Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
к.т.н. Стрельцов С. А.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ НЕКВАЛИФИЦИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
31.08.2026
Владелец: к.т.н. Стрельцов С. А.
Срок действия: не ограничен
Адрес хранения электронного документа:
https://www.nstu.ru/university/info/sveden/education

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Микроэлектромеханика

Образовательная программа: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, профиль: Микроэлектроника и наноэлектроника

Курс: 4, семестр : 8

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	**Вид деятельности**	**8**
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	42
4	Лекции, час.	12
5	Практические занятия, час.	24
6	Лабораторные занятия, час.	0
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	8
8	из них практической подготовки, час.	26
9	Аттестация, час.	2
10	Консультации, час.	4
11	Самостоятельная работа, час.	102
12	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ(Р)/реферат, подготовка к контрольной работе)	Р контр.
13	Вид аттестации	Э

Новосибирск 2026

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

ФГОС введен в действие приказом №927 от 19.09.2017 г. , дата утверждения: 10.10.2017 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, формируемая участниками образовательных отношений, по выбору студента

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, 31.08.2026

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 8 от 31.08.2026

Заведующий кафедрой:

доцент, к.т.н. Остертак Д. И.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Остертак Д. И.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Группа	Компетенции
	Индикаторы достижения компетенций
Профессиональные компетенции	ПК-5/НА Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования
	ПК-5/НА. 2 Умеет строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков
Профессиональные компетенции	ПК-6/НА Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения
	ПК-6/НА. 2 Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков

2. Требования НГТУ к планируемым результатам обучения, соотнесенным с индикаторами достижения компетенций

Таблица 2.1

Индикаторы достижения компетенций	Формы организации занятий
Результаты обучения	
ПК-5/НА. 2 Умеет строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков	
физические принципы, эффекты и процессы, лежащие в основе функционирования микромеханических и микроэлектромеханических систем	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
основные методы и алгоритмы расчёта микроэлектромеханических систем с учётом условий реализации и границ применения	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
использовать основные методы и алгоритмы расчёта микроэлектромеханических систем с учётом условий реализации и границ применения	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК-6/НА. 2 Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков	
особенности проявления эффектов и процессов, лежащих в основе функционирования микромеханических и микроэлектромеханических систем в элементах с микронными размерами	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
применять методы расчета и исследования микроэлектромеханических элементов и устройств	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Часы	Из них в форме практ. подг., час.	Активные формы, час.	Индикаторы достижения компетенций	Учебная деятельность
Семестр: 8					
Дидактическая единица: Введение					

1. Основные понятия и определения. Основные тенденции развития современной микросистемной техники. Классификация микроэлектромеханических систем, области их применения.	1	2	1		Вводная лекция
Дидактическая единица: Основы микромеханики и микроэлектромеханики					
2. Механические нагрузки. Виды механических нагрузок: статическая нагрузка, линейные ускорения, полигармонические нагрузки, случайные нагрузки, ударные нагрузки.	1	0	1	ПК-5/НА.2	Лекция
3. Эффекты масштабирования в МЭМС. Масштабирование геометрических размеров и механических систем. Масштабирование температурных и флюидных систем. Масштабирование электрических систем. Свойства материалов при масштабировании. Новые физические явления при масштабировании. Вычислительные проблемы при масштабировании.	1	0	0	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Лекция
4. Динамические свойства элементов в МЭМС. Свободные колебания. Колебания механической системы с демпфированием. Вынужденные колебания механической системы.	1	0	0	ПК-5/НА.2	Лекция
5. Механизмы демпфирования в МЭМС: конструкционное и флюидное. Вязкое демпфирование. Модели демпфирования в МЭМС. Демпфирование с выдавливанием слоя. Демпфирование со скользящим слоем: модель Стокса и Куэтта.	1	0	0	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Лекция
Дидактическая единица: Физические принципы функционирования основных видов микроэлектромеханических систем					

6. Достоинства и недостатки электростатических преобразователей. Электростатические силы при постоянном напряжении. Электростатические силы при постоянном заряде. Влияние краевых эффектов на электрическую ёмкость и электростатические силы в МЭМС.	1	0	0	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Лекция
7. Плоскопараллельный актюатор. Эффект схлопывания и способы его устранения. Встречно-штыревые актюаторы. Виды конструкций и эффекты нестабильности в них. Эффект электростатического размягчения в МЭМС.	1	0	0	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Лекция
8. Достоинства и недостатки электромагнитных преобразователей. Электромагнитные силы. Магнитное и магнито-электромагнитное преобразование энергии.	1	0	0	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Лекуци
9. Достоинства и недостатки пьезоэлектрических преобразователей. Физическое и математическое описания эффекта пьезоэлектричества. Коэффициент электромеханической связи. Модель пьезоэлектрического балочного актюатора (пьезоэлектрический биморфный элемент). Свойства пьезоэлектрических материалов.	1	0	0	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Лекция
Дидактическая единица: Устройства микроэлектромеханики и микромашины					

10. Принцип работы интегрального микромеханического реле. Принцип работы и виды электростатических микродвигателей. Скребущий шаговый микродвигатель. S-образный электростатический актюатор. Электростатический сегнетоэлектрический планарный двигатель. Электростатический зарядовый микроактюатор. Электростатический мускул. Встречно-штыревой актюатор для больших смещений. Принцип работы электростатического микронасоса. Принцип работы DLP-проекционных систем. Принцип работы GLV-проекционных систем. Емкостной МЭМС микрофон. Емкостные акселерометры. Конструкции и принцип работы. МЭМС гироскоп. Принцип работы одноосного гироскопа. Принцип работы двуосного гироскопа.	1	0	0	ПК-5/НА.2	Мультимедийная лекция
11. Электромагнитные актюаторы. Магнитоэлектрический двигатель. Магнитный балочный актюатор. Электромагнитный торсионный актюатор. Двуосный электромагнитный торсионный актюатор. Двунаправленный магнитный балочный актюатор. Бистабильный магнитный актюатор.	1	0	0	ПК-5/НА.2	Мультимедийная лекция

12. Пьезоэлектрические акселерометры балочного и мембранного типов. Пьезоэлектрические акустические сенсоры балочного и мембранного типов. Полимерный пьезоэлектрический тактильный сенсор. Пьезоэлектрический датчик скорости потока. Линейные пьезоэлектрические микроактюаторы. Пьезоэлектрический шаговый двигатель. Биморфный пьезоэлемент. Пассивный и активный биморфные пьезоэлементы. Мембранные микроактюаторы. Технология пьезоструйной и термоструйной печати.	1	0	0	ПК-5/НА.2	Мультимедийная лекция

Темы практических занятий	Часы	Из них в форме практ. подг., час.	Активные формы, час.	Индикаторы достижения компетенций	Учебная деятельность
Семестр: 8					
Дидактическая единица: Основы микромеханики и микроэлектромеханики					
1. Обзор базовых электрических и механических концепций МЭМС	4	4	1	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Решение задач
2. Динамические характеристики микроэлектромеханических систем	4	4	1	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Решение задач
3. Эффекты демпфирования в микроэлектромеханических системах	4	4	1	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Решение задач
Дидактическая единица: Физические принципы функционирования основных видов микроэлектромеханических систем					
4. Электростатические сенсоры и актюаторы	4	4	1	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Решение задач
5. Электромагнитные преобразователи	4	4	1	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Решение задач
6. Пьезоэлектрические преобразователи	4	4	1	ПК-5/НА.2, ПК-6/НА.2	Решение задач

3.1 Практическая подготовка

Таблица 3.2

№	Темы занятий	Формы организации занятий	Содержание практической подготовки (виды работ)

1	Основные понятия и определения. Основные тенденции развития современной микросистемной техники. Классификация микроэлектромеханических систем, области их применения.	Л	Выполняет следующие виды работ: анализ современной микросистемной техники и тенденций развития
2	Обзор базовых электрических и механических концепций МЭМС	Пр	Выполняет следующие виды работ: выполнение расчетов с целью освоения навыка построения моделей физических процессов, лежащих в основе функционирования микроэлектромеханических сиситем
3	Динамические характеристики микроэлектромеханических систем	Пр	Выполняет следующие виды работ: выполнение расчетов с целью освоения навыка построения моделей физических процессов, лежащих в основе функционирования микроэлектромеханических сиситем
4	Эффекты демпфирования в микроэлектромеханических системах	Пр	Выполняет следующие виды работ: выполнение расчетов с целью освоения навыка построения моделей физических процессов, лежащих в основе функционирования микроэлектромеханических сиситем
5	Электростатические сенсоры и актюаторы	Пр	Выполняет следующие виды работ: выбор конструкторско-технологических решений для применения электрических и механических свойств микросистем и выбор методов исследования устройств микроэлектромеханики.
6	Электромагнитные преобразователи	Пр	Выполняет следующие виды работ: выбор конструкторско-технологических решений для применения электрических и механических свойств микросистем и выбор методов исследования устройств микроэлектромеханики.
7	Пьезоэлектрические преобразователи	Пр	Выполняет следующие виды работ: выбор конструкторско-технологических решений для применения электрических и механических свойств микросистем и выбор методов исследования устройств микроэлектромеханики.

3.2 Самостоятельная работа обучающегося

Таблица 3.3

№	Виды самостоятельной работы	Индикаторы достижения компетенций	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 8				
1	Контрольные работы	ПК-5/НА.2,ПК-6/НА.2	10	1
Подготовка к контрольным работам, проводимым в течение семестра: : Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2016.- 119, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273				
2	РГЗ/Реферат	ПК-5/НА.2,ПК-6/НА.2	20	2
Подготовка расчётно-графического задания, подговка к его защите: : Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2016.- 119, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273				

3	Подготовка к занятиям	ПК-5/НА.2,ПК-6/НА.2	12	0
Подготовка к практическим занятиям на основе лекционного материала: : Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2016.- 119, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273				
4	Дополнительная учебная деятельность	ПК-5/НА.2,ПК-6/НА.2	4	1
Выполнение дополнительных заданий по дисциплине: : Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2016.- 119, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273				
5	Подготовка к аттестации	ПК-5/НА.2,ПК-6/НА.2	20	0
Подготовка к экзамену: : Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2016.- 119, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273				

3.3 Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	e-mail; Среда электронного обучения НГТУ
Консультирование	e-mail; Среда электронного обучения НГТУ
Контроль	e-mail; Среда электронного обучения НГТУ
Размещение учебных материалов	Портал НГТУ; Среда электронного обучения НГТУ; ЭБС

4. Правила аттестации обучающихся по дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставлять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 8		
Лекция: Посещение	5	10
Практические занятия: Активная работа на занятиях	5	10
Контрольные работы: Выполнение	10	20
Контролирующие материалы приводятся в "Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2016.- 119, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273"		
РГЗ/Реферат: Выполнение и защита	10	20
Контролирующие материалы приводятся в "Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2016.- 119, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273"		
Экзамен:	20	40
Контролирующие материалы приводятся в "Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2016.- 119, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273"		

В таблице 4.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 4.2

Коды компетенций	Индикаторы достижения компетенций	Формы контроля		
		Контр. раб.	Защита РГЗ/Р	Экзамен
ПК-5/НА	ПК-5/НА 2. Умеет строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков	+	+	+
ПК-6/НА	ПК-6/НА 2. Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков	+	+	+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

5. Литература

Основная литература

1. Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2016.- 119, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273

2. Косых, А. В. МЭМС: инерциальные системы, микроактюаторы, датчики : учебное пособие / А. В. Косых. — Омск : ОмГТУ, 2015. — 77 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/149117 (дата обращения: 07.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Косых, А. В. МЭМС: резонаторы и генераторы : учебное пособие / А. В. Косых, А. Н. Лепетаев, А. И. Одинец. — Омск : ОмГТУ, 2015. — 74 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/149118 (дата обращения: 07.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Лабораторный практикум по курсу "Датчики на основе микро- и нанотехнологий : учебное пособие / Б. И. Подлепецкий, С. В. Гуменюк, М. Ю. Никифорова, Н. Н. Самотаев. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2010. — 56 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/75741 (дата обращения: 07.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература

1. Атапин В. Г. Механика. Теоретическая механика. Сопротивление материалов : [учебник] / В. Г. Атапин.- Новосибирск, 2019.- 375, [2] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000241853

2. Морозов, В. Г. Физика низкоразмерных структур : учебное пособие / В. Г. Морозов. — Москва : РТУ МИРЭА, 2019. — 122 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/171471 (дата обращения: 07.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Драгунов, В. П. Микро- и наноэлектроника: Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак. — Новосибирск : НГТУ, 2015. — 50 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/118132 (дата обращения: 07.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Гридчин А. В. Микродатчики и микросистемы. Краткий курс лекций : [учебное пособие] / А. В. Гридчин ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2021.- 224, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000245580

Интернет-ресурсы

1. Электронно-библиотечная система НГТУ [Электронный ресурс]. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2011-2017. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/. - Загл. с экрана.

2. Лань [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. - ЭБС издательства Лань, 2016. - Режим доступа: https://e.lanbook.com/. - Загл. с экрана.

3. Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – Текст : электронный / Учредитель: Общество с ограниченной ответственностью Компания «Ай Пи Ар Медиа». – URL: http://www.iprbookshop.ru/ (дата обращения: 26.02.2021).

4. Znanium.com [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. – Режим доступа: http://znanium.com/. – Загл. с экрана.

6. Методическое и программное обеспечение, информационные технологии

6.1 Методическое обеспечение

1. Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2016.- 119, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273

2. Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина].- Новосибирск, 2016.- 19, [1] с. : табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042

6.2 Специализированное программное обеспечение

1 ОС для применения на серверах Microsoft Windows

2 MathCAD - это интегрированная система программирования, ориентированная на проведение математических и инженерно-технических расчетов. PTC MathCAD

3 Пакет офисных приложений Microsoft Office

4 НГТУ DiSpace - среда электронного обучения НГТУ

6.3 Информационные технологии

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине применяются элементы дистанционных образовательных технологий, а также синхронного и асинхронного взаимодействия в электронной информационно-образовательной среды НГТУ.

7. Материально-техническое обеспечение

Комплект оборудования

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	Проведение лекционных занятий
2	Комплект мультимедийного оборудования	Проведение лекционных и практических занятий