

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

---

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**МЕТРОЛОГИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОУСТРОЙСТВ**


<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.10</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	7 семестр - 5; 8 семестр - 3; всего - 8
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	288 часа
<b>Лекции</b>	7 семестр - 32 часа; 8 семестр - 14 часов; всего - 46 часа
<b>Практические занятия</b>	7 семестр - 48 часа; 8 семестр - 28 часа; всего - 76 часа
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	7 семестр - 2 часа; 8 семестр - 2 часа; всего - 4 часа
<b>Самостоятельная работа</b>	7 семестр - 97,5 часа; 8 семестр - 63,5 часа; всего - 161,0 час
<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>Коллоквиум</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	7 семестр - 0,5 часа;
<b>Экзамен</b>	8 семестр - 0,5 часа;
	всего - 1,0 час

**Москва 2018**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Афанасьев В.П.
	Идентификатор	Rd662399b-AfanasyevVP-e234fce

(подпись)

В.П. Афанасьев

(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-aaaaae29


(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:** изучение основ современных методов диагностики и тестирования наноматериалов и наноустройств для их использования в перспективных технологиях

### Задачи дисциплины

- изучение современных методов диагностики наноматериалов и наноустройств;
- изучение методов исследования наноструктурных поверхностей и покрытий;
- изучение методов диагностики и измерений электрофизических и тепловых свойств наноматериалов;
- изучение методов сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств.

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-3 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей процессов в наноразмерных системах	ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Знает особенности метрологических систем и систем диагностики наноразмерных материалов и устройств	знать: - методы определения основных параметров наноразмерных систем и наноматериалов; - способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств.  уметь: - проводить научные эксперименты и тесты с нанотехнологическим оборудованием; - проводить и обрабатывать измерения в наноразмерных материалах и наноустройствах.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Физика специальная
- знать Термодинамика
- знать Тепломассообмен
- знать Физика конденсированного состояния
- знать Физика твердого тела

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 8 зачетных единиц, 288 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	Основные понятия нанотехнологий	34	7	8	-	10	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные понятия нанотехнологий" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 72-101 [2], 192-234 [3], 36-48	
1.1	Понятие нанотехнологий	34		8	-	10	-	-	-	-	-	16	-		
2	Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики	36		8	-	12	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 72-101 [2], 192-234 [3], 8-22
2.1	Зондовая микроскопия	18		4	-	6	-	-	-	-	-	-	8	-	
2.2	Спектроскопия	18		4	-	6	-	-	-	-	-	-	8	-	
3	Методы диагностики и тестирования наноматериалов	34		8	-	10	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Методы диагностики и тестирования наноматериалов" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 72-101 [2], 192-234
3.1	Механические свойства наноматериалов	17		4	-	5	-	-	-	-	-	-	8	-	
3.2	Оптические свойства наноматериалов	17		4	-	5	-	-	-	-	-	-	8	-	

														[3], 52-74
4	Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий	40		8	-	16	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий"
4.1	Общая классификация методов	40		8	-	16	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 36-48
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0		32	-	48	-	2	-	-	0.5	64	33.5	
	Итого за семестр	180.0		32	-	48	2	-	-	0.5	97.5			
5	Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов	34	8	6	-	14	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов"
5.1	Электрофизические свойства наноматериалов и методы их измерений	17		3	-	7	-	-	-	-	-	7	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 72-101
5.2	Теплофизические свойства наноматериалов и методы их диагностики	17		3	-	7	-	-	-	-	-	7	-	[2], 192-234 [3], 56-78
6	Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств	38		8	-	14	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств"
6.1	Порометрия	9		2	-	3	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 72-101
6.2	Оптический контроль	10		2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	[2], 192-234
6.3	Контроль физических свойств	10		2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	[3], 116-161
6.4	Биосовместимость	9		2	-	3	-	-	-	-	-	4	-	

	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	108.0		14	-	28	-	2	-	-	0.5	30	33.5	
	Итого за семестр	108.0		14	-	28	2		-		0.5		63.5	
	ИТОГО	288.0	-	46	-	76	4		-		1.0		161.0	

**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. Основные понятия нанотехнологий

#### 1.1. Понятие нанотехнологий

Краткая история нанотехнологий. Физические основы нанотехнологии. Метрология наносистем. Примеры применения нанотехнологий.

### 2. Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики

#### 2.1. Зондовая микроскопия

Основные понятия зондовой микроскопии. Сканирующая зондовая микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Артефакты. Области применения зондовой микроскопии.

#### 2.2. Спектроскопия

Электронная микроскопия. Растровая электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Рентгеновская спектроскопия (XAS, EXAFS и др.).

### 3. Методы диагностики и тестирования наноматериалов

#### 3.1. Механические свойства наноматериалов

Механические свойства наноматериалов. Методы анализа механических свойств.

#### 3.2. Оптические свойства наноматериалов

Оптическая спектроскопия, спектрофотометры. Рамановская спектроскопия наноматериалов.

### 4. Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий

#### 4.1. Общая классификация методов

Исследование поверхности методом ИК-Фурье спектроскопии. Рамановская спектроскопия наноматериалов. Лазерная спектроскопия. Фемто- и наносекундная спектроскопия.

### 5. Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов

#### 5.1. Электрофизические свойства наноматериалов и методы их измерений

Удельное электросопротивление наноматериалов. Наноконпоненты. Пленки. Наноконпозиты.

#### 5.2. Теплофизические свойства наноматериалов и методы их диагностики

Измерение термодинамических параметров наноматериалов. Измерение теплопереноса в наноматериалах.

### 6. Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств

#### 6.1. Порометрия

Определение истинной поверхности.

#### 6.2. Оптический контроль

Профилометрия. Флуоресценция. Эллипсометрия. Конфокальная микроскопия.

6.3. Контроль физических свойств  
Резистометрия. Магнитные измерения.

6.4. Биосовместимость

Контроль и тестирование биосовместимости. Контроль и тестирование безопасности наноматериалов.

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

1. Метрология наносистем и примеры применения нанотехнологий;
2. Диагностики и тестирования наноматериалов;
3. Методы диагностики и тестирования наноматериалов;
4. Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий;
5. Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов;
6. Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств.

**3.4. Темы лабораторных работ**  
не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные понятия нанотехнологий"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Методы диагностики и тестирования наноматериалов"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств"

### **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	
<b>Знать:</b>								
способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств	ИД-2ПК-3	+	+					Контрольная работа/Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий Контрольная работа/Способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств
методы определения основных параметров наноразмерных систем и наноматериалов	ИД-2ПК-3					+		Контрольная работа/Диагностика и измерения тепловых свойств наноматериалов Контрольная работа/Диагностика и измерения электрофизических свойств наноматериалов
<b>Уметь:</b>								
проводить и обрабатывать измерения в наноразмерных материалах и наноустройствах	ИД-2ПК-3			+	+			Коллоквиум/Диагностика и тестирования наноматериалов Коллоквиум/Методы диагностики и тестирования наноматериалов
проводить научные эксперименты и тесты с нанотехнологическим оборудованием	ИД-2ПК-3						+	Коллоквиум/Методы контроля наноматериалов и их функциональных свойств Коллоквиум/Методы сертификации наноматериалов и их функциональных свойств

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

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

#### **7 семестр**

Форма реализации: Проверка задания

1. Диагностика и тестирования наноматериалов (Коллоквиум)
2. Методы диагностики и тестирования наноматериалов (Коллоквиум)
3. Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий (Контрольная работа)
4. Способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств (Контрольная работа)

#### **8 семестр**

Форма реализации: Проверка задания

1. Диагностика и измерения тепловых свойств наноматериалов (Контрольная работа)
2. Диагностика и измерения электрофизических свойств наноматериалов (Контрольная работа)
3. Методы контроля наноматериалов и их функциональных свойств (Коллоквиум)
4. Методы сертификации наноматериалов и их функциональных свойств (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

#### Экзамен (Семестр №7)

Итоговая оценка по курсу выставляется на основе оценки за промежуточную аттестацию. Возможен случай, когда в силу значительно отличающейся текущей оценки может быть применен повышающий или понижающий коэффициент

#### Экзамен (Семестр №8)

Итоговая оценка по курсу выставляется на основе оценки за промежуточную аттестацию. Возможен случай, когда в силу значительно отличающейся текущей оценки может быть применен повышающий или понижающий коэффициент

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

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

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

1. Дмитриев, А. С. Физико-химия наноструктур : учебное пособие по курсам "Физико-химия наночастиц и наноматериалов", "Тепловые процессы в наноструктурах", "Химия наноструктур. Часть 2" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" по профилю "Нанотехнологии и наноматериалы для энергетики" / А. С. Дмитриев, И. А. Михайлова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2013 . – 240 с. - ISBN 978-5-7046-1356-5 .  
[http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=5631](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=5631);
2. Нанотехнологии. Азбука для всех / Н. С. Абрамчук, [и др.] ; Ред. Ю. Д. Третьяков . – 2-е изд., испр. и доп . – М. : Физматлит, 2009 . – 368 с. - ISBN 978-5-922110-48-8 .;

3. Суздалев, И. П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И. П. Суздалев . – М. : Эдиториал УРСС, 2006 . – 592 с. – (Синергетика: от прошлого к будущему) . - ISBN 5-484-00243-5 ..

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office;
2. Windows.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
15. 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	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-410, Учебная аудитория "А"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-410, Учебная аудитория "А"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-410, Учебная аудитория "А"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
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****Метрология наноматериалов и наноустройств**

(название дисциплины)

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

- КМ-1 Способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств (Контрольная работа)  
 КМ-2 Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий (Контрольная работа)  
 КМ-3 Методы диагностики и тестирования наноматериалов (Коллоквиум)  
 КМ-4 Диагностика и тестирования наноматериалов (Коллоквиум)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	6	9	12	16
1	Основные понятия нанотехнологий					
1.1	Понятие нанотехнологий		+	+		
2	Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики					
2.1	Зондовая микроскопия		+	+		
2.2	Спектроскопия		+	+		
3	Методы диагностики и тестирования наноматериалов					
3.1	Механические свойства наноматериалов				+	+
3.2	Оптические свойства наноматериалов				+	+
4	Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий					
4.1	Общая классификация методов				+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25

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

- КМ-5 Диагностика и измерения электрофизических свойств наноматериалов (Контрольная работа)  
 КМ-6 Диагностика и измерения тепловых свойств наноматериалов (Контрольная работа)  
 КМ-7 Методы сертификации наноматериалов и их функциональных свойств (Коллоквиум)  
 КМ-8 Методы контроля наноматериалов и их функциональных свойств (Коллоквиум)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	6	9	12	16
1	Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов					
1.1	Электрофизические свойства наноматериалов и методы их измерений		+	+		
1.2	Теплофизические свойства наноматериалов и методы их диагностики		+	+		
2	Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств					
2.1	Порометрия				+	+
2.2	Оптический контроль				+	+
2.3	Контроль физических свойств				+	+
2.4	Биосовместимость				+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25