

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Владимирский государственный университет**  
**имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
**(ВлГУ)**

УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор  
 по образовательной деятельности  
 \_\_\_\_\_ А.А.Панфилов  
 « 02 » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ  
 (наименование дисциплины)

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
 Профиль/программа подготовки Нанотехнологии и микросистемная техника  
 Уровень высшего образования бакалавриат  
 Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
5	6/216	18	18	36	117	экзамен(27)
Итого	6/216	18	18	36	117	экзамен(27)

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** освоения дисциплины является формирование знаний об основных методах определения дисперсности наноматериалов, элементного, фазового состава, а также областях применения каждого метода.

### Задачи дисциплины:

- знакомство с теоретическими основами современных средств диагностики наноструктурированных материалов;
- получение практических навыков при работе на современных диагностических комплексах, а также трактовании/расшифровке полученных данных.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» относится к дисциплинам базовой части ОПОП подготовки бакалавров по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника».

Пререквизиты дисциплины: «Физика», «Физические основы микро- и наносистемной техники», «Материаловедение наноструктурированных материалов».

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП:

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции <sup>1</sup>	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ОПК-3	частичное освоение	<b>Знать:</b> принципы организации и проведения экспериментальных исследований; предельные условия при постановке физического эксперимента; числовые характеристики и распределения случайных величин; оценку параметров распределений; проверку статистических гипотез; основы регрессионного анализа; статистические методы; методы системного анализа. <b>Уметь:</b> составлять схемы для проведения экспериментальных исследований; обрабатывать, анализировать, представлять и оформлять результаты экспериментальных исследований. <b>Владеть:</b> навыками выполнения измерений, обработки данных измерительных наблюдений, получения результатов измерений и оценки погрешностей; современными методами и средствами измерения, поверки и контроля с использованием информационных систем; методами анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем.
ОПК-5	частичное освоение	<b>Знать:</b> перечень оборудования на производстве и в лаборатории, обеспечивающего безопасное производство при производстве и исследовании материалов и компонентов нано- и микросистемной техники; основы нанобезопасности. <b>Уметь:</b> оценивать по критериям эффективности и безопасности технические решения по технологии и применению материалов и компонентов нано- и микросистемной техники. <b>Владеть:</b> методами анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем.

ОПК-7	частичное освоение	<p><b>Знать:</b> прикладные программы и средства автоматизированного проектирования, используемые при решении инженерных задач.</p> <p><b>Уметь:</b> проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов.</p> <p><b>Владеть:</b> методиками организации работы персонала, соблюдения технологической и трудовой дисциплины.</p>
ПК-2	частичное освоение	<p><b>Знать:</b> основные методики экспериментальных исследований синтеза и анализа материалов и компонентов нано- и микросистемной техники.</p> <p><b>Уметь:</b> планировать и проводить исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками выбора оптимальных методов проведения исследований материалов и компонентов нано- и микросистемной техники.</p>
ПК-4	частичное освоение	<p><b>Знать:</b> базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства наноматериалов и компонентов.</p> <p><b>Уметь:</b> осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, технологического оборудования.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования.</p>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Методы определения дисперсности материалов и поверхностных свойств.	5	1-12	14	14	28	58	9/16	Рейтинг-контроль №1, Рейтинг-контроль №2
2	Методы определения элементного и фазового состава наноматериалов	5	13-18	4	4	8	59	3/19	Рейтинг-контроль №3
Всего за 5 семестр:		5	18	18	18	36	117	12/16	Экзамен, 27ч.
Наличие в дисциплине КИ/КР									-
Итого по дисциплине		5	18	18	18	36	117	12/16	Экзамен, 27ч.

#### Содержание лекционных занятий по дисциплине

##### Раздел 1. Методы определения дисперсности материалов и поверхностных свойств.

1.1. Классификация наноматериалов по размерам и свойствам. Сопоставление свойствам материалов методы исследования и контроля.

1.2. Методы определение дисперсности материалов: метод газопроницаемости, статические и динамические адсорбционные методы. Световые микроскопы, растровые оптические микроскопы (РОМ).

1.3. Растровая электронная микроскопия. Принцип работы. Схема взаимодействия основных элементов. Разрешающая способность. Влияние рельефа и элементного состава материала на получаемые данные. Стереометрические измерения.

1.4. Зондовая микроскопия: атомно-силовая микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия, электро-силовая микроскопия. Принцип работы. Схема взаимодействия основных элементов. Разрешающая способность.

1.5. Методы дифракции рентгеновских лучей и нейтронов, динамическое рассеяние света.

**Раздел 2. Методы определения элементного и фазового состава наноматериалов.**

2.1. Методы определения элементного состава: химические и физические. Гравиметрический и титриметрический анализ. Спектральные методы: атомно-абсорбционный, рентгеноспектральный, масс-спектральный.

2.2. Методы анализа фазового состава: методы рентгеновской, электронной и нейтронной дифракции.

### **Содержание лабораторных занятий по дисциплине**

Тема 1. Ознакомление с принципами работы оптического микроскопа. Определение дисперсности порошковых материалов

Тема 2. Ознакомление с принципами работы растрового электронного микроскопа на примере прибора Quanta 200 3D. Изучение основных операций в программе управления прибором.

Тема 3. Изучение информативности сигнала истинно вторичных и упруго отраженных электронов в РЭМ изображениях.

Тема 4. Ознакомление с принципами работы атомно-силового микроскопа на примере прибора Ntegra Aura. Изучение основных операций в программе управления прибором Nova. Реализация контактного и прерывисто-контактного режимов сканирования

Тема 5. Получение вольт-амперных характеристик материалов методом СТМ

Тема 6. Исследование приповерхностных свойств при помощи АСМ: электрических, магнитных .

Тема 7. Определение дисперсности частиц коллоидного раствора методом динамического рассеяния света на приборе Horiba.

Тема 8. Изучение изменение оптических свойств наноматериалов в зависимости от размера частиц спектральными методами.

Тема 9. Практические навыки работы на приборе малоуглового рентгеновского рассеяния.

Тема 10. Работа с мировыми банками структурных данных (МИНКРИСТ, Mercury)

### **Содержание практических занятий по дисциплине**

Тема 1. Интегральные характеристики определения дисперсности материалов.

Тема 2. Просвечивающая электронная микроскопия и микроскопия высокого разрешения

Тема 3. Инфракрасная спектроскопия.

Тема 4. Определение химического состава атомно-эмиссионным спектральным методом по атомным спектрам вещества

Тема 5. Химические методы определения элементного состава наноматериалов

Тема 6. Дифракционные методы: рентгеновская, нейтронная, электронная.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В преподавании дисциплины «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- Групповая дискуссия (все практические занятия);
- Разбор конкретных ситуаций (все лекционные и практические занятия).

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **Текущий контроль успеваемости студентов**

#### **Примерный список вопросов к рейтинг-контролю №1**

1. Схема оптического микроскопа и основные параметры.
2. Как формируется зонд в РЭМ.
3. Как выглядит спектр вторичных электронов.
4. Как формируется контраст изображения в истинно вторичных электронах.
5. Определить дифракционный предел РЭМ, чем на самом деле определяется разрешающая способность РЭМ.

#### **Примерный список вопросов к рейтинг-контролю №2**

1. Принцип работы СТМ. Туннельный ток.
2. Силовое взаимодействие зонд-образец в АСМ.
3. Оптическая система регистрации отклонения зонда.
4. Микроскопия латеральных сил.
5. Разрешающая способность АСМ в контактном режиме.
6. Метод фазового контраста.

#### **Примерный список вопросов к рейтинг-контролю №3**

1. Химический метод определения элементного состава.
2. Физический метод определения элементного состава.
3. Гравиметрический метод.
4. Титриметрический метод.
5. Атомно-адсорбционный метод.
6. Рентгеноспектральный метод.
7. Масс-спектрометрия.

### **Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен).**

#### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Как происходит формирование изображения в РЭМ
2. Как происходит формирование изображения в АСМ
3. Чем обусловлена большая глубина фокуса в РЭМ
4. Определение дисперсности по динамическому рассеянию света
5. Какова информативность истинно вторичных электронов
6. Какова информативность упруго отраженных электронов
7. Какие методы позволяют получить распределение наночастиц по размерам
8. Классификация спектрометрии
9. Принцип метода МУР
10. Представить схему эмиссионного спектрального анализа
11. Методы исследования поверхности материалов
12. Анализ траекторий наночастиц, седиментационный анализ, ультразвуковые методы;
13. Рентгенодифракционные методы;
14. Электронная спектроскопия;
15. Колебательная микроскопия;
16. Нейтронная дифрактометрия;
17. Магнитная нейтронография.

#### **Вопросы для контроля самостоятельной работы:**

1. Преимущества и недостатки вибрационных методик.

2. Потенциал Леннарда-Джонса и зависимость сил от расстояния.
3. Резонансная частота кантилевера.
4. Силы, действующие на зонд.
5. Методы математической обработки АСМ изображений.
6. Кривые подвода-отвода.
7. Схема взаимодействия основных элементов СТМ.
8. Калибровка сканера и тестирование зонда.
9. Артефакты сканирования.
10. Оже-спектроскопия.
11. Дифракция медленных электронов.
12. Магнитно-силовая микроскопия.
13. Микроскопия ближнего поля.
14. Просвечивающая электронная микроскопия.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
<b>Основная литература*</b>			
1. Введение в фемтонанوفотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов : учебное пособие // С.М. Аракелян и др.—М.: Логос, 2015.— 744 с.	2015		<a href="http://www.iprbookshop.ru/40504.html">http://www.iprbookshop.ru/40504.html</a>
2. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям : учебное пособие / Е. Д. Мишина, Н. Э. Шерстюк, А. А. Евдокимов [и др.] ; под редакцией А. С. Сигова. — 5-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2017. — 185 с. — ISBN 978-5-00101-473-7.	2017		<a href="http://www.iprbookshop.ru/88492.html">http://www.iprbookshop.ru/88492.html</a>
<b>Дополнительная литература</b>			
1. Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур. Сканирующая зондовая микроскопия. Часть I: учебное пособие/ Филимонова Н.И., Кольцов Б.Б.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013.— 134 с.	2013		<a href="http://www.iprbookshop.ru/45104.html">http://www.iprbookshop.ru/45104.html</a>
2. Сергеев, А. Г. Нанометрология : монография / А. Г. Сергеев. — Москва : Логос, 2012. — 416 с.	2012		<a href="http://www.iprbookshop.ru/9122.html">http://www.iprbookshop.ru/9122.html</a>

### 7.2. Интернет-ресурсы

1. Кристаллографическая и кристаллохимическая база данных для минералов и их структурных аналогов «МИНКРИСТ»// Режим доступа: <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/>
2. Кембриджский банк структурных данных// Режим доступа: [http://webcsd.ccdc.cam.ac.uk/client\\_log\\_in.php?first\\_attempt=1](http://webcsd.ccdc.cam.ac.uk/client_log_in.php?first_attempt=1)

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий *лекционного типа, занятий практического/лабораторного типа,, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.* Практические/лабораторные работы проводятся в 106-3, 107-3, 105-3.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения MS Word, MS Excel, Matlab.

Рабочую программу составил \_\_\_\_\_  
(ФИО, подпись)

Рецензент  
(представитель работодателя) Генеральный директор ООО "ВиджетТех" Александр В. Киселев  
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол № 1 от 02.09.2019 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Протокол № 1 от 02.09.2019 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)



**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочую программу дисциплины

«Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем образовательной»  
программы направления подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
*Подпись* *ФИО*