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 (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
	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		

Согласована на портале № 85209

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 техник	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

Согласована на портале № 85209

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						

Согласована на портале № 85209

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	

Согласована на портале № 85209

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	

Согласована на портале № 85209

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		

Согласована на портале № 85209

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

Согласована на портале № 85209

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	
	60 – 64	E (посредственно)
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. Наноэлектроника, нанофотогника 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:

Согласована на портале № 85209

– 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 HY 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.

Согласована на портале № 85209

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

Согласована на портале № 85209

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

Согласована на портале № 85209

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

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

Согласована на портале № 85209

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 микротриболгии 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 внешнему давлению 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 качеств 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.

Согласована на портале № 85209

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. Пироэлектрические 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.

Согласована на портале № 85209

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

Согласована на портале № 85209

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.

Согласована на портале № 85209

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

Согласована на портале № 85209