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 учебной работе
_____Ким М.Ю.
«29» _____10_____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки / специальность: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Электроника, наноэлектроника и микросистемная техника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Передовая инженерная школа «Электронное приборостроение и системы связи» (ПИШ)**
Кафедра: **передовая инженерная школа (ПИШ)**
Курс: **1**
Семестр: **2**
Учебный план набора 2026 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	2 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	18	18	часов
Практические занятия	18	18	часов
Самостоятельная работа	108	108	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
	4	4	з.е.

Формы промежуточной аттестации	Семестр
Зачет с оценкой	2

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ким М.Ю.
Должность: Директор департамента по учебной работе
Дата подписания: 29.10.2025
Уникальный программный ключ:
ed789cd8-2cc6-4431-a59e-8f386b1d44fa

Томск

Согласована на портале № 85804

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Обучение студента построению физических и математических моделей микросистем и проектированию устройств микросистемной техники с использованием программных средств компьютерного моделирования.

1.2. Задачи дисциплины

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

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.
Модуль дисциплин: Модуль проектно-профессиональной подготовки.
Индекс дисциплины: Б1.В.01.ДВ.02.03.
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 № 85804

ПК-2. Способен использовать современные достижения науки и передовые технологии в профессиональной деятельности	ПК-2.1. Знает современные подходы к исследованию и разработке объектов профессиональной деятельности	Знает терминологию в области технологии и разработки устройств микросистемной техники. Знает основы конечноэлементного анализа и системного моделирования.
	ПК-2.2. Умеет проводить исследования и разработку с использованием современных достижений науки и передовых технологий при решении задач профессиональной деятельности	Умеет строить конечно-элементные и мультифизические модели и проводить их верификацию.
	ПК-2.3. Владеет современными технологиями проектирования объектов профессиональной деятельности	Владеет навыками планирования, последовательностью и достаточностью моделей. Владеет инструментами обработки данных и построений графиков по результатам экспериментов.

Согласована на портале № 85804

ПК-4. Способен осуществлять проектирование и разработку технологических процессов производства объектов профессиональной деятельности	ПК-4.1. Знает теоретические основы проектирования технологических процессов, принципы функционирования современного промышленного оборудования и требования нормативно-технической документации в области производства электронных средств	Знает теоретические основы проектирования технологических процессов, принципы функционирования современного промышленного оборудования и требования нормативно-технической документации в области производства электронных средств
	ПК-4.2. Умеет разрабатывать последовательность технологических операций, выбирать необходимые материалы и оптимизировать режимы производства для обеспечения требуемых параметров изделий электроники и наноэлектроники	Умеет разрабатывать последовательность технологических операций, выбирать необходимые материалы и оптимизировать режимы производства для обеспечения требуемых параметров изделий электроники и наноэлектроники
	ПК-4.3. Владеет современными программными инструментами проектирования и методами контроля качества при реализации технологических процессов производства объектов профессиональной деятельности	Владеет современными программными инструментами проектирования и методами контроля качества при реализации технологических процессов производства объектов профессиональной деятельности

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
		2 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	36	36
Лекционные занятия	18	18
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	108	108
Подготовка к зачету с оценкой	25	25

Согласована на портале № 85804

Подготовка к тестированию	25	25
Выполнение практического задания	58	58
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	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
2 семестр					
1 Технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники	2	2	24	28	ПК-2, ПК-4
2 Сенсорные компоненты микросистемной техники	6	4	24	34	ПК-2, ПК-4
3 Актюаторные компоненты микросистемной техники	6	6	24	36	ПК-2, ПК-4
4 Системный подход к проектированию микросистем	2	6	26	34	ПК-2, ПК-4
5 Микромеханические радиотехнические и оптоэлектромеханические компоненты	2	-	10	12	ПК-2, ПК-4
Итого за семестр	18	18	108	144	
Итого	18	18	108	144	

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
2 семестр			
1 Технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники	Особенности технологии МЭМС и приборов. Объёмная и поверхностная микрообработка. Базовые материалы для производства МЭМС и их свойства. Базовые технологии МЭМС (литография, нанесение плёнок и покрытий, травление плёнок и покрытий). Дефекты топологии на пластине.	2	ПК-2, ПК-4
	Итого	2	

Согласована на портале № 85804

2 Сенсорные компоненты микросистемной техники	Классификация, характеристики сенсоров. Микромеханические сенсоры. Механические конструкции: объемные, мембранные, балочные, струнные. Виды преобразователей: пьезоэлектрические, тензорезистивные, емкостные. Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, пульсаций, смещения, силы, ускорения, крена, микрогироскопы, микрофоны.	6	ПК-2, ПК-4
	Итого	6	
3 Актюаторные компоненты микросистемной техники	Микромеханические приводы движения: пьезоэлектрические, емкостные, термомеханические, электромагнитные, пневматические актюаторы. Устройства микросмещения, микропозиционирования, микрозахвата. Микро- и наноманипуляторы.	6	ПК-2, ПК-4
	Итого	6	
4 Системный подход к проектированию микросистем	Характеристики сенсоров: диапазон измерения, чувствительность, точность, линейность, селективность. Погрешности измерений: температурный и временной дрейф параметров, шумы. Стандартизация и сертификация сенсоров. Уровни описания проектируемых объектов: системный, функциональный, конструкторский, технологический. Основные виды упругих элементов	2	ПК-2, ПК-4
	Итого	2	
5 Микромеханические радиотехнические и оптоэлектромеханические компоненты	Управляемые микроэлектрорадиокомпоненты: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, микроантенны; микроэлектромеханические и микропневматические реле и коммутаторы. Управляемые оптоэлектромеханические микрокомпоненты: резонаторы, зеркала, линзы, затворы, фильтры; оптопереключатели.	2	ПК-2, ПК-4
	Итого	2	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

Согласована на портале № 85804

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
2 семестр			
1 Технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники	Разработка эскизного технологического процесса изготовления МЭМС.	2	ПК-2, ПК-4
	Итого	2	
2 Сенсорные компоненты микросистемной техники	Расчет базовой конструкции емкостного (оптического, тензорезистивного) преобразователя.	4	ПК-2, ПК-4
	Итого	4	
3 Актюаторные компоненты микросистемной техники	Упругие подвесы микромеханических систем	2	ПК-2, ПК-4
	Расчет базовой конструкции емкостного (магнитного, пьезоризитивного) актюатора.	4	ПК-2, ПК-4
	Итого	6	
4 Системный подход к проектированию микросистем	Системное моделирование и исследование динамических характеристик МЭМС.	4	ПК-2, ПК-4
	Температурный анализ МЭМС	2	ПК-2, ПК-4
	Итого	6	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.4. Лабораторные занятия

Не предусмотрено учебным планом

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
2 семестр				

Согласована на портале № 85804

1 Технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники	Подготовка к зачету с оценкой	5	ПК-2, ПК-4	Зачёт с оценкой
	Подготовка к тестированию	5	ПК-2, ПК-4	Тестирование
	Выполнение практического задания	14	ПК-2, ПК-4	Практическое задание
	Итого	24		
2 Сенсорные компоненты микросистемной техники	Подготовка к зачету с оценкой	5	ПК-2, ПК-4	Зачёт с оценкой
	Подготовка к тестированию	5	ПК-2, ПК-4	Тестирование
	Выполнение практического задания	14	ПК-2, ПК-4	Практическое задание
	Итого	24		
3 Актюаторные компоненты микросистемной техники	Подготовка к зачету с оценкой	5	ПК-2, ПК-4	Зачёт с оценкой
	Подготовка к тестированию	5	ПК-2, ПК-4	Тестирование
	Выполнение практического задания	14	ПК-2, ПК-4	Практическое задание
	Итого	24		
4 Системный подход к проектированию микросистем	Подготовка к зачету с оценкой	5	ПК-2, ПК-4	Зачёт с оценкой
	Подготовка к тестированию	5	ПК-2, ПК-4	Тестирование
	Выполнение практического задания	16	ПК-2, ПК-4	Практическое задание
	Итого	26		
5 Микромеханические радиотехнические и оптоэлектромеханические компоненты	Подготовка к зачету с оценкой	5	ПК-2, ПК-4	Зачёт с оценкой
	Подготовка к тестированию	5	ПК-2, ПК-4	Тестирование
	Итого	10		
Итого за семестр		108		
Итого		108		

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.	Сам. раб.	

Согласована на портале № 85804

ПК-2	+	+	+	Зачёт с оценкой, Практическое задание, Тестирование
ПК-4	+	+	+	Зачёт с оценкой, Практическое задание, Тестирование

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
2 семестр				
Зачёт с оценкой	10	10	10	30
Практическое задание	10	15	30	55
Тестирование	5	5	5	15
Итого максимум за период	25	30	45	100
Нарастающим итогом	25	55	100	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

Согласована на портале № 85804

1. Корнеев, В. С. Микроэлектромеханические системы (МЭМС) для управления потоками излучения : монография / В. С. Корнеев, Д. В. Чесноков. — Новосибирск : СГУГиТ, 2022. — 171 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://reader.lanbook.com/book/317603.
2. Фетисов, Л. Ю. Введение в микросистемную технику : учебное пособие / Л. Ю. Фетисов. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021. — 82 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://reader.lanbook.com/book/182575.

7.2. Дополнительная литература

1. Щербакова, Е. Н. Информационные технологии нано- и микросистемной техники : учебно-методическое пособие / Е. Н. Щербакова. — Минск : БНТУ, 2017. — 78 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/247958.

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Латышенко, К. П. Технические измерения и приборы: методы и средства измерения : учебник для вузов / К. П. Латышенко. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 361 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://urait.ru/bcode/590037.

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

Учебно-научная лаборатория микроэлектроники и фотоники: учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, помещение для самостоятельной работы; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 226/1 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

Системный блок 1 1 шт.

Согласована на портале № 85804

Системный блок 2 14 шт.
Монитор 27" 15 шт.
Панель интерактивная LMP7502ELN Lumien 75EL
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

8.3. 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.

8.4. 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)

Согласована на портале № 85804

1 Технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники	ПК-2, ПК-4	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Практическое задание	Темы практических заданий
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
2 Сенсорные компоненты микросистемной техники	ПК-2, ПК-4	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Практическое задание	Темы практических заданий
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
3 Актюаторные компоненты микросистемной техники	ПК-2, ПК-4	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Практическое задание	Темы практических заданий
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
4 Системный подход к проектированию микросистем	ПК-2, ПК-4	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Практическое задание	Темы практических заданий
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
5 Микромеханические радиотехнические и оптоэлектромеханические компоненты	ПК-2, ПК-4	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий

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 № 85804

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. 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

Согласована на портале № 85804

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 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

Согласована на портале № 85804

радиусом r2=1мм и толщиной h=10 мкм при протекании через резистор тока I=1 мА. 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 вопросов для зачета с оценкой

1. Виды сенсорных систем, достоинства и недостатки.
2. Виды актуарных систем, достоинства и недостатки.
3. Принцип системного моделирования. Назначение, достоинства.
4. Базовые материалы МЭМС и их основные характеристики.
5. Емкостные измерительные преобразователи, виды, назначения.

9.1.3. Темы практических заданий

1. Технологический процесс изготовления МЭМС акселерометра.
2. Расчет базовой конструкции емкостного (магнитного, пьезоризитивного) актюатора.
3. Расчет базовой конструкции емкостного (оптического, тензорезистивного) преобразователя.
4. Исследование температурных характеристик МЭМС.
5. Системное моделирование и исследование динамических характеристик акелерометра

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

Согласована на портале № 85804

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:

Согласована на портале № 85804

– 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 № 85804

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПИШ
протокол № 3 от «21» 10 2025 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ПИШ	А.С. Перин	Согласовано, a0f1668d-d020-4ff4-9a8a-4ff4e15b36fe
Заведующий обеспечивающей каф. ПИШ	А.С. Перин	Согласовано, a0f1668d-d020-4ff4-9a8a-4ff4e15b36fe
Начальник учебного управления	Г.А. Цой	Согласовано, 8a5745e4-63a0-4946-bbb0-ce4977ac113e

ЭКСПЕРТЫ:

Заместитель директора по образованию, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	А.В. Жечева	Согласовано, 10222954-0bcd-4026-99f7-5b18919a1928
Доцент, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	В.Ю. Цибульникова	Согласовано, bbc9013e-1509-4582-b986-4eb4b832138c

РАЗРАБОТАНО:

Доцент, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	А.Н. Коледа	Разработано, ba46bc94-d30c-42d5-aaaf-a0a6d5a229c4
Ассистент, каф. ТУ	Т.М. Клюкина	Разработано, aab4d872-53d6-43a4-9e4d-38750c25c163

Согласована на портале № 85804