

**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**  
**СЕНСОРЫ МЭМС, НЭМС И БИОСЕНСОРЫ**


<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.06.02.01
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	2 семестр - 4;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	144 часа
<b>Лекции</b>	2 семестр - 32 часа;
<b>Практические занятия</b>	2 семестр - 32 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	2 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	2 семестр - 77,5 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	2 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2023**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae2f

(подпись)


А.С. Дмитриев

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae2f


(подпись)

А.С. Дмитриев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Ю.Ю. Пузина

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** систематизация полученных при изучении базовых дисциплин специальности знаний о современных сенсорах МЭМС, НЭМС и биосенсорах, особенностях их разработки и использования, приобретение навыков выполнения инженерных расчетов для решения конкретных прикладных задач

### Задачи дисциплины

- изучение методов описания современных МЭМС и НЭМС устройств;
- изучение свойств, специфики описания и применении процессов в МЭМС и НЭМС в энергетике;
- приобретение практических навыков обоснования конкретных методических решений при разработке технологических процессов и расчетах схем.

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-4 <sub>ПК-1</sub> Знаком с особенностями технологических процессов, протекающих в элементах энергетического оборудования специального назначения.	знать: - основные типы и элементы нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ.  уметь: - осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию о принципах функционирования, конструкциями и технологиями.
ПК-3 Готов самостоятельно определять направление и характер проводимых исследований, учитывать современные тенденции развития наноразмерных систем и устройств	ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Владеет способами решения физико-технических и инженерных проблем в современных наноразмерных системах и устройствах	знать: - основные методы получения и обработки элементов нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ.  уметь: - самостоятельно разбираться в методиках исследования элементов устройств и уметь применять их для решения поставленной задачи; - выполнять научные исследования в области проектирования и создания МЭМС и НЭМС.

## 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 элементы и приборы нанотехнологий
- знать электротехника и электроника
- знать квантовая и оптическая электроника

- знать материаловедение и технология конструкционных материалов
- знать физико-химия наночастиц и наноматериалов
- знать исследование поверхности в условиях вакуума

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	Основы МЭМС. Преобразователи физических величин	26	2	8	-	8	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы МЭМС. Преобразователи физических величин" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 32-47 [2], 19-38 [3], 39-58 [4], 39-58
1.1	Основы МЭМС. Преобразователи физических величин	26		8	-	8	-	-	-	-	-	10	-	
2	Химические и биомедицинские сенсоры	14		4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Химические и биомедицинские сенсоры" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 32-47 [3], 39-58 [4], 39-58
2.1	Химические и биомедицинские сенсоры	14		4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
3	Биосенсоры и МЭМС. Микрофлюидика	26		8	-	8	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Биосенсоры и МЭМС. Микрофлюидика". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания
3.1	Биосенсоры и МЭМС. Микрофлюидика	26		8	-	8	-	-	-	-	-	10	-	

													используются следующие упражнения: 1. Разработка принципиальной электрической схемы прототипа биосенсора на базе SMD компонентов 2. Расчет параметров чувствительности МЭМС сенсора <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 32-47 [3], 39-58 [4], 39-58
4	Основы сенсоров	28	8	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Самостоятельное изучение</u></b>
4.1	Основы сенсоров	28	8	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы сенсоров" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 32-47 [2], 29-48 [3], 39-58 [4], 39-58
5	Перспективы развития наносенсоров	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Самостоятельное изучение</u></b>
5.1	Перспективы развития наносенсоров	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Перспективы развития наносенсоров" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 32-47 [3], 39-58 [4], 39-58
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	32	-	32	-	2	-	-	0.5	44	33.5	
	Итого за семестр	144.0	32	-	32	-	2	-	-	0.5	77.5		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Основы МЭМС. Преобразователи физических величин

##### 1.1. Основы МЭМС. Преобразователи физических величин

Принципы работы. Конфигурации. Свойства. МЭМС и НЭМС. Преобразователи физических величин. Прикладные задачи МЭМС.

#### 2. Химические и биомедицинские сенсоры

##### 2.1. Химические и биомедицинские сенсоры

Принципы работы. Конфигурации. Свойства. Газовые сенсоры.. Структуры на основе микро-нагревательных плит. Проблемы чувствительности, селективности и дрейфа. Чувствительность к ионам водорода. Применение ионочувствительных полевых транзисторов (ISFET).. Материалы и принципы преобразования (потенциометрические, амперометрические, термические, оптические, гравиметрические). Процессы биораспознавания и иммобилизации. ISFET, ENFET (Enzyme Field-Effect Transistor – ферментный полевой транзистор), IMFET (Internally Matched Field Effect Transistor – внутренне согласованный полевой транзистор).. Диагностические системы. Системы направленной доставки лекарств. Разработка тканей. Терапия и хирургические устройства с минимальным воздействием.. Флуоресцентные методы. Рестрикционное расщепление. Электрофоретическая сепарация. Гибридизация. Проблемы масштабирования. Микросистемы для ПЦР, интегрированные микрочипы для анализа ДНК.

#### 3. Биосенсоры и МЭМС. Микрофлюидика

##### 3.1. Биосенсоры и МЭМС. Микрофлюидика

Биомедицинская наноинженерия. Тканевая инженерия и биоматериалы. Медицинская визуализация. Нейропротезирование. Биосенсоры МЭМС. Микрофлюидика. Размерности и масштабы. Методы управления потоками жидкости. Ламинарные потоки. Диффузия. Смешивание. Микрофлюидные устройства и системы. Вентили. Поверхностное натяжение. Двухфазные потоки..

#### 4. Основы сенсоров

##### 4.1. Основы сенсоров

Биосенсоры. Определения. Биорецепторы. Преобразователи. Иммобилизация биологических компонентов. Иммунологический анализ. Взаимодействия антиген-антитело.. Микрофлюидные чипы для иммуноанализа. Электрохимические биодатчики. Потенциометрические и амперометрические биодатчики. Области применения. Датчики уровня кислорода и глюкозы в крови.. Оптические биодатчики. Флуоресценция. Хемилюминесценция. Колориметрический анализ уровня глюкозы. Микрочипы на основе электрохемилюминесценции. Массочувствительные детекторы..

#### 5. Перспективы развития наносенсоров

##### 5.1. Перспективы развития наносенсоров

Поверхностная и объемная микрообработка. Усовершенствование технологий. Интеграция (системы на чипе), повышение точности (увеличение производительности), групповое изготовление (снижение стоимости), миниатюризация (портативность; прочность; низкое потребление энергии; простота внедрения, обслуживания и замены; снижение вреда для окружающей среды).

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

1. Потенциометрические и амперометрические биодатчики. Области применения.;
2. Электрохимические биодатчики.;
3. Микрофлюидные чипы для иммуноанализа.;
4. Взаимодействия антиген-антитело.;
5. Иммобилизация биологических компонентов. Иммунологический анализ.;
6. Биодатчики. Определения. Биорецепторы. Преобразователи..

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

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы МЭМС. Преобразователи физических величин"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Химические и биомедицинские сенсоры"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Биосенсоры и МЭМС. Микрофлюидика"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы сенсоров"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Перспективы развития наносенсоров"

### **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	
<b>Знать:</b>							
основные типы и элементы нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ	ИД-4 <sub>ПК-1</sub>	+					Контрольная работа/Газовые сенсоры
основные методы получения и обработки элементов нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ	ИД-1 <sub>ПК-3</sub>		+			+	Контрольная работа/Биосенсоры МЭМС. Микрофлюидика
<b>Уметь:</b>							
осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию о принципах функционирования, конструкциями и технологиями	ИД-4 <sub>ПК-1</sub>			+			Контрольная работа/Электрохимические биодатчики
выполнять научные исследования в области проектирования и создания МЭМС и НЭМС	ИД-1 <sub>ПК-3</sub>			+			Расчетно-графическая работа/Оптические биодатчики
самостоятельно разбираться в методиках исследования элементов устройств и уметь применять их для решения поставленной задачи	ИД-1 <sub>ПК-3</sub>				+	+	Контрольная работа/Тканевая инженерия и биоматериалы

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

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

**2 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Биосенсоры МЭМС. Микрофлюидика (Контрольная работа)
2. Газовые сенсоры (Контрольная работа)
3. Оптические биодатчики (Расчетно-графическая работа)
4. Тканевая инженерия и биоматериалы (Контрольная работа)
5. Электрохимические биодатчики (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (Семестр №2)

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

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

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

1. Фрайден, Д. Современные датчики : справочник : пер. с англ. / Д. Фрайден . – М. : Техносфера, 2006 . – 592 с. – (Мир электроники) . - ISBN 5-948360-50-4 .;
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. Распопов, В. Я. Микромеханические приборы : учебное пособие для вузов по специальности "Приборостроение" направления подготовки "Приборостроение" / В. Я. Распопов . – М. : Машиностроение, 2007 . – 400 с. - ISBN 5-217-03360-6 .;
4. Распопов В. Я.- "Микромеханические приборы", Издательство: "Машиностроение", Москва, 2007 - (400 с.)  
[https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=753](https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=753).

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

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

##### **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

	зал ИВЦ	
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. "ИТ"	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

## Сенсоры МЭМС, НЭМС и биосенсоры

(название дисциплины)

## 2 семестр

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

- КМ-1 Газовые сенсоры (Контрольная работа)  
 КМ-2 Биосенсоры МЭМС. Микрофлюидика (Контрольная работа)  
 КМ-3 Электрохимические биодатчики (Контрольная работа)  
 КМ-4 Оптические биодатчики (Расчетно-графическая работа)  
 КМ-5 Тканевая инженерия и биоматериалы (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	11	13	15
1	Основы МЭМС. Преобразователи физических величин						
1.1	Основы МЭМС. Преобразователи физических величин		+				
2	Химические и биомедицинские сенсоры						
2.1	Химические и биомедицинские сенсоры			+			
3	Биосенсоры и МЭМС. Микрофлюидика						
3.1	Биосенсоры и МЭМС. Микрофлюидика				+	+	
4	Основы сенсоров						
4.1	Основы сенсоров						+
5	Перспективы развития наносенсоров						
5.1	Перспективы развития наносенсоров			+			+
Вес КМ, %:			15	20	25	20	20