МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
И.о. проректора по УРиМД
_____Нариманова Г.Н.
«05» _____03_____ 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: **Микросенсорика интеллектуальных систем**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Кафедра: **физической электроники (ФЭ)**
Курс: **4**
Семестр: **7**
Учебный план набора 2025 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: Нариманова Г.Н.
Должность: И.о. проректора по УРиМД
Дата подписания: 05.03.2025
Уникальный программный ключ:
eb4e14e0-de8d-48f7-bf05-ceacb167edfe

Томск

Согласована на портале № 83867

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Обучение студента построению физических и математических моделей микроэлектромеханических систем (МЭМС) и проектированию МЭМС с использованием программных средств компьютерного моделирования.

1.2. Задачи дисциплины

1. Изучение физических принципов актюаторных и сенсорных систем МЭМС.
2. Изучение принципа междисциплинарного системного моделирования.
3. Изучение особенностей технологических процессов изготовления МЭМС устройств.
4. Построение математической и конечно-элементной модели МЭМС.

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 № 83867

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 модели нано- и микрообъектов для проведения базовых расчетов параметров систем по заданным алгоритмам с помощью специализированного ПО (COMSOL, ANSYS и др.)..
	ПК-1.2. Знает основные программные средства для физического и математического моделирования приборов и устройств микро- и наносистемной техники	Знает основные программные средства для физического и математического моделирования МЭМЭС сенсоров и актюаторов (например, COMSOL Multiphysics, ANSYS, MatLab, NanoCAD); способен применять их для решения типовых задач проектирования и анализа характеристик микро- и наноустройств.
	ПК-1.3. Умеет представлять объекты микро- и наносистемной техники в виде физических и математических моделей	Умеет формировать физические и математические модели, описывающие функционирование устройств микро- и наносистемной техники, с учетом их специфических особенностей.
	ПК-1.4. Владеет практическими навыками работы в прикладных программах компьютерного моделирования	Способен применять прикладные программы компьютерного моделирования (COMSOL Multiphysics, ANSYS, MATLAB и др.) для решения типовых инженерных задач проектирования и анализа устройств микро- и наносистемной техники.
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 методы проведения экспериментальных исследований по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, используя современное лабораторное оборудование и методы диагностики.
	ПК-2.2. Умеет выбрать и применить метод анализа материалов и компонентов микро и наносистемной техники	Умеет обоснованно выбирать и применять методы анализа материалов и компонентов микро- и наносистемной техники (микроскопические, спектроскопические, рентгенографические и др.) в соответствии с поставленными исследовательскими задачами.
	ПК-2.3. Владеет основными методиками постановки и проведения экспериментальных исследований	Способен организовать и провести экспериментальное исследование в области микро- и наносистемной техники: формулирует цели и задачи, подбирает оборудование и методики, выполняет измерения, фиксирует и анализирует полученные данные.

Согласована на портале № 83867

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 методы расчета параметров (механических, электрических, тепловых) элементов МЭМС сенсоров, актюаторов, переключателей на основе стандартных методик проектирования.
	ПК-6.2. Умеет рассчитывать параметры компонентов нано- и микросистемной техники	Умеет выполнять расчеты ключевых параметров компонентов нано- и микросистемной техники (механических, электрических, тепловых и оптических характеристик) с использованием аналитических методов и специализированного программного обеспечения.
	ПК-6.3. Владеет навыками работы в прикладных программах для расчета и проектирования компонентов нано- и микросистемной техники	Владеет навыками проектирования элементов микро- и наносистем с использованием современных САПР и навыками компьютерного моделирования физических процессов в микро- и наномасштабе.

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 тестированию	13	13
Подготовка к защите отчета по практическому занятию	7	7
Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	20	20
Подготовка к защите отчета по лабораторной работе	8	8
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

Согласована на портале № 83867

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб.	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
7 семестр						
1 Введение. Классификация компонентов микросистемной техники по функциональному назначению и принципу действия.	4	2	-	2	8	ПК-1, ПК-6
2 Динамические свойства механических компонентов МЭМС	6	6	2	6	20	ПК-1, ПК-2, ПК-6
3 Динамические свойства электрических компонентов МЭМС	6	6	2	12	26	ПК-1, ПК-6
4 Базовые конструкции и основные технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники	4	4	4	21	33	ПК-1, ПК-2, ПК-6
5 Виды упругих подвесов МЭМС	6	-	8	7	21	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 Введение. Классификация компонентов микросистемной техники по функциональному назначению и принципу действия.	Базовые конструкции и обобщенное описание компонентов микросистемной техники. История возникновения и развития элементной базы микросистемной техники.	4	ПК-1
	Итого	4	

Согласована на портале № 83867

2 Динамические свойства механических компонентов МЭМС	Микромеханические сенсоры. Механические конструкции: объемные, мембранные, балочные, струнные. Свободные колебания незатухающей системы (консольная балка с массой на конце; масса, подвешенная на двух балках; механическая система с двумя степенями свободы) при поступательном и угловом движении. Вынужденные колебания механической системы. Демпфирование колебаний в МЭМС (механизмы демпфирования, вязкое демпфирование, демпфирование со сдавливающимся слоем, демпфирование при сжимаемым газом. Добротность колебательной системы.	6	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Итого	6	
3 Динамические свойства электрических компонентов МЭМС	Виды преобразователей МЭМС: пьезоэлектрические, тензорезистивные, емкостные, оптические. Электростатические силы в МЭМС (нормальная, тангенциальная составляющие электростатической силы, влияние краевых эффектов на ёмкость и электростатические силы). Виды электродных структур (гребенчатые, планарные). Эффект схлопывания, способы его устранения. Виды оптических преобразователей.	6	ПК-6
	Итого	6	
4 Базовые конструкции и основные технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники	Особенности технологии МЭМС приборов. Технология объемной микрообработки. LIGA-технология. Технология поверхностной микрообработки. MUMPS-технология. SUMMIT-технология. Базовые материалы для производства МЭМС и их свойства.	4	ПК-1, ПК-2
	Итого	4	
5 Виды упругих подвесов МЭМС	Упругие подвесы для поступательного движения. Упругие подвесы для углового движения. Жёсткость параллельно и последовательно соединённых упругих элементов.	6	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.

Согласована на портале № 83867

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
7 семестр			
1 Введение. Классификация компонентов микросистемной техники по функциональному назначению и принципу действия.	Обзор МЭМС сенсоров	2	ПК-6
	Итого	2	
2 Динамические свойства механических компонентов МЭМС	Частотный анализ базовых конструкции МЭМС	6	ПК-1, ПК-6
	Итого	6	
3 Динамические свойства электрических компонентов МЭМС	Расчет базовых конструкции тензорезистивного, пьезоэлектрического, емкостного преобразователей	6	ПК-1, ПК-6
	Итого	6	
4 Базовые конструкции и основные технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники	8. Разработка эскизного технологического процесса изготовления МЭМС.	4	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			
2 Динамические свойства механических компонентов МЭМС	Изучение явления резонанса торсионного маятника	2	ПК-1, ПК-2, ПК-6
	Итого	2	
3 Динамические свойства электрических компонентов МЭМС	Моделирование rlc-цепи постоянного тока	2	ПК-1
	Итого	2	
4 Базовые конструкции и основные технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники	Получение тонкопленочных материалов методом магнетронного распыления	2	ПК-1
	Напыление тонких металлических пленок термическим способом в вакууме	2	ПК-2, ПК-6
	Итого	4	

Согласована на портале № 83867

5 Виды упругих подвесов МЭМС	Моделирование движения плоского механизма	4	ПК-1
	Моделирование движения многомассовой системы с упруго-вязкими связями	4	ПК-1, ПК-6
	Итого	8	
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 Введение. Классификация компонентов микросистемной техники по функциональному назначению и принципу действия.	Подготовка к тестированию	2	ПК-1	Тестирование
	Итого	2		
2 Динамические свойства механических компонентов МЭМС	Подготовка к тестированию	2	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Тестирование
	Подготовка к защите отчета по практическому занятию	2	ПК-1, ПК-6	Защита отчета по практическому занятию
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	2	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Лабораторная работа
	Итого	6		
3 Динамические свойства электрических компонентов МЭМС	Подготовка к тестированию	2	ПК-1	Тестирование
	Подготовка к защите отчета по практическому занятию	2	ПК-1, ПК-6	Защита отчета по практическому занятию
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	8	ПК-1	Лабораторная работа
	Итого	12		

Согласована на портале № 83867

4 Базовые конструкции и основные технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники	Подготовка к тестированию	2	ПК-2, ПК-6	Тестирование
	Подготовка к защите отчета по практическому занятию	3	ПК-1, ПК-6	Защита отчета по практическому занятию
	Подготовка к защите отчета по лабораторной работе	8	ПК-1	Защита отчета по лабораторной работе
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	8	ПК-2, ПК-6	Лабораторная работа
	Итого	21		
5 Виды упругих подвесов МЭМС	Подготовка к тестированию	5	ПК-1, ПК-6	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	2	ПК-1, ПК-6	Лабораторная работа
	Итого	7		
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	+	+	+	+	Защита отчета по лабораторной работе, Защита отчета по практическому занятию, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен
ПК-2	+		+	+	Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен
ПК-6	+	+	+	+	Защита отчета по практическому занятию, 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

Согласована на портале № 83867

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				
Защита отчета по лабораторной работе	2	2	4	8
Защита отчета по практическому занятию	2	2	2	6
Лабораторная работа	8	3	28	39
Тестирование	6	6	5	17
Экзамен				30
Итого максимум за период	18	13	39	100
Нарастающим итогом	18	31	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. Остертак, Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак. — Новосибирск : НГТУ, 2016. — 120 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/118177.

7.2. Дополнительная 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.

Согласована на портале № 83867

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. «Технологии наноэлектроники" Лабораторный практикум /Федулов Ф.А., Шахурин Е.С., Буряков А.М. [и др.]; под ред. проф. Ю.К. Фетисова. — М.:МИРЭА, 2023. — 79 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/382745.
2. Гажулина А.П. ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК: Практикум. – НижнийНовгород: Нижегородский госуниверситет, 2021. – 22 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/191522.
3. Гажулина А.П. ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТВЁРДЫХ ТЕЛ:Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2021. – 17 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/191524 .
4. Овсецина, Т. И. Изучение законов колебательного движения математического маятника: практикум : учебное пособие / Т. И. Овсецина. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2019. — 18 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/191774.
5. Лазута Иван Васильевич, Моделирование технических систем в MATLAB-Simulink : лабораторный практикум / И.В. Лазута. он. дан. Омск : СибАДИ, 2024. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/407447 .

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

Лингафонный кабинет: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 127 ауд.

Описание имеющегося оборудования:
- Доска маркерная передвижная;
- Экран выдвижной;

Согласована на портале № 83867

- Проектор EPSON EB-X6;
- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (15 шт.);
- Домашний кинотеатр;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Лингафонный кабинет: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 127 ауд.

Описание имеющегося оборудования:
- Доска маркерная передвижная;
- Экран выдвижной;
- Проектор EPSON EB-X6;
- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (15 шт.);
- Домашний кинотеатр;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:
- Google Chrome;
- Microsoft Windows XP;

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

Согласована на портале № 83867

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 Введение. Классификация компонентов микросистемной техники по функциональному назначению и принципу действия.	ПК-1, ПК-6	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Динамические свойства механических компонентов МЭМС	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Защита отчета по практическому занятию	Примерный перечень вопросов для защиты практических занятий
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Динамические свойства электрических компонентов МЭМС	ПК-1, ПК-6	Защита отчета по практическому занятию	Примерный перечень вопросов для защиты практических занятий
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
4 Базовые конструкции и основные технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники	ПК-1, ПК-2, ПК-6	Защита отчета по лабораторной работе	Примерный перечень вопросов для защиты лабораторных работ
		Защита отчета по практическому занятию	Примерный перечень вопросов для защиты практических занятий
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Согласована на портале № 83867

5 Виды упругих подвесов МЭМС	ПК-1, ПК-6	Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		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.

Согласована на портале № 83867

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. Определить чувствительность S тензочувствительного преобразователя давления, если при воздействии на него давления P=100 кПа относительное изменение сопротивления всех резисторов составило ΔR/R = 2 %. Напряжение питания мостовой тензорезистивной схемы U0=5 В. а) 10 б) 20 в) 30 г) 40
2. Определить номинальный выходной сигнал тензорезистивного преобразователя при напряжении питания мостовой тензорезистивной схемы U0=5 В, коэффициенте тензочувствительности резисторов k=40, критическом механическом напряжении σкр=108 Па и двукратном запасе прочности. (модуль Юнга механического элемента E=2·10E11 Па) а) 1 мВ б) 5 мВ в) 45 мВ г) 90 мВ
3. Определить чувствительность S тензорезистивного акселерометра, если при воздействии ускорения a=10g (g=9,8 м/с2) по направлению оси чувствительности в области расположения тензорезисторов формируются механические напряжения σ = 105 Па. Напряжение питания мостовой тензорезистивной схемы U0=5 В, коэффициент тензочувствительности резисторов k=50, модуль Юнга механического элемента E=3·10E11 Па. а) 10 б) 20 в) 30 г) 40
4. Определить коэффициент преобразования dF/dU плоского емкостного (с переменным зазором) преобразователя в режиме поддержания постоянного зазора dx=0. Площадь подвижной обкладки S=1мм2, величина зазора между обкладками x= 2 мкм, постоянное напряжение между обкладками U=5 В. а) 50 б) 100 в) 500 г) 1000
5. Определить коэффициент преобразования dF/dU планарного емкостного преобразователя гребенчатого типа (с переменным перекрытием у зубцов гребенки при постоянном зазоре между зубцами x= 3 мкм). Количество зубцов в подвижной 80494 Проверено в генераторе 13 гребенке n=25, толщина зубцов h=2мкм, постоянное напряжение между гребенками U=5 В. а) 50 б) 100 в) 500 г) 1000
6. Определить смещение Δy подвижной гребенки планарного электромеханического преобразователя гребенчатого типа (с переменным перекрытием у зубцов гребенки при постоянном зазоре между зубцами x= 2 мкм) при приложении постоянного напряжения между гребенками U=5 В. Количество зубцов в подвижной гребенке n=50, толщина зубцов h=3мкм, коэффициент жесткости подвеса подвижной гребенки в направлении смещения k=2·10-3 Н/м. а) 50 нм б) 100 нм в) 500 нм г) 1000 нм
7. Определить критическое напряжение Uкр (залипания) подвижной обкладки плоского емкостного (с переменным зазором x) преобразователя (микрореле). Площадь подвижной обкладки S=0,01мм2, величина начального зазора (при U=0) между обкладками x0=3 мкм, коэффициент жесткости подвеса подвижной обкладки k=2·10-2 Н/м. а) 2 В б) 12 В в) 27 В г) 70 В
8. Определить коэффициент преобразования dF/dI микромеханического электромагнитного преобразователя в режиме поддержания постоянного зазора x=2 мкм между планарной катушкой с током и подвижной пластиной магнитопровода. Площадь подвижной пластины S=1мм2, величина постоянного тока в катушке I=10 мА, количество витков в катушке n=20. а) 1 б) 2,5 в) 17 г) 37
9. Определить величину перегрева T терморезистора R=5 кОм, расположенного (в локализованной области с радиусом r1=100 мкм) в центре плоской круглой мембраны радиусом r2=1мм и толщиной h=10 мкм при протекании через резистор тока I=1 мА.

Согласована на портале № 83867

Кремниевая мембрана с теплопроводностью 150 Вт/м К закреплена на более массивном основании с фиксированной температурой. Теплоотдачей в воздушную среду пренебречь. а) 10 С б) 16 С в) 32 С г) 81 С

10. Определить величину перегрева Т терморезистора R=5 кОм, расположенного в середине плоской прямоугольной балки длиной L=1мм, шириной b=100мкм и толщиной h=5мкм при протекании через резистор тока I=1 мА. Кремниевая балка с теплопроводностью 150 Вт/м К закреплена на более массивном основании с фиксированной температурой. Теплоотдачей в воздушную среду пренебречь. а) 10 С б) 16 С в) 32 С г) 81 С

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Пьезоэлектрический эффект.
2. Принцип работы тензорезистивного преобразователя.
3. Принцип работы емкостного преобразователя.
4. Краевой эффект в емкостных преобразователях.
5. Виды емкостных преобразователей
6. Виды оптических преобразователей.
7. Понятие добротности механических колебательных систем.
8. Свободные и вынужденное движения колебательной системы .
9. Виды демпфирования в механической системе.
10. Материалы, применяемые в МЭМС, и их характеристики.

9.1.3. Примерный перечень вопросов для защиты практических занятий

1. Виды материалов, используемых в МЭМС
2. Кристаллографическая решётка монокристаллического кремния
3. Механические характеристики материалов МЭМС
4. Характеристики МЭМС сенсоров
5. Жёсткость последовательно соединённых упругих элементов

9.1.4. Темы лабораторных работ

1. Изучение явления резонанса торсионного маятника
2. Моделирование rlc-цепи постоянного тока
3. Получение тонкопленочных материалов методом магнетронного распыления
4. Напыление тонких металлических пленок термическим способом в вакууме
5. Моделирование движения плоского механизма
6. Моделирование движения многомассовой системы с упруго-вязкими связями

9.1.5. Примерный перечень вопросов для защиты лабораторных работ

1. Принцип работы пьезоэлектрического преобразователя
2. Принцип работы тензорезистивного преобразователя
3. Принцип работы электростатичского преобразователя
4. От чего зависит резонансная частота и добротность механической системы
5. Понятие электростатической силы

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

Согласована на портале № 83867

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.

Согласована на портале № 83867

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 № 83867

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 163 от «26» 11 2024 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	И.В. Кулинич	Согласовано, d2a0f42b-ed8d-43b9-8776-2e1f79c72b0a
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	И.В. Кулинич	Согласовано, d2a0f42b-ed8d-43b9-8776-2e1f79c72b0a
Начальник учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Доцент, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	И.В. Кулинич	Согласовано, d2a0f42b-ed8d-43b9-8776-2e1f79c72b0a
Профессор, каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

РАЗРАБОТАНО:

Доцент, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	Т.Г. Нестеренко	Разработано, 2c2a50a4-be2a-4e6c-a3b2-555c6584c04d
Доцент, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	Е.С. Барбин	Разработано, d8380b3b-7cbd-4108-804d-423a3470dd62

Согласована на портале № 83867