

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ

Директор департамента по УР

Ким М.Ю.

«29» 10 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**

Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**

Направленность (профиль) / специализация: **Проектирование и технология микросистем**

Форма обучения: **очная**

Факультет: **Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**

Кафедра: **физической электроники (ФЭ)**

Курс: **4**

Семестр: **7**

Учебный план набора 2026 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	7 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	26	26	часов
Практические занятия	18	18	часов
Лабораторные занятия	16	16	часов
в т.ч. в форме практической подготовки	16	16	часов
Самостоятельная работа	48	48	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость	144	144	часов
(включая промежуточную аттестацию)	4	4	з.е.

Формы промежуточной аттестации

Семестр

Экзамен	7
---------	---

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ким М.Ю.

Должность: Директор департамента по УР

Дата подписания: 29.10.2025

Уникальный программный ключ:

ed789cd8-2cc6-4431-a59e-8f386b1d44fa

Томск

Согласована на портале № 85209

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Формирование знаний в области методов формирования и физических принципов функционирования компонентов микро- и наносистемной техники.

1.2. Задачи дисциплины

1. Изучение физических основ функционирования устройств микро- и наносистемной техники.

2. Изучение физических основ специфических методов изготовления устройств микро- и наносистемной техники.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).

Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

Модуль дисциплин: Модуль направленности (major).

Индекс дисциплины: Б1.В.02.10.

Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
-	-	-
Профессиональные компетенции		

ПК-1. Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	ПК-1.1. Знает основные физические и математические модели объектов микро- и наносистемной техники	Знает основные физические и математические модели, описывающие функционирование изделий микро- и наносистемной техники
	ПК-1.2. Знает основные программные средства для физического и математического моделирования приборов и устройств микро- и наносистемной техники	Знает основные программные пакеты, которые используются для физико-математического моделирования устройств микро- и наносистемной техники
	ПК-1.3. Умеет представлять объекты микро- и наносистемной техники в виде физических и математических моделей	Умеет представлять объекты микро- и наносистемной техники в виде физических и математических моделей
	ПК-1.4. Владеет практическими навыками работы в прикладных программах компьютерного моделирования	Владеет практическими навыками работы в прикладных программах компьютерного моделирования: построение базовых моделей, расчёт их параметров, определение граничных и оптимальных режимов их работы
ПК-2. Готов проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	ПК-2.1. Знает методы синтеза наноматериалов и компонентов	Знает основные физические и химические методы синтеза наноматериалов и компонентов изделий микро- и наносистемной техники
	ПК-2.2. Умеет выбрать и применить метод анализа материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	Умеет выбрать и применить адекватный метод анализа материалов и компонентов микро- и наносистемной техники для получения наиболее точной информации о материалах изделия и технических характеристик компонента
	ПК-2.3. Владеет основными методиками постановки и проведения экспериментальных исследований	Владеет основными методиками постановки и проведения экспериментальных исследований в области проектирования, изготовления и тестирования объектов нано- и микросистемной техники

ПК-6. Готов рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники	ПК-6.1. Знает основные методики проектирования и расчета компонентов нано- и микросистемной техники	Знает основные методики проектирования и расчета компонентов нано- и микросистемной техники на основе физико-математических моделей этих объектов и с применением программных средств проектирования и расчета
	ПК-6.2. Умеет рассчитывать параметры компонентов нано- и микросистемной техники	Умеет рассчитывать параметры компонентов нано- и микросистемной техники на основе физико-математических моделей этих объектов и с применением программных средств расчета
	ПК-6.3. Владеет навыками работы в прикладных программах для расчета и проектирования компонентов нано- и микросистемной техники	Владеет навыками работы в прикладных программах для расчета и проектирования компонентов нано- и микросистемной техники на основе существующих физико-химических моделей этих компонентов

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		7 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	60	60
Лекционные занятия	26	26
Практические занятия	18	18
Лабораторные занятия	16	16
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	48	48
Подготовка к контрольной работе	4	4
Подготовка к тестированию	14	14
Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	30	30
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость (в часах)	144	144
Общая трудоемкость (в з.е.)	4	4

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб.	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
7 семестр						

1 Чувствительные элементы микросистемной техники	8	6	8	18	40	ПК-1, ПК-2, ПК-6
2 Сенсорные компоненты микросистемной техники	8	4	4	14	30	ПК-1, ПК-2, ПК-6
3 Акселерометры в микросистемной технике	4	4	4	14	26	ПК-1, ПК-2, ПК-6
4 Актюаторы в микросистемной технике	6	4	-	2	12	ПК-1, ПК-6
Итого за семестр	26	18	16	48	108	
Итого	26	18	16	48	108	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), ч	Формируемые компетенции
7 семестр			
1 Чувствительные элементы микросистемной техники	Основные понятия МСТ. Принципиальное отличие изделий МСТ от интегральных схем.	2	ПК-1
	Синтез материалов и устройств микросистемной техники. Физические методы исследования материалов и материалов и объектов микросистемной техники.	6	ПК-2
	Итого	8	
2 Сенсорные компоненты микросистемной техники	Пьезорезистивные и пьезоэлектрические чувствительные элементы (ЧЭ). Резонансные ЧЭ, ЧЭ на поверхностных акустических волнах (ПАВ).	4	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Сенсоры температуры, давления, магнитного поля, угловых скоростей.	2	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Гироскопы: волоконно-оптический гироскоп, микромеханический сенсор угловых скоростей.	2	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Итого	8	
3 Акселерометры в микросистемной технике	Микромеханические акселерометры L-типа, микромеханические акселерометры R-типа. Акселерометры с нагревательной пластиной, акселерометры с нагревательным газом.	4	ПК-1, ПК-6
	Итого	4	

4 Актюаторы в микросистемной технике	Актюаторные элементы МСТ. Микромеханические ключи. Интегральные микрозеркала.	4	ПК-1, ПК-6
	Интегральные микродвигатели. Электростатические планарные микродвигатели.	2	ПК-1, ПК-6
	Итого	6	
Итого за семестр		26	
Итого		26	

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
7 семестр			
1 Чувствительные элементы микросистемной техники	Методы исследования объектов микросистемной техники. Параметры и характеристики МСТ. Термины и буквенные обозначения параметров МСТ.	2	ПК-1, ПК-2
	Прямой и обратный пьезоэффекты. Чувствительные элементы МСТ на пьезоэффекте. Емкостные Чувствительные элементы. Чувствительные элементы на ПАВ.	2	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Интегральные микрозеркала: одноосные и двуосные - принцип действия и конструкции.	2	ПК-1, ПК-6
	Итого	6	
2 Сенсорные компоненты микросистемной техники	Физические основы датчиков температуры: эффекты Пельтье и Зеебека. Датчики магнитного поля: прямые - непосредственное измерение магнитной индукции, косвенные - обнаружение электрического поля по его магнитному полю, регистрация механического перемещения при воздействии магнитного поля.	2	ПК-1, ПК-6
	Датчики угловых скоростей - гироскопы: волоконно-оптические и микромеханические. Конструкции микромеханических гироскопов.	2	ПК-1, ПК-6
	Итого	4	
3 Акселерометры в микросистемной технике	Микромеханические сенсоры линейных скоростей - микромеханические акселерометры: L-типа и R-типа: конструкции и принципы действия.	2	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Акселерометры с нагреваемой пластиной и с нагреваемым газом.	2	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Итого	4	

4 Актюаторы в микросистемной технике	Актюаторы. Микродвигатели: электростатические и пьезоэлектрические.	2	ПК-1, ПК-6
	Микромеханические ключи: термические, пьезоэлектрические, электростатические, магнитные - принцип действия и конструкции.	2	ПК-1, ПК-6
	Итого	4	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
7 семестр			
1 Чувствительные элементы микросистемной техники	Исследование характеристик пьезодатчика	4	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Исследование характеристик МЭМС-гироскопа	4	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Итого	8	
2 Сенсорные компоненты микросистемной техники	Исследование динамических характеристик кантилевера	4	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Итого	4	
3 Акселерометры в микросистемной технике	Исследование конструкции и характеристик струнного акселерометра	4	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Итого	4	
Итого за семестр		16	
Итого		16	

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
7 семестр				
1 Чувствительные элементы микросистемной техники	Подготовка к контрольной работе	4	ПК-2	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	4	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	10	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Лабораторная работа
	Итого	18		

2 Сенсорные компоненты микросистемной техники	Подготовка к тестированию	4	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	10	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Лабораторная работа
	Итого	14		
3 Акселерометры в микросистемной технике	Подготовка к тестированию	4	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	10	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Лабораторная работа
	Итого	14		
4 Актюаторы в микросистемной технике	Подготовка к тестированию	2	ПК-1, ПК-6	Тестирование
	Итого	2		
Итого за семестр		48		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		84		

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

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности				Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен
ПК-6	+	+	+	+	Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	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
7 семестр				
Контрольная работа	10	0	0	10
Лабораторная работа	0	10	20	30
Тестирование	15	15	0	30
Экзамен				30

Итого максимум за период	25	25	20	100
Нарастающим итогом	25	50	70	100

6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Баллы на дату текущего контроля	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК	2

6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице

6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка	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	E (посредственно)
	60 – 64	
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

1. Фетисов, Л. Ю. Введение в микросистемную технику : учебное пособие / Л. Ю. Фетисов. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021. — 82 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/182575>.

7.2. Дополнительная литература

1. Смирнов, В. И. Нанoeлектроника, нанофотоника и микросистемная техника : учебное пособие / В. И. Смирнов. — Ульяновск : УлГТУ, 2017. — 280 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/170655>.

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Солдатов, Андрей Алексеевич. Получение и обработка сигналов первичных преобразователей на основе MEMS-датчиков : учебно-методическое пособие. - Томск : Издательство ТУСУРа , 2021. - 104 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 5 экз.).

7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и 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.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: <https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh>.

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 124 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (13 шт.);
- Проектор Benq;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Лаборатория наноэлектроники и микросистемной техники: учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 115а ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Осциллограф АСК 1021;
- Генератор 3-34;
- Вольтметр В7-21;
- Вольтметр В7-26;
- Блок питания Б5-47 (2 шт.);
- Блок питания Б5-10;
- Микроскоп МБС – 9 (2 шт.);
- Источник питания НУ 3003 (2 шт.);
- Источник питания UT5003ED (2 шт.);
- Измеритель мощности светового потока TES-133;
- Лабораторные стенды: «Элементы наноэлектроники: оптоэлектронные приборы и устройства», «Элементы наноэлектроники: диоды», «Элементы наноэлектроники: полевые транзисторы»;
- Источник питания GPS 3030 DD;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Учебная аудитория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 124 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (13 шт.);
- Проектор Benq;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Виртуальная лабораторная работа «Исследование динамических характеристик кантилевера»;
- Виртуальная лабораторная работа «Исследование конструкции и характеристик струнного акселерометра»;

8.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 101 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 107 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

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

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля

и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Чувствительные элементы микросистемной техники	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Сенсорные компоненты микросистемной техники	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Акселерометры в микросистемной технике	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
4 Актюаторы в микросистемной технике	ПК-1, ПК-6	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков

4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции
2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне ориентирования , представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на репродуктивном уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на аналитическом уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.
5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на системном уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

- Что регистрируют камертонные гироскопы?
 - линейную скорость инерционных масс;
 - ускорение Кориолиса;
 - угловую скорость вращения платформы на которой закреплен гироскоп;
 - силу Кориолиса.
- В чем принципиальное отличие элементов микроэлектроники (например, интегральных схем (ИС)) от элементов микросистемной техники (МСТ)?
 - при изготовлении элементов МСТ травлением часто требуются высокие аспектные отношения;
 - при изготовлении элементов МСТ используются установки синхротронного излучения;
 - отличие в трехмерности структур МСТ, при этом элементы обладают возможностью механического перемещения относительно друг друга;
 - именно для изготовления изделий МСТ стали использовать жертвенные слои.
- Что характеризует число Рейнольдса (Re)?

- а) характеризует соотношение между инерционными силами и вязкостью (силами трения);
 - б) выражает соотношение инерционных сил и сил поверхностного напряжения;
 - в) определяет соотношение инерционных сил и сил упругости
 - г) выражает соотношение инерционных сил и сил гравитации.
4. Какие особенности отличают микротрибологию от макротрибологии?
- а) в микротрибологии сила трения не зависит от площади контакта двух тел;
 - б) в микротрибологии сила трения зависит от реальной площади контакта;
 - в) в макротрибологии наблюдается эффект прилипания-скольжения;
 - г) в микротрибологии жидкое трение существенно уменьшает силу трения.
5. Под действием внешней силы консольная балка изгибается. По закону Гука внешней силе противодействует сила упругости. От каких параметров балки зависит жесткость балки?
- а) только от модуля Юнга материала балки и длины;
 - б) от момента инерции сечения балки;
 - в) от момента инерции сечения и модуля Юнга;
 - г) зависит от всего вышеперечисленного.
6. Каким образом компенсируется влияние температуры на показания мембранного датчика давления?
- а) используются составные мембраны с противоположными значениями ТКС;
 - б) буквально рядом изготавливаются два одинаковых датчика давления: один с открытой внешней мембраной;
 - в) через мембрану пропускают постоянный ток, зная температурный коэффициент сопротивления вычисляют поправку;
 - г) при изменении температуры изменяются геометрические размеры, возникают механические напряжения, измеряя которые можно вычислить поправку.
7. Плоские конденсаторы с одной подвижной обкладкой используются:
- а) в качестве датчика температуры;
 - б) в качестве электростатического двигателя;
 - в) в качестве датчика механических напряжений;
 - г) в качестве датчика изменения диэлектрической проницаемости.
8. В качестве сенсора температуры используются:
- а) явление Зеебека;
 - б) явление Пельтье;
 - в) изменение размера тел при изменении температуры;
 - г) изменение сопротивления металлов при изменении температуры.
9. В настоящее время разработано большое количество микромеханических ключей, изготавливаемых из алюминия и золота. Какова главная причина ограничения максимальной частоты срабатывания таких ключей?
- а) масса;
 - б) момент инерции сечения;
 - в) эффект залипания;
 - г) малый коэффициент упругости.
10. Какова физическая природа гигантского магнитного сопротивления (ГМС)?
- а) увеличение электрического сопротивления проводников в магнитном поле;
 - б) суть ГМС в чередовании тонких ферромагнитных и немагнитных слоев;
 - в) сопротивление тонких магнитных слоев зависит от взаимной намагниченности электронов: при параллельной ориентации спинов электронов сопротивление минимально, при антипараллельной – максимально;
 - г) ГМС возникает только при протекании тока перпендикулярно плоскости ферромагнитных слоев.

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Объясните законы пропорциональной миниатюризации.
2. Тензорезисторы и их применение в МСТ.
3. Микромеханические ключи.
4. Пьезоэлектрические микродвигатели.

5. Возможные применения электростатических диэлектрических планарных микродвигателей.
6. Технология объемной микрообработки.
7. Волоконный оптический гироскоп.
8. MUMPs и SUMMIT - технологии.
9. Емкостные датчики перемещений.
10. Микромеханические гироскопы.
11. Пьезоэлектрические датчики излучения.
12. Устройство и принцип работы газового хроматографа.
13. Эффект Зеебека как датчик температуры.
14. Пьезорезистивный и электростатический актюаторы.
15. Особенности действия сил трения в микро- и нанодиапазоне размеров элементов МСТ.
16. Интегральные микрозеркала.
17. Двухколлекторный магнитотранзистор.
18. Полупроводниковые сенсоры температуры.
19. Электростатические воздушные планарные микродвигатели.
20. Взаимная связь физических свойств и явлений в кристаллах.

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. Вариант 1
 - А) Выведите уравнение изгиба кантилевера атомно-силового микроскопа на основе модели консольной балки.
 - Б) Объясните законы пропорциональной миниатюризации.
2. Вариант 2
 - А) Перечислите основные методы детектирования магнитного поля в микросистемной технике и схематически изобразите принцип действия соответствующих датчиков.
 - Б) Объясните особенности действия сил трения в микро- и нанодиапазоне размеров элементов МСТ.
3. Вариант 3
 - А) Опишите любую из конструкций микромеханического гироскопа, сделав поясняющий чертёж и принципиальную электрическую схему, поясните принцип действия.
 - Б) Пьезорезистивные и пьезоэлектрические чувствительные элементы.
4. Вариант 4
 - А) Опишите конструкции и принцип действия микромеханических акселерометров М- и L-типов.
 - Б) Чувствительные элементы на поверхностных акустических волнах.
5. Вариант 5
 - А) Опишите конструкции и принцип действия электростатических и пьезоэлектрических микродвигателей.
 - Б) В чем заключается принцип действия емкостных чувствительных элементов? Сделайте поясняющую схему с необходимыми формулами

9.1.4. Темы лабораторных работ

1. Исследование характеристик пьезодатчика
2. Исследование характеристик МЭМС-гироскопа
3. Исследование динамических характеристик кантилевера
4. Исследование конструкции и характеристик струнного акселерометра

9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

- чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

- если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

- осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	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, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов 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.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся 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 лиц с ограниченными возможностями здоровья и 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 лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 172 от «16» 10 2025 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	Ю.В. Сахаров	Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6- b40d-074633a5bd8a
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	Ю.В. Сахаров	Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6- b40d-074633a5bd8a
Начальник учебного управления	Г.А. Цой	Согласовано, 8a5745e4-63a0-4946- bbb0-ce4977ac113e

ЭКСПЕРТЫ:

Профессор, каф. ФЭ	Ю.В. Сахаров	Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6- b40d-074633a5bd8a
Доцент, каф. ФЭ	И.А. Чистоедова	Согласовано, 2114f42c-7cf2-4826- 9f35-9a75ea4961b2

РАЗРАБОТАНО:

Профессор, каф. ФЭ	А.В. Мостовщиков	Разработано, 12b8ccf2-4949-4991- b8b4-96d4ef60ed2d
--------------------	------------------	--