непрерывности. Собственные и примесные полупроводники и их электропроводность. Компенсированные полупроводники. Зонная диаграмма этих материалов. Концентрация свободных носителей в собственном и примесном полупроводниках. Положение	3	ПК-1, ПК-2

		<p>уровня Ферми в них. Зависимость концентрации свободных носителей от температуры. Физическое обоснование диапазона рабочих температур полупроводниковых приборов. Полупроводники в электрическом поле.</p> <p>Генерация и рекомбинация носителей заряда. Виды генерации и рекомбинации: термогенерация, фотогенерация, полезная ионизация; рекомбинация зона-зона, рекомбинация через рекомбинационные уровни, излучательная и безизлучательная рекомбинация.</p> <p>Контакты металл-полупроводник и полупроводник-полупроводник с различным типом проводимости (р-п переход).</p> <p>Контакт металла с полупроводником (М-п/п) – зонная диаграмма. Выпрямляющий и омический контакт. Принцип выпрямления тока на контакте М-п/п по энергетическим диаграммам. ВАХ идеального контакта. Эффект Шоттки. Диод Шоттки. ВАХ реального контакта Шоттки. Распределение электрического поля в области пространственного заряда (ОПЗ) на контакте М-п/п и ширина ОПЗ. Емкость диода Шоттки. Эквивалентная схема и модель диода Шоттки. Особенности диода Шоттки. Омические контакты и их свойства. Механизм образования электронно-дырочного перехода (ЭДП). Определение ЭДП. Контактная разность потенциалов, ее зависимость от концентрации легирующей примеси, температуры и ширины запрещенной зоны. Энергетические диаграммы ЭДП при прямом и обратном смещениях. Потоки носителей зарядов и принцип выпрямления тока ЭДП. Инжекция и экстракция носителей. Концентрация неосновных носителей заряда у границ ЭДП.</p> <p>Методы получения ЭДП: сплавление, диффузия, ионное легирование, эпитаксия. Понятие плавного и резкого, симметричного и несимметричного ЭДП, точечные и плоскостные ЭДП.</p>		
3.	Полупроводниковые диоды	<p>Эквивалентная схема диода. Параметры эквивалентной схемы: дифференциальное сопротивление, сопротивление постоянному току, сопротивление базы, диффузионная и барьерная емкости. Зависимость параметров эквивалентной схемы от частоты (<math>F_{пред}</math>) для диодов с толстой и тонкой базами. Эквивалентная схема диода для высоких частот. Переходные процессы в диодах: включение и переключение для низкого уровня инжекции; включение и отключение для высокого уровня инжекции; эффекты накопления и рассасывания неосновных носителей в базе диода. Понятие низких, средних и высоких частот. Зависимость выпрямляющих свойств диода от частоты (<math>f_{max}</math>). Анализ переходных процессов методом заряда.</p> <p>Классификация диодов. Маркировка диодов. Выпрямительные диоды: определение, основные параметры. Импульсные диоды: определение, специфические характеристики, применение. Диоды с накоплением заряда. Универсальные диоды, СВЧ-диоды.</p> <p>Стабилитроны: принцип действия, схема включения, основные параметры, последовательно-параллельное включение.</p> <p>Туннельные диоды: принцип действия по энергетическим диаграммам, параметры, эквивалентная схема, применение.</p> <p>Обращенные диоды: принцип действия, применение. Варикапы: принцип действия, основные параметры. Приборы оптоэлектроники - фоторезистор, светоизлучающий диод, фотодиод, оптопары, лазеры: устройство, принцип действия, основные параметры, режимы работы, применение.</p> <p>Лавиннопролетные диоды, диоды Ганна. Модели полупроводниковых диодов: статическая, зарядоуправляемая.</p>	2	ПК-1, ПК-2

4.	Биполярные транзисторы (БТ)	<p>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.</p> <p>Динамические характеристики БТ. Области активной работы, режима отсечки и насыщения. Предельные режимы по току и напряжению.</p> <p>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.</p> <p>Переходные процессы в БТ для включения с ОБ и ОЭ. Характеристики переходных процессов: <math>t_3</math>, <math>t_n</math>, <math>t_{расc}</math>, <math>t_{сп}</math>, <math>t_{вкл}</math>, <math>t_{выкл}</math>. Описание переходных процессов методом заряда.</p> <p>Температурные зависимости динамических характеристик. Зависимость коэффициентов передачи токов эмиттера и базы от температуры. Термостабильность схем с ОБ и ОЭ.</p> <p>Описание БТ как линейного четырехполюсника. Система <math>u</math>-, <math>z</math>- и <math>h</math>- параметров. Схемы замещения БТ в <math>u</math>-, <math>z</math>- и <math>h</math>- параметрах. Переход от одной системы параметров к другой. Смысл <math>h</math>-параметров. Взаимосвязь <math>h</math>-параметров с физическими параметрами БТ. Расчет <math>h</math>-параметров по физическим параметрам БТ и наоборот. Методы определения <math>h</math>-параметров.</p> <p>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 <math>I_3</math>, <math>T</math> и <math>U_k</math>. П-образная и гибридная эквивалентные схемы.</p> <p>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, <math>I_3</math>, <math>U_k</math>.</p>	6	ПК-1, ПК-2
5.	Полевые транзисторы (ПТ)	<p>ПТ с управляющим p-n переходом. Устройство ПТ. Принцип действия. Явление отсечки канала, <math>U_{отс}</math>. 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.</p> <p>Полевые транзисторы с изолированным затвором и индуцированным каналом (МДП-транзистор). Устройство. Принцип действия. Напряжение <math>U_{пор}</math>. 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</p>	3	ПК-1, ПК-2

		<p>модель мощных ПТ.</p> <p>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.</p> <p>Транзисторы с n-каналами и самосовмещенными затворами. Параметры и характеристики транзисторов с короткими каналами. Разновидности полевых транзисторных структур СВИС. 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.</p>		
6.	Тиристоры	<p>Общие сведения о тиристорах. Классификация и условно-графические обозначения тиристоров. Устройство и принцип действия диодного тиристора. Триодный незапираемый тиристор. Триодный запираемый тиристор. Симметричные тиристоры. Эффекты <math>dU/dt</math> и <math>dI/dt</math>. Основные параметры тиристоров. Маркировка тиристоров.</p>	2	ПК-1, ПК-2
7.	Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи	<p>Датчики температуры, давления, магнитных полей, датчики парциальных давлений. Преобразовательные сенсоры.</p>	1	ПК-1, ПК-2

### 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
<b>Предшествующие дисциплины</b>								
1.	физика	+	+	+	+	+	+	+
2.	материалы электронной техники	+	+	+	+	+	+	+
<b>Последующие дисциплины</b>								
1.	физика конденсированного состояния	+	-	+	+	+	+	+
2.	схемотехника	-	-	+	+	+	+	+
3.	наноэлектроника	+	+	+	+	+	+	+

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

Перечень компетенций	Виды занятий				Формы контроля
	Л	ПЗ	ЛР	СРС	
ПК-1	+	+	+	+	Опрос на лекциях. Защита индивидуального задания. Защита отчетов по практическим занятиям. Защита отчетов по лабораторным работам. Оценка за контрольную работу.
ПК-2	+	+	+	+	Опрос на лекциях. Защита индивидуального задания. Защита отчетов по практическим занятиям. Защита отчетов по лабораторным работам. Оценка за контрольную работу.

## 6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

### Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы	Формы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Лабораторные работы (час)	Всего
	<i>Работа в команде</i>	-	12	12	24
	<i>Опрос на лекциях</i>	6	-	-	6
Итого интерактивных занятий					30

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1.	3	Определение времени восстановления обратного сопротивления диода	4,5	ПК-1, ПК-2
2.	3	Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода	4,5	ПК-1, ПК-2
3.	3	Исследование вольт-амперной характеристики полупроводникового диода	4,5	ПК-1, ПК-2
4.	4	Биполярные транзисторы: статические характеристики БТ	4,5	ПК-1, ПК-2
5.	4	Биполярные транзисторы: исследование мощного БТ	4,5	ПК-1, ПК-2
6.	5	Полевые транзисторы	4,5	ПК-1, ПК-2

Из предлагаемого перечня лабораторных работ студенты выполняют 4 работы.

## 8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1.	2	Физические основы твердотельной электроники	2	ПК-1, ПК-2
2.	3	Расчет параметров полупроводниковых диодов	2	ПК-1, ПК-2
3.	4	Схемы включения и режимы работы биполярного транзистора	2	ПК-1, ПК-2
4.	4	Расчет внутренних параметров биполярного транзистора	1	ПК-1, ПК-2
5.	4	Расчет внешних параметров биполярного транзистора	1	ПК-1, ПК-2
6.	4	Эффект Эрли в биполярных транзисторах	1	ПК-1, ПК-2
7.	4	Определение малосигнальных параметров биполярного транзистора	1	ПК-1, ПК-2
8.	5	Расчет параметров полевых транзисторов	4	ПК-1, ПК-2
9.	3	КР-1. Расчет параметров полупроводниковых диодов	2	ПК-1, ПК-2
10.	4	КР-2. Расчет параметров биполярных транзисторов	2	ПК-1, ПК-2



## 9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы (детализация)	Трудо- емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК	Контроль выпол- нения работы
1.	2-6	Проработка лекционного материала и п.7 раздела 5.1	10	ПК-1, ПК-2	Опрос на лекциях
2.	3-5	Проработка лекционного материала при подготовке к практическим занятиям	8	ПК-1, ПК-2	Отчеты по практическим работам
3.	3, 4	Проработка лекционного материала при подготовке к контрольным работам	8	ПК-1, ПК-2	Результаты контрольных работ
4.	3-5	Подготовка к лабораторным работам	12	ПК-1, ПК-2	Отчеты по лабораторным работам
4.	3, 4	Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2	16	ПК-1, ПК-2	Защита индивидуальных заданий

### Тематика индивидуальных заданий:

1. Расчет полупроводниковых диодов.
2. Расчет параметров биполярных транзисторов.

## 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
Выполнение и защита индивидуальных заданий	10	10		20
Контрольные работы	10		10	20
Защита лабораторных работ		10	10	20
Отчеты по практическим занятиям	10	8	10	28
Компонент своевременности	2	2	2	6
Посещение занятий	2	2	2	6
<b>Итого максимум за период:</b>	<b>34</b>	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>100</b>
<b>Нарастающим итогом</b>	<b>34</b>	<b>76</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

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)
65 – 69		
3 (удовлетворительно) (зачтено)	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно), (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

### Вопросы для подготовки к зачету:

1. Фундаментальная система уравнений твердотельной электроники.
2. Собственные, примесные и компенсированные полупроводники.
3. Генерация и рекомбинация носителей в полупроводниках.
4. Контакт металл-полупроводник.
5. Диод Шоттки.
6. Омические контакты.
7. Механизм образования электронно-дырочного перехода (ЭДП).
8. Контактная разность потенциалов, ее зависимость от концентрации легирующей примеси, температуры и ширины запрещенной зоны.
9. Энергетические диаграммы ЭДП при прямом и обратном смещениях.
10. Потоки носителей зарядов и принцип выпрямления тока ЭДП.
11. Методы получения ЭДП: сплавление, диффузия, ионное легирование, эпитаксия.
12. Понятие плавного и резкого, симметричного и несимметричного ЭДП, точечные и плоскостные ЭДП.
13. Классификация диодов.
14. Выпрямительные диоды.
15. Варикапы.
16. Стабилитрон.
17. Туннельный диод.
18. Фотодиод.
19. Светодиод.
20. Биполярный транзистор (БТ): определение, схемы включения, режимы работы.
21. Дрейфовый и бездрейфовый БТ.
22. Схема потоков носителей в БТ.
23. Внутренние параметры БТ:  $\gamma$ ,  $\alpha_{ДП}$ ,  $\alpha^*$ .
24. Внешние параметры БТ:  $\alpha$ ,  $\beta$ .
25. Статические характеристики БТ.
26. Усилительные свойства БТ.
27. Частотные параметры БТ.
28. Эквивалентная схема БТ.
29. БТ как четырехполюсник. Система  $y$ ,  $z$ ,  $h$  – параметров.
30. Мощные БТ.
31. Лавинный БТ.
32. Однопереходный транзистор.
33. Инжекционный транзистор.
34. Шумы в БТ.
35. Модель Эберса–Молла.
36. Классификация и маркировка БТ.
37. Полевые транзисторы (ПТ): определение, виды.
38. ПТ с управляющим переходом и барьером Шоттки.
39. ПТ с индуцированным и встроенным каналом.
40. Комплементарная пара. Параметры ПТ. Достоинства и недостатки.
41. Вертикальный МДП-транзистор.
42. ПТШ.
43. НЕМТ.
44. Тиристоры: определение, виды.
45. Принцип действия диодного тиристора.
46. Триодный тиристор.
47. Симметричный тиристор.
48. Полупроводниковые датчики, преобразователи.
49. IGBT.

## **12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **12.1 Основная литература**

1. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники. – Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 560 с. – [электронный ресурс]. – [http://lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=68&pl1\\_id=5856](http://lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=68&pl1_id=5856)

### **12.2 Дополнительная литература**

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. – Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2006. – 321 с. (48)
2. Гаман З.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с. (45)
3. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Сов. радио, 1990. – 264 с. (21)
4. Крутякова М.Г., Чарыков Н.А., Юдин В.В. Полупроводниковые приборы и основы их проектирования. – М.: Радио и связь, 1983. – 352 с. (6)
5. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2006. – 480 с. (98)
6. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – М.: Техносфера, 2005. – 408 с. (88)
7. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов / Э. Н. Воронков [и др.]. – М.: Академия, 2009. – 317 с. (4)

### **12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение**

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 76 с. (47)
2. Жигальский А.А. Твердотельная электроника: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 59 с. (29)

### **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 проведения лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная мультимедийным проектором. Проведение лабораторных работ по дисциплине «Твердотельная электроника» осуществляется в специализированной лаборатории кафедры ФЭ 115б «Лаборатория твердотельной электроники и микроэлектроники», которая оснащена следующим оборудованием: лабораторный стенд «Физические основы электроники», лабораторный макет «Исследование вольт-амперной характеристики р-п перехода», лабораторный макет «Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода», лабораторный макет «Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде», лабораторный макет «Исследование статических характеристик биполярного транзистора», лабораторный макет «Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим р-п переходом».



8/2

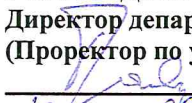
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение  
высшего образования

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор департамента образования  
(Проректор по учебной работе)

  
«30» 09 2016 г. П.Е. Троян

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль Квантовая и оптическая электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра электронных приборов (ЭП)

Курс 3 Семестр 5



Учебный план набора 2014 года.

Зачет 5 семестр

**Разработчик:**

Профессор кафедры ФЭ

Ассистент кафедры ФЭ

 / П.Е. Троян  
 / В.В. Каранский

Томск 2016

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе учебной дисциплины «Твердотельная электроника» 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 «Твердотельная электроника» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

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

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ПК-1	способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	<i>знать</i> методы анализа переходных процессов; <i>уметь</i> анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда; <i>владеть</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
ПК-2	способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	<i>знать</i> эквивалентные схемы приборов, методы определения и расчета параметров эквивалентных схем; <i>знать</i> устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов; <i>уметь</i> производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов; <i>уметь</i> экспериментально определять параметры твердотельных приборов; <i>владеть</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем

## 2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

### 2.1 Компетенция ПК-1

**ПК-1** способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

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	<i>знает</i> методы анализа переходных процессов	<i>умеет</i> анализировать переходные процессы в твердотельных приборах с использованием метода заряда	<i>владеет</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Лабораторные работы; Индивидуальное задание; Самостоятельная работа	Лабораторные работы;
Используемые средства оценивания	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Лабораторная работа (защита);	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление); Лабораторная работа (выполнение, оформление)	Лабораторная работа (защита); Зачет

	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
<b>Отлично</b> (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
<b>Хорошо</b> (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
<b>Удовлетворительно</b> (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
<b>Отлично</b> (высокий уровень)	<i>понимает</i> связь между параметрами и характеристиками эквивалентных схем приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения; <i>определяет</i> экспериментальными методами параметры эквивалентных схем приборов электроники и наноэлектроники; <i>физически аргументирует</i> выбор и план решения задачи; <i>графически иллюстрирует</i> задачу	<i>свободно применяет</i> методы решения нетиповых задач; <i>умеет</i> математически описывать связь между параметрами эквивалентных схем полупроводниковых приборов; <i>умеет</i> использовать стандартные программные средства для компьютерного моделирования устройств и установок электроники и наноэлектроники; <i>умеет</i> строить простейшие математические и физические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники	<i>свободно владеет</i> разными способами представления физической информации в графической и математической форме; <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде; <i>демонстрирует способность</i> корректно давать оценку проделанной работе; <i>классифицирует</i> устройства и установки электроники и наноэлектроники по их функциональному назначению
<b>Хорошо</b> (базовый уровень)	<i>распознает</i> эквивалентные схемы устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения; <i>знает</i> принцип действия	<i>самостоятельно подбирает</i> и готовит для эксперимента необходимое оборудование; <i>применяет</i> методы решения нетиповых задач;	<i>владеет</i> разными способами представлениями информации; <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде;

	основных классов устройств электроники и наноэлектроники; <i>составляет</i> план решения задачи	<i>умеет строить</i> простейшие физические и математические модели приборов электроники и наноэлектроники	<i>способен классифицировать</i> приборы и устройства электроники и наноэлектроники и элементы интегральных схем
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	<i>дает</i> определения основных понятий; <i>распознает</i> эквивалентные схемы основных устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения; <i>знает</i> принцип действия основных классов приборов электроники и наноэлектроники	<i>умеет</i> работать со справочной литературой; <i>использует</i> приборы, указанные в описании лабораторной работы; <i>умеет</i> представлять результаты своей работы	<i>владеет</i> терминологией в предметной области знания; <i>владеет</i> навыками практической работы с приборами электроники и наноэлектроники и элементами электронных схем

## 2.2 Компетенция ПК-2

**ПК-2** способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения

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
<b>Содержание этапов</b>	<i>знает</i> эквивалентные схемы приборов, методы определения и расчета параметров эквивалентных схем; <i>знает</i> устройство, принцип действия и основные технические характеристики основных классов полупроводниковых приборов	<i>умеет</i> производить расчет параметров основных классов полупроводниковых приборов; <i>умеет</i> экспериментально определять параметры твердотельных приборов	<i>владеет</i> навыками практической работы с полупроводниковыми приборами и элементами электронных схем
<b>Виды занятий</b>	Лекции; Практические занятия; Групповые консультации	Практические занятия; Лабораторные работы; Индивидуальное задание; Курсовой проект; Самостоятельная работа	Лабораторные работы;
<b>Используемые средства оценивания</b>	Опрос на лекции; Практическое задание (защита); Контрольная работа; Индивидуальное задание (защита); Лабораторная работа (защита); Зачет	Практическое задание (выполнение, оформление); Индивидуальное задание (выполнение, оформление); Лабораторная работа (выполнение, оформление)	Лабораторная работа (защита); 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
<b>Отлично</b> (высокий уровень)	<i>понимает</i> связь между параметрами и характеристиками эквивалентных схем; <i>аргументирует</i> выбор метода расчета основных параметров эквивалентных схем; <i>физически аргументирует</i> выбор и план решения задачи; <i>графически иллюстрирует</i> задачу	<i>свободно применяет</i> методы решения нетиповых задач; <i>умеет</i> математически описывать связь между параметрами эквивалентных схем полупроводниковых приборов; <i>умеет выбирать</i> метод расчета основных параметров эквивалентных схем полупроводниковых приборов	<i>свободно владеет</i> разными способами представления физической информации в графической и математической форме; <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде; <i>демонстрирует способность</i> корректно давать оценку проделанной работе
<b>Хорошо</b> (базовый уровень)	<i>распознает</i> эквивалентные схемы полупроводниковых приборов; <i>знает</i> принцип действия основных классов полупроводниковых приборов и основные технические характеристики; <i>определяет</i> методы расчета параметров эквивалентных схем; <i>составляет</i> план решения задачи	<i>самостоятельно подбирает</i> и готовит для эксперимента необходимое оборудование; <i>применяет</i> методы решения нетиповых задач; <i>умеет рассчитывать</i> основные параметры полупроводниковых приборов и эквивалентных схем замещения	<i>владеет</i> разными способами представлениями информации; <i>способен организовать</i> работу в междисциплинарной команде; <i>способен классифицировать</i> полупроводниковые приборы и элементы интегральных схем
<b>Удовлетворительно</b> (пороговый уровень)	<i>дает</i> определения основных понятий; <i>распознает</i> эквивалентные схемы полупроводниковых приборов; <i>знает</i> принцип действия основных классов полупроводниковых приборов	<i>умеет</i> работать со справочной литературой; <i>использует</i> приборы, указанные в описании лабораторной работы; <i>умеет</i> представлять результаты своей работы	<i>владеет</i> терминологией в предметной области знания; <i>владеет</i> 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, лабораторные работы, самостоятельная работа, курсовой проект, экзамен.

#### 3.1 Контрольные работы

1. Расчет параметров полупроводниковых диодов
2. Расчет параметров биполярных транзисторов

#### 3.2 Индивидуальные задания

1. Расчет полупроводниковых диодов.
2. Расчет параметров биполярных транзисторов.

#### 3.3 Лабораторные работы

1. Исследование вольт-амперной характеристики р-п перехода.
2. Исследование вольт-емкостных характеристик полупроводникового диода.

3. Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде.
4. Исследование статических характеристик биполярного транзистора.
5. Определение параметров биполярного транзистора.
6. Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим р-п переходом.

### 3.4 Темы для самостоятельной работы

1. Физические основы твердотельной электроники.
2. Электронно-дырочный переход.
3. Полупроводниковые диоды.
4. Биполярные транзисторы.
5. Полевые транзисторы.
6. Тиристоры.
7. Полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи

### 3.5 Зачет

1. Фундаментальная система уравнений твердотельной электроники.
2. Собственные, примесные и компенсированные полупроводники.
3. Генерация и рекомбинация носителей в полупроводниках.
4. Контакт металл-полупроводник.
5. Диод Шоттки.
6. Омические контакты.
7. Механизм образования электронно-дырочного перехода (ЭДП).
8. Контактная разность потенциалов, ее зависимость от концентрации легирующей примеси, температуры и ширины запрещенной зоны.
9. Энергетические диаграммы ЭДП при прямом и обратном смещениях.
10. Потоки носителей зарядов и принцип выпрямления тока ЭДП.
11. Методы получения ЭДП: сплавление, диффузия, ионное легирование, эпитаксия.
12. Понятие плавного и резкого, симметричного и несимметричного ЭДП, точечные и плоскостные ЭДП.
13. Классификация диодов.
14. Выпрямительные диоды.
15. Варикапы.
16. Стабилитрон.
17. Туннельный диод.
18. Фотодиод.
19. Светодиод.
20. Биполярный транзистор (БТ): определение, схемы включения, режимы работы.
21. Дрейфовый и бездрейфовый БТ.
22. Схема потоков носителей в БТ.
23. Внутренние параметры БТ:  $\gamma$ ,  $\alpha_P$ ,  $\alpha^*$ .
24. Внешние параметры БТ:  $\alpha$ ,  $\beta$ .
25. Статические характеристики БТ.
26. Усилительные свойства БТ.
27. Частотные параметры БТ.
28. Эквивалентная схема БТ.
29. БТ как четырехполюсник. Система  $u$ ,  $z$ ,  $h$  – параметров.
30. Мощные БТ.
31. Лавинный БТ.
32. Однопереходный транзистор.
33. Инжекционный транзистор.
34. Шумы в БТ.
35. Модель Эберса–Молла.
36. Классификация и маркировка БТ.
37. Полевые транзисторы (ПТ): определение, виды.
38. ПТ с управляющим переходом и барьером Шоттки.
39. ПТ с индуцированным и встроенным каналом.
40. Комплементарная пара. Параметры ПТ. Достоинства и недостатки.

41. Вертикальный МДП-транзистор.
42. ПТШ.
43. НЕМТ.
44. Тиристоры: определение, виды.
45. Принцип действия диодного тиристора.
46. Триодный тиристор.
47. Симметричный тиристор.
48. Полупроводниковые датчики, преобразователи.
49. IGBT.

#### **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. Физические основы электроники. – Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 560 с. – [электронный ресурс]. – [http://lanbook.com/books/element.php?p11\\_cid=68&p11\\_id=5856](http://lanbook.com/books/element.php?p11_cid=68&p11_id=5856)

##### **4.2 Дополнительная литература**

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. – Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2006. – 321 с. (48)
2. Гаман З.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с. (45)
3. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Сов. радио, 1990. – 264 с. (21)
4. Крутякова М.Г., Чарыков Н.А., Юдин В.В. Полупроводниковые приборы и основы их проектирования. – М.: Радио и связь, 1983. – 352 с. (6)
5. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. – СПб.: Лань, 2006. – 480 с. (98)
6. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – М.: Техносфера, 2005. – 408 с. (88)
7. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов / Э. Н. Воронков [и др.]. – М.: Академия, 2009. – 317 с. (4)

##### **4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение**

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 76 с. (47)
2. Жигальский А.А. Твердотельная электроника: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 59 с. (29)

##### **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/>

