

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЭЛЕМЕНТЫ И ПРИБОРЫ НАНОТЕХНОЛОГИИ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.06</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 95,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2025**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

---

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Михайлова И.А.
	Идентификатор	R6487a0ab-MikhailovaIA-f37cba00

И.А. Михайлова

---

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

---

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Макаров П.Г.
	Идентификатор	R9a51899a-MakarovPG-4f257daf

П.Г. Макаров

---

Заведующий выпускающей  
кафедрой

---

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

Ю.Ю. Пузина

---

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение принципов действия, конструкций и материалов изделий электронной техники (ИЭТ) в нано- и микроисполнении.

### Задачи дисциплины

- изучение особенностей конструкций, материалов и приборов нанотехнологий;
- обоснование выбора методов изготовления элементов и устройств нанотехнологий;
- изучение методов для исследований и контроля элементов и устройств нанотехнологий;
- приобретение навыков выполнения на этой основе инженерных расчетов для решения конкретных прикладных задач.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Имеет практические навыки применения измерительных приборов и техники эксперимента, навыки постобработки экспериментальных данных и способен провести анализ погрешностей определяемых величин	знать: - основные типы и элементы нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ.  уметь: - выполнять научные исследования в области проектирования и создания ИЭТ и самостоятельно разбираться в методиках исследования элементов устройств и уметь применять их для решения поставленной задачи.
ПК-2 Способен применять расчетно-теоретические и экспериментальные методы исследования электромагнитных и теплофизических процессов в низкоразмерных устройствах и материалах	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Знает особенности процессов в метрологических системах и системах диагностики наноразмерных материалов и устройств	знать: - основные методы получения и обработки элементов нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ.  уметь: - применять измерительные приборы и техники эксперимента (электронная, атомно-силовая и оптическая микроскопии; методы силового нанотестинга) и осуществлять постобработку экспериментальных данных.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать электротехника и электроника
- знать квантовая и оптическая электроника
- знать материаловедение и технология конструкционных материалов

- знать процессы получения наночастиц и наноматериалов, нанотехнологии

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Введение в микро- и наноэлектронику, МСТ и НСТ	7	3	1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<u><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение в микро- и наноэлектронику, МСТ и НСТ" <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [1], 11-17 [5], 11-17
1.1	Введение в микро- и наноэлектронику, МСТ и НСТ	7		1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
2	Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии	11		1	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<u><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение дополнительного материала по разделу "Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии" <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [1], 17-26 [5], 17-26
2.1	Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии	11		1	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
3	Элементы и устройства микро- и наноэлектроники	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	<u><b>Подготовка к лабораторной работе:</b></u> Предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы "Изучение основных свойств датчиков давления", а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Элементы и устройства микро- и наноэлектроники" материалу. <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u>
3.1	Элементы и устройства микро- и наноэлектроники	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	

														[1], 32-47 [2], 12-47 [5], 32-47
4	Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актюаторные устройства МСТ и НСТ	28		4	-	8	-	-	-	-	-	16	-	<u><b>Подготовка к лабораторной работе:</b></u> Предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы "Исследование датчиков температуры", а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актюаторные устройства МСТ и НСТ" материалу. <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [1], 32-47 [3], 37-52 [5], 32-47
4.1	Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актюаторные устройства МСТ и НСТ	28		4	-	8	-	-	-	-	-	16	-	
5	Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники	28		4	-	8	-	-	-	-	-	16	-	<u><b>Подготовка к лабораторной работе:</b></u> Предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы "Изучение основных параметров акселерометров", а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники" материалу. <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [1], 67-91 [2], 56-78 [5], 67-91
5.1	Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники	28		4	-	8	-	-	-	-	-	16	-	
6	Основные технологии устройств МСТ и НСТ	15		1	-	2	-	-	-	-	-	12	-	<u><b>Подготовка к лабораторной работе:</b></u> Предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы "Исследование параметров акустических сенсоров", а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Основные технологии устройств МСТ и НСТ" материалу. <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u>
6.1	Основные технологии устройств МСТ и НСТ	15		1	-	2	-	-	-	-	-	12	-	

													<u>источников:</u> [1], 91-127 [2], 92-134 [5], 91-127	
7	Моделирование и проектирование	19		3	-	6	-	-	-	-	-	10	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Моделирование и проектирование"
7.1	Моделирование и проектирование	19		3	-	6	-	-	-	-	-	10	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 167-191 [2], 156-178 [4], 154-166 [5], 167-191
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	144.0		16	-	32	-	-	-	-	0.3	78	17.7	
	Итого за семестр	144.0		16	-	32	-		-		0.3	95.7		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### *1. Введение в микро- и нанoeлектронику, МСТ и НСТ*

##### **1.1. Введение в микро- и нанoeлектронику, МСТ и НСТ**

Основные понятия и определения.

#### *2. Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии*

##### **2.1. Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии**

Понятие о полупроводниковых, гибридных интегральных схемах (ИС), устройствах МСТ и НСТ.

#### *3. Элементы и устройства микро- и нанoeлектроники*

##### **3.1. Элементы и устройства микро- и нанoeлектроники**

Аналоговые и цифровые СБИС. СВЧ ИС в микроэлектронном исполнении. Наноразмерные компоненты ИС.

#### *4. Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актюаторные устройства МСТ и НСТ*

##### **4.1. Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актюаторные устройства МСТ и НСТ**

Принципы действия. Наноразмерные исполнительные элементы. Наноразмерные исполнительные элементы сенсорных и актюаторных устройств МСТ и НСТ, в том числе деформируемые и недеформируемые, композиционные слоистые, металлические, на основе сплавов.

#### *5. Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники*

##### **5.1. Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники**

Полупроводниковые, диэлектрические и металлические материалы. Резистивные сплавы. Слоистые композиционные материалы. Органические диэлектрики. Фоточувствительные композиции.

#### *6. Основные технологии устройств МСТ и НСТ*

##### **6.1. Основные технологии устройств МСТ и НСТ**

Технологии «сверху вниз» и «снизу вверх».

#### *7. Моделирование и проектирование*

##### **7.1. Моделирование и проектирование**

Постановка задачи моделирования. Выбор критериев оптимизации. Постановка граничных условий. Создание библиотек свойств модели. Интерпретация результатов моделирования.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Изучение основных свойств датчиков давления;
2. Исследование датчиков температуры;



3. Изучение основных параметров акселерометров;
4. Исследование параметров акустических сенсоров;
5. Расчет основных свойств датчиков давления;
6. Расчет ошибок измерений датчиками температуры;
7. Расчет основных параметров акселерометров;
8. Расчет параметров акустических сенсоров.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение в микро- и нанoeлектронику, МСТ и НСТ"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Элементы и устройства микро- и нанoeлектроники"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актюаторные устройства МСТ и НСТ"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные технологии устройств МСТ и НСТ"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Моделирование и проектирование"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ** Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)							Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7		
<b>Знать:</b>										
основные типы и элементы нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>	+							Контрольная работа/Типы и элементы устройств МСТ и НСТ	
основные методы получения и обработки элементов нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ	ИД-2 <sub>ПК-2</sub>		+			+			Контрольная работа/Материалы для повышения надежности устройств МСТ и НСТ	
<b>Уметь:</b>										
выполнять научные исследования в области проектирования и создания ИЭТ и самостоятельно разбираться в методиках исследования элементов устройств и уметь применять их для решения поставленной задачи	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>				+			+	Расчетно-графическая работа/Методики испытаний ИЭТ, виды испытаний ИЭТ	
применять измерительные приборы и техники эксперимента (электронная, атомно-силовая и оптическая микроскопии; методы силового нанотестинга) и осуществлять постобработку экспериментальных данных	ИД-2 <sub>ПК-2</sub>			+			+		Контрольная работа/Технология устройств МСТ и НСТ	

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**3 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Материалы для повышения надежности устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)
2. Методики испытаний ИЭТ, виды испытаний ИЭТ (Расчетно-графическая работа)
3. Технология устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)
4. Типы и элементы устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Зачет с оценкой (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Лозовский, В. Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность : [учебное пособие] / В. Н. Лозовский, С. В. Лозовский. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 332 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-3986-7.;
2. Варадан, В. ВЧ МЭМС и их применение : пер. с англ. / В. Варадан, К. Виной, К. Джозе. – М. : Техносфера, 2004. – 528 с. – (Мир электроники). – ISBN 5-948360-30-X.;
3. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам : сборник статей / Сост. П. П. Мальцев. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с. – (Мир электроники). – ISBN 5-948360-63-6.;
4. Рамбиди, Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н. Г. Рамбиди, А. В. Березкин. – М. : Физматлит, 2009. – 456 с. – ISBN 978-5-9221-0988-8.;
5. Лозовский В. Н., Лозовский С. В. - "Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность", (2-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2019 - (332 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/113943>.

##### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Python.

##### **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" -  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)

3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
15. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
16. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор,

		доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Помещения для консультирования	М-423/1, Аудитория каф. "НТ"	стул, стол письменный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-407/1, Кладовая	стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Элементы и приборы нанотехнологии

(название дисциплины)

## 3 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 Типы и элементы устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)

КМ-2 Материалы для повышения надежности устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)

КМ-3 Технология устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)

КМ-4 Методики испытаний ИЭТ, виды испытаний ИЭТ (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	11	15
1	Введение в микро- и нанoeлектронику, МСТ и НСТ					
1.1	Введение в микро- и нанoeлектронику, МСТ и НСТ		+			
2	Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии					
2.1	Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии			+		
3	Элементы и устройства микро- и нанoeлектроники					
3.1	Элементы и устройства микро- и нанoeлектроники				+	
4	Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актюаторные устройства МСТ и НСТ					
4.1	Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актюаторные устройства МСТ и НСТ					+
5	Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники					
5.1	Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники			+		
6	Основные технологии устройств МСТ и НСТ					
6.1	Основные технологии устройств МСТ и НСТ				+	
7	Моделирование и проектирование					
7.1	Моделирование и проектирование					+
Вес КМ, %:			15	25	25	35