

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



**УТВЕРЖДАЮ**  
**Проректор**  
**по учебно-методической работе**  
 \_\_\_\_\_ А.А.Панфилов  
 « 14 » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Методы получения наноструктурированных покрытий в машиностроении»**

Направление подготовки 28.03.02 Наноинженерия  
 Профиль/программа подготовки  
 Уровень высшего образования бакалавриат  
 Форма обучения очная

Семестр	Трудоем- кость зач. ед., час	Лек- ций, час.	Практич. занятий, час.	Лаборат. работ, час	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
5	4, 144	18	-	36	45	Экзамен (45ч.)
Итого	4, 144	18	-	36	45	Экзамен (45ч.)

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины «*Методы получения наноструктурированных покрытий в машиностроении*» направлено на достижение следующих целей ОПОП 28.03.02 «Наноинженерия»:

Код цели	Формулировка цели
Ц2	Подготовка выпускников к <i>проектно-конструкторской и проектно-технологической деятельности</i> , включающей в себя участие в составе коллектива исполнителей в проведении расчетных и проектных работ при разработке процессов нанотехнологий

*Целью дисциплины* является изучение теоретических, технологических и экспериментальных основ получения наноструктурированных покрытий в машиностроении. Это подразумевает освоение и решения ряда взаимосвязанных теоретических, научно-исследовательских и практических задач.

*Основными задачами дисциплины являются:*

- получение теоретических навыков и компетенций в области существующих и перспективных технологий получения наноструктурированных и нанопокровтий;
- физико-химических основ получения различных видов покрытий;
- основ математического моделирования данных процессов, анализе новых областей использования покрытий в машиностроении;
- диагностике и испытаниях наноматериалов и наноструктурированных покрытий в машиностроении;
- практических навыков в области получения покрытий.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «*Методы получения наноструктурированных покрытий в машиностроении*» изучается в 5-ем семестре подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 после обязательного прохождения таких дисциплин как «*Основы нанотехнологий в машиностроении*», «*Физико-химические основы нанотехнологий*».

При изучении дисциплины рассматриваются вопросы *теоретического характера*, а именно: классификация методов и технологий получения различных покрытий; обзор физических принципов и основ получения материалов и покрытий в машиностроении; установки для получения покрытий и новых материалов; анализ областей использования наноструктурированных покрытий и объемных материалов в отраслях машиностроения. Большое внимание уделяется изучению современного технологического оборудования для нанесения покрытий и получения покрытий, в том числе для получения декоративных, коррозионно-стойких покрытий, а также покрытий металлообрабатывающего инструмента, оснастки, ответственных деталей.

В рамках изучения дисциплины приобретаются *практические навыки работы* с установками для нанесения покрытий, подготовки поверхностей под напыление механическими, химическими и физическими методами; навыками работы с экспериментальными приборами и установками для проверки физико-механических, химических, структурных и трибологических свойств материалов и покрытий и подготовке образцов для этих исследований; а также навыки работы с полученными изображениями и результатами, компьютерной обработкой результатов.

*Целью дисциплины* является изучение методов и технологий получения новых материалов покрытий в машиностроении, которые носят как теоретический, так и экспериментальный характер. Это подразумевает освоение и решения ряда взаимосвязанных научно-исследовательских и практических задач. *Основными задачами дисциплины являются:*

- получение теоретических навыков и компетенций в области математического описания существующих и перспективных технологий получения наноструктурированных покрытий и материалов;

- физико-химических основ получения наноструктурированных покрытий и материалов;
- основ моделирования данных процессов,
- анализе новых областей использования методов получения наноструктурированных покрытий и материалов для различных применений;
- диагностики и испытаний наноструктурированных покрытий и материалов в машиностроении; практических навыков в области диагностики покрытий и материалов.

Основной упор в курсе делается на научное направление кафедры «*Технологии машиностроения*», а именно «*Наноструктурированные вакуумные покрытия в машиностроении*», а также на работы в НОЦ «Нанотехнологии» ВлГУ.

В рамках данного курса будет рассмотрено устройство и принцип работы установок для получения покрытий различного назначения и принципа действия, методы и технологические процессы получения наноструктурированных покрытий и материалов, будут изучены базовые физические явления, лежащие в основе различных методов получения наноструктурированных материалов и покрытий, представлены примеры использования микроскопии и диагностики для исследования различных наноструктурированных покрытий и материалов. В ходе освоения курса студенты получают реальные практические навыки работы на установках нанесения наноструктурированных покрытий и материалов, сканирующих зондовых микроскопах и проведут измерения различных пленок и покрытий и материалов с нанометровым пространственным разрешением. Особое внимание будет уделено теоретическому и практическому освоению методов математической обработки и количественного анализа изображений с целью тестирования, калотестирования, микроскопии и диагностики наноматериалов. В ходе изучения курса будет проведено несколько семинаров, на которых студенты получают возможность сделать доклады по использованию методов нанесения покрытий для перспективных изделий машиностроения, по исследованию новых перспективных наноструктурированных пленок и наноматериалов, основываясь на статьях ведущих мировых научных изданий и интернет-публикациях.

Для успешного усвоения материала дисциплины необходимо знание общих курсов «*Физики*» из цикла общих математических и естественнонаучных дисциплин. Изучение данной дисциплины также рекомендовано студентам, бакалаврам и магистрам, планирующим использовать разнообразные методы получения вакуумных покрытий при выполнении курсовых и дипломных работ.

В результате изучения дисциплины студенты должны иметь четкое представление об общих принципах работы установок для получения покрытий, технологических процессах получения наноструктурированных покрытий, областях применения наноструктурированных покрытий и материалов в машиностроении и других областях промышленности, методах проверки качества получаемых наноструктурированных покрытий и материалов.

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

После изучения данной дисциплины студент приобретает знания, умения и опыт, соответствующие результатам ОПОП направления 28.03.02:

**Р2, Р5** (расшифровка результатов обучения приводится в ОПОП направления 28.03.02).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты обучения, согласующиеся с формируемыми компетенциями ОПОП:

способностью в составе коллектива исполнителей участвовать в проведении расчетных работ (по существующим методикам) при проектировании нанообъектов и формируемых на их основе изделий (включая электронные, механические, оптические) (ПК-6):

*знать*: основные методы и технологии получения наноструктурированных материалов и покрытий;

*уметь*: в составе коллектива проводить технологические расчеты по получению наноструктурированных материалов и покрытий;

*владеть*: расчетными методики проектирования наноструктурированных материалов и покрытий и технологических процессов их получения;

способностью в составе коллектива исполнителей участвовать в проектных работах по созданию и производству нанообъектов, модулей и изделий на их основе (ПК-7):

*знать*: объем и структуру проектных работ по получению новых наноструктурированных материалов и покрытий;

*уметь*: в составе коллектива под руководством преподавателя или инженера-исследователя составить план работы и исследований по получению наноструктурированного материала или покрытия;

*владеть*: практическими навыками проведения физико-механических и трибологических испытаний наноструктурированного материала или покрытия в составе группы под руководством преподавателя или инженера –исследователя.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часа.

№ п/п	Раздел 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	
				Лекции	Консультации	Семинары	Практические	Лабораторные	Контрольные	СРС			КП / КР
1.	<b>Раздел 1. Введение в курс. Классификация наноструктурированных покрытий и материалов.</b>	5	1-6	6				12		15		9/50%	<i>Рейтинг-контроль №1</i>
1.1	Общая характеристика покрытий и материалов в машиностроении и способов их получения.		1-2	2				4		5		3/50%	
1.2	Методы получения объемных наноматериалов.		3-4	2				4		5		3/50%	
1.3	Общие требования к ТП нанесения наноструктурированных покрытий.		5-6	2				4		5		3/50%	
2.	<b>Раздел 2. Технологии формирования слоев нанометровой толщины в покрытиях и объемных материалах.</b>		7-12	6				12		15		9/50%	
2.1	Физические основы эпитаксии нанометровых слоев. Принципы работы установок для получения нанометровых слоев в вакууме	7-8	2				4		11		3/50%		
2.2	Физические основы получения нанометровой структуры в объемных материалах методами ИПД	9-10	2				4		2		3/50%		
2.3	Устройство и составные элементы установок для получения нанометровых структур	11-12	2				4		2		3/50%		
3.	<b>Раздел 3. Разработка</b>	13	6				12		15		6/50%	<i>Рейтинг-</i>	

	<b>технологических процессов (ТП) и исследование покрытий и объемных материалов для машиностроительных применений.</b>		<b>- 18</b>										<i>контроль №3</i>	
3.1	Разработка вакуумных ТП получения 2D/3D PVD-покрытий.		13 - 14	2				4		5			2/50%	
3.2	Разработка ТП получения объемных наноструктурированных материалов.		15 - 16	2				4		5			2/50%	
3.3	Методы исследования наноструктурированных материалов и покрытий для машиностроительных применений.		17 - 18	2				4		5			2/50%	
<b>Всего</b>				<b>18</b>				<b>36</b>		<b>45</b>			<b>18/50%</b>	<b>Экзамен (45ч.)</b>

## Тематический план лекций

### **Раздел 1. Введение в курс. Классификация наноструктурированных покрытий и материалов.**

Тема 1-1. Общая характеристика покрытий и материалов в машиностроении и способов их получения.

Покрытия в машиностроении. Общая характеристика покрытий и способов их нанесения. Требования, предъявляемые к поверхности. Классификация процессов нанесения металлических покрытий. Основные методы нанесения. Схемы процессов и основные параметры нанесения металлических покрытий (цинковых, алюминиевых, оловянных, хромсодержащих, пакированных) Основные и общие параметры технологических процессов и их влияние на эффективность процесса. Способы и технологические особенности отдельных видов получения металлических покрытий. Функциональные схемы установок получения полимерных покрытий. Лакокрасочные покрытия и их способы нанесения. Общие требования, предъявляемые к установкам. Обзор установок для различных видов покрытий. Общие сведения о подготовке поверхности. Механические и химические способы обработки. Принципы работы ультразвуковых, песко-и гидроструйных установок. Схемы шлифования и полирования. Обезжиривание и травление.

Тема 1-2. Методы получения объемных наноматериалов.

Рассмотрены особенности получения объемных материалов с наноструктурированными слоями с помощью методов интенсивной пластической деформации и литья.

Тема 1-3. Общие требования к ТП нанесения наноструктурированных покрытий.

Рассматриваются общие подходы и требования к ТП получения наноструктурированных покрытий. Механические и химические способы снятия покрытий. Принципы работы установок для снятия покрытий.

### **Раздел 2. Технологии формирования слоев нанометровой толщины в покрытиях и объемных материалах.**

Тема 2-1. Физические основы эпитаксии нанометровых слоев. Принципы работы установок для получения нанометровых слоев в вакууме. Основные параметры поверхности. Сведения о топологии поверхностей. Виды неоднородностей и дефектов на поверхности. Их роль и механизм формирования покрытий. Изменение строения приповерхностных слоев при образовании поверхности. Атомные конфигурации поверхности возможные варианты расположения присоединяющихся атомов при формировании слоя покрытия. Химическая неоднородность поверхности. Основы понятия химической неоднородности. Химическая активность вещества. Тема 2-2. Физические основы получения нанометровой структуры в объемных материалах методами ИПД.

Напряженно-деформированное состояние материала при различных методах ИПД. Изменение структуры материала при ИПД,

Тема 2-3. Устройство и составные элементы установок для получения нанометровых структур.

Дается обзор установок для получения нанометровых структур, схемы и принципы работы подобных агрегатов.

### **Раздел 3. Разработка технологических процессов (ТП) и исследование покрытий и объемных материалов для машиностроительных применений.**

Тема 3-1. Разработка вакуумных ТП получения 2D/3D PVD-покрытий.

Основные технологические параметры ТП. Варьируемые и постоянные параметры ТП.

Тема 3-2. Разработка ТП получения объемных наноструктурированных материалов.

Основные технологические параметры ТП. Варьируемые и постоянные параметры ТП.

Тема 3-3. Методы исследования наноструктурированных материалов и покрытий для машиностроительных применений

Оценка качества получаемых наноструктурированных материалов и покрытий.

## **Лабораторные работы**

Тематика лабораторных работ:

*Раздел 1. Классификация методов получения покрытий и способов подготовки поверхности.*

1. Покрытия в машиностроении. Общая характеристика покрытий и способов их нанесения.
2. Методы подготовки поверхности для нанесения покрытий.
3. Методы снятия покрытий.

*Раздел 2. Физико-химические основы получения наноструктурированных покрытий в машиностроении.*

4. Строение и свойства поверхности. Неоднородности на поверхности. Их роль в формировании покрытий.
5. Дефекты поверхности. Их роль в формировании покрытий.
6. Химическая неоднородность поверхности.
7. Поверхностная энергия кристаллов и ее роль при нанесении покрытий.

*Раздел 3. Технологические процессы получения наноструктурированных покрытий в машиностроении.*

8. Процессы, протекающие при взаимодействии поверхности с внешней средой. Основные понятия процессов адсорбации.
9. Физические методы нанесения покрытий.
10. Химические методы нанесения покрытий.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Дисциплина «Методы получения наноструктурированных покрытий в машиностроении» включает в себя лекционные и практические занятия и в комплексе данных занятий обеспечивает у студентов требуемые компетенции.

*Лекционные занятия* проводятся в форме лекций, как в традиционной форме, так и с использованием презентаций и видеороликов, мультимедийных фильмов.

Для лабораторных работ:

Предусмотрен мастер-класс со специалистами в области наноизмерений (атомно-силовая и электронная микроскопия, наноиндентирование), получения нанотрубок и нановолокон, наноструктурных покрытий.



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

### *Вопросы для рейтинг-контроля №1*

1. Покрытия в машиностроении. Общая характеристика покрытий и способов их нанесения.
2. Требования, предъявляемые к поверхности. Классификация процессов нанесения металлических покрытий.
3. Основные методы нанесения покрытий. Схемы процессов и основные параметры нанесения металлических покрытий (цинковых, алюминиевых, оловянных, хромсодержащих, пакированных).
4. Основные и общие параметры технологических процессов и их влияние на эффективность процесса. Способы и технологические особенности отдельных видов получения металлических покрытий.
5. Функциональные схемы установок получения полимерных покрытий.
6. Общие требования, предъявляемые к установкам.
7. Обзор установок для различных видов покрытий.
8. Общие сведения о подготовке поверхности. Механические и химические способы обработки.
9. Принципы работы ультразвуковых, песко-и гидроструйных установок.
10. Схемы шлифования и полирования. Обезжиривание и травление.
11. Особенности получения объемных материалов с наноструктурированными слоями с помощью методов интенсивной пластической деформации.
12. Особенности получения объемных материалов с наноструктурированными слоями с помощью методов литья.

### *Вопросы для рейтинг-контроля №2*

1. Физические основы эпитаксии нанометровых слоев.
2. Принципы работы установок для получения нанометровых слоев в вакууме.
3. Основные параметры поверхности. Сведения о топологии поверхностей.
4. Виды неоднородностей и дефектов на поверхности. Их роль и механизм формирования покрытий.
5. Изменение строения приповерхностных слоев при образовании поверхности.
6. Атомные конфигурации поверхности возможные варианты расположения присоединяющихся атомов при формировании слоя покрытия.
7. Химическая неоднородность поверхности. Основы понятия химической неоднородности. Химическая активность вещества.
8. Физические основы получения нанометровой структуры в объемных материалах методами ИПД.
9. Напряженно-деформированное состояние материала при различных методах ИПД. Изменение структуры материала при ИПД.
10. Устройство и составные элементы установок для получения нанометровых структур.
11. Схемы и принципы работы подобных агрегатов для получения нанометровых структур.

### *Вопросы для рейтинг-контроля №3*

1. Общие подходы и требования к ТП получения наноструктурированных покрытий.
2. Механические и химические способы снятия покрытий.
3. Принципы работы установок для снятия покрытий.
4. Разработка вакуумных ТП получения 2D/3D PVD-покрытий.

5. Основные технологические параметры ТП получения покрытий. Варьируемые и постоянные параметры ТП.
6. Разработка ТП получения объемных наноструктурированных материалов Основные технологические параметры ТП. Варьируемые и постоянные параметры ТП.
7. Методы исследования наноструктурированных материалов и покрытий для машиностроительных применений
8. Оценка качества получаемых наноструктурированных материалов и покрытий.

### **Вопросы к экзамену**

1. Покрытия в машиностроении. Общая характеристика покрытий и способов их нанесения.
2. Требования, предъявляемые к поверхности. Классификация процессов нанесения металлических покрытий.
3. Основные методы нанесения покрытий. Схемы процессов и основные параметры нанесения металлических покрытий (цинковых, алюминиевых, оловянных, хромсодержащих, пакированных).
4. Основные и общие параметры технологических процессов и их влияние на эффективность процесса. Способы и технологические особенности отдельных видов получения металлических покрытий.
5. Функциональные схемы установок получения полимерных покрытий.
6. Общие требования, предъявляемые к установкам.
7. Обзор установок для различных видов покрытий.
8. Общие сведения о подготовке поверхности. Механические и химические способы обработки.
9. Принципы работы ультразвуковых, песко-и гидроструйных установок.
10. Схемы шлифования и полирования. Обезжиривание и травление.
11. Особенности получения объемных материалов с наноструктурированными слоями с помощью методов интенсивной пластической деформации.
12. Особенности получения объемных материалов с наноструктурированными слоями с помощью методов литья.
12. Физические основы эпитаксии нанометровых слоев.
13. Принципы работы установок для получения нанометровых слоев в вакууме.
14. Основные параметры поверхности. Сведения о топологии поверхностей.
15. Виды неоднородностей и дефектов на поверхности. Их роль и механизм формирования покрытий.
16. Изменение строения приповерхностных слоев при образовании поверхности.
17. Атомные конфигурации поверхности возможные варианты расположения присоединяющихся атомов при формировании слоя покрытия.
18. Химическая неоднородность поверхности. Основы понятия химической неоднородности. Химическая активность вещества.
19. Физические основы получения нанометровой структуры в объемных материалах методами ИПД.
20. Напряженно-деформированное состояние материала при различных методах ИПД. Изменение структуры материала при ИПД.
21. Устройство и составные элементы установок для получения нанометровых структур.
22. Схемы и принципы работы подобных агрегатов для получения нанометровых структур.
23. Общие подходы и требования к ТП получения наноструктурированных покрытий.
24. Механические и химические способы снятия покрытий.
25. Принципы работы установок для снятия покрытий.
26. Разработка вакуумных ТП получения 2D/3D PVD-покрытий.
27. Основные технологические параметры ТП получения покрытий. Варьируемые и постоянные параметры ТП.

28. Разработка ТП получения объемных наноструктурированных материалов Основные технологические параметры ТП. Варьируемые и постоянные параметры ТП.
29. Методы исследования наноструктурированных материалов и покрытий для машиностроительных применений
30. Оценка качества получаемых наноструктурированных материалов и покрытий.

### **Самостоятельная работа студентов**

Темы рефератов по разделу 1:

1. Классификация нанотехнологий и наноразмерных объектов.
2. Состояние и перспективы применения нанотехнологий для машиностроения.
3. Фуллерены.
4. Нановолокна и нанотрубки.
5. Перспективы использования графена.
6. Нанопокрытия для режущего инструмента.
7. Нанопокрытия в изделиях машиностроения.
8. Объемные наноматериалы в машиностроении.
9. Перспективы нанотехнологий в системах записи и хранения информации.
10. Типы структур наноматериалов.
11. Композитные наноматериалы.

Темы рефератов по разделу 2:

1. Обзор электронных микроскопов.
2. Просвечивающая электронная микроскопия.
3. Растровая сканирующая электронная микроскопия.
4. Сканирующая зондовая микроскопия.
5. Методы поверхностных наноизмерений.
6. Современные устройства атомно-силовой микроскопии.
7. Устройства для дифракционного анализа.
8. Спектральные методы оценки наноструктур.
9. Рентгеновские методы оценки наноструктур.
10. Наноиндентирование.

Темы рефератов по разделу 3:

1. Размерная нанообработка на станках ЧПУ. Классификация.
2. Обзор оборудования для размерной нанообработки.
3. Нанолитография.
4. Нанопорошки и их использование в машиностроении.
5. Основные типы устройств для наноперемещений.
6. Наноактуаторы и нанопозиционеры.
7. Нанороботы и наноманипуляторы.
8. Методы нанесения нанопокровов.
9. Получение алмазоподобных наноструктурированных покрытий.
10. Наномшины.
11. Многофункциональные наноструктурированные пленки.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

*а) основная литература (библиотечная система ВлГУ):*

1. Основы нанотехнологий [Электронный ресурс] / Головин Ю.И. - М.: Машиностроение, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785942756628.html>.
2. Материалы и методы нанотехнологий [Электронный ресурс] / Старостин В.В. - М.: БИНОМ, 2015. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996326013.html>.
3. Методы получения и свойства нанобъектов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Н.И. Минько, В.В. Строкова, И.В. Жерновский, В.М. Нарцев. - 2-е изд., стер. - М.: ФЛИНТА, 2013. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976503267.html>.
4. Металловедение тугоплавких металлов и сплавов на их основе: учеб. пособие для вузов. - М.: Машиностроение, 2013. - 156 с., ил. - ISBN 978-5-94275-720-5. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785942757205.html>.
5. Лепешев, А.А. Плазменное напыление аморфных и нанокристаллических материалов [Электронный ресурс]: монография / А.А. Лепешев. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. - 224 с. - ISBN 978-5-7638-2803-0. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=492492>.

*б) дополнительная литература (библиотечная система ВлГУ):*

1. Морозов В.В. Нанотехнологии в керамике: монография: в 2 ч. / В.В. Морозов, Э.П. Сысоев; Владимирский государственный университет (ВлГУ). — Владимир: Владимирский государственный университет (ВлГУ), 2010-2011. — ISBN 978-5-9984-0075-9. Ч. 1: Наночастицы [Электронный ресурс]. — Электронные текстовые данные (1 файл: 18,5 Мб). — 2010. — 274 с.: ил. — Заглавие с титула экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Библиогр.: с. 262-269. — Свободный доступ. — Adobe Acrobat Reader 4.0. — ISBN 978-5-9984-0056-8. — [URL:http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3076/1/00687.pdf](http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3076/1/00687.pdf).
2. Морозов В.В. Нанотехнологии в керамике: монография: в 2 ч. / В.В. Морозов, Э.П. Сысоев; Владимирский государственный университет (ВлГУ). — Владимир: Владимирский государственный университет (ВлГУ), 2010-2011. — ISBN 978-5-9984-0075-9. Ч. 2: Нанопленки, нанопокртия, наномембраны, нанотрубки, наностержни, нанопроволока [Электронный ресурс]. — Электронные текстовые данные (1 файл: 24,9 Мб). — 2011. — 167 с.: ил. — В надзаг.: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. — Заглавие с титула экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Библиогр.: с. 159-165. — Свободный доступ в электронных читальных залах библиотеки. — Adobe Acrobat Reader. — ISBN 978-5-9984-0137-4. — [URL:http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3055/1/00633.pdf](http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3055/1/00633.pdf).
3. Нанотехнологии и специальные материалы: Учебное пособие для вузов. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2009. - 336 с.: ил. - ISBN 978-5-93808-177-2. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081772.html>.
4. Витязь, П.А. Основы нанотехнологий и наноматериалов [Электронный ресурс]: учеб. пос. / П.А. Витязь, Н.А. Свидуневич. - Минск: Выш. шк., 2010. - 302 с. - ISBN 978-985-06-1783-5. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081772.html>.
5. Микроструктуры, наноструктуры и гидродинамические неустойчивости, индуцированные лазерным излучением на поверхности твердых тел: монография / С.М. Аракелян [и др.]; Владимирский государственный университет (ВлГУ). — Владимир: Владимирский государственный университет (ВлГУ), 2010. — 144 с. — ISBN 978-5-9984-0094-0. Режим доступа: <http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3067/1/00698.pdf>.
6. Физико-химические основы создания активных материалов: учебник / Куприянов М.Ф., Кабиров Ю.В., Рудская А.Г. - Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2011. - 278 с. ISBN 978-5-9275-0847-1. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=556287>.

7. Барыбин, А.А. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / А.А. Барыбин, В.А. Бахтина, В.И. Томилин, Н.П. Томилина. – Красноярск: СФУ, 2011. - 236 с. - ISBN 978-5-7638-2396-7. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=441543>.

*в) периодические издания (библиотека ВлГУ):*

1. Нанотехнологии: наука и производство: информационно-аналитический журнал. — Москва: Образование плюс.
2. Российские нанотехнологии. — Москва: Парк-медиа.
3. Нанотехнологии: разработка и применение: научно-технический журнал. — Москва: Сайнс-Пресс.

*г) Интернет-ресурсы*

<a href="http://www.portalnano.ru/">http://www.portalnano.ru/</a>	<a href="http://www.ru-tech.ru/pub/nano">http://www.ru-tech.ru/pub/nano</a>
<a href="http://www.ntsrf.info/">http://www.ntsrf.info/</a>	<a href="http://www.nanotech.ru/">http://www.nanotech.ru/</a>
<a href="http://www.nanonewsnet.ru/">http://www.nanonewsnet.ru/</a>	<a href="http://nano-info.ru/">http://nano-info.ru/</a>
<a href="http://www.rusnanoforum.ru/">http://www.rusnanoforum.ru/</a>	<a href="http://www.iacnano.ru/">http://www.iacnano.ru/</a>
<a href="http://www.nanometer.ru/">http://www.nanometer.ru/</a>	<a href="http://www.nanoprom.net/">http://www.nanoprom.net/</a>
<a href="http://www.rusnano.com">www.rusnano.com</a>	<a href="http://www.nanobusiness.fi/">http://www.nanobusiness.fi/</a>

#### **Учебно-методические издания**

1. Жданов А.В. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Методы получения наноструктурированных покрытий в машиностроении» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
2. Жданов А.В. Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Методы получения наноструктурированных покрытий в машиностроении» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
3. Жданов А.В. Оценочные средства по дисциплине «Методы получения наноструктурированных покрытий в машиностроении» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>

#### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

- 1) Портал Центр дистанционного обучения ВлГУ [электронный ресурс] / - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
- 2) Раздел официального сайта ВлГУ, содержащий описание образовательной программы [электронный ресурс] / - Режим доступа: Образовательная программа 28.03.02 «Наноинженерия» <http://op.vlsu.ru/index.php?id=169>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для обеспечения учебного процесса по дисциплине «Методы получения наноструктурированных материалов и покрытий в машиностроении» предусмотрено использование следующих лабораторий.

### 1. Лаборатория нанодиагностики и фемтосекундной лазерной техники (ауд. 118-4).

*Краткая характеристика помещения:*

Общая площадь – 102 кв.м (2 этажа). 1 этаж – лабораторное и производственное оборудование (67 кв.м), компьютерный класс на 16 посадочных мест; 2 этаж – вспомогательные помещения, кондиционер. Соответствуют нормам СанПиН 2.2.1./2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.4.548-96, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, СанПиН 2.4.3.1186-03, ППБ 01-03, СНИП 21-01-97, СНИП 23-05, НПБ 104-03

*Оборудование:*

1) Чистая комната:

2) установка фемтосекундная лазерная "упорядоченного наноструктурирования" (РФ):

- имеет 3 рабочих длины волны, ультрафиолет, зеленый, и инфракрасный луч.
- 2 участка обработки (100x100 мм; 20x20 мм с возможностью позиционирования с точностью до 2 нм)
- диаметр пучка около 60 микрометров в случае поля 100x100 мм
- диаметр пучка от 0,5 микрометров (зависит от используемого объектива)
- возможность обработки и диагностики проводящих, диэлектрических, прозрачных, непрозрачных материалов.

3) зондовая лаборатория "Интегра спектра" (РФ)

Уникальная интеграция Сканирующего Зондового Микроскопа с конфокальной микроскопией/спектроскопией люминесценции и комбинационного рассеяния (КР). Благодаря эффекту гигантского усиления КР позволяет проводить КР спектроскопию и получать изображения с разрешением в плоскости до 50 нм.

Система для конфокальной оптической микроскопии представляет собой комбинированную систему, включающую конфокальный сканирующий лазерный спектрометр высокого пространственного разрешения, оптический микроскоп и универсальный сканирующий зондовый микроскоп. Система способна работать в режиме регистрации пространственного, трехмерного распределения спектров люминесценции и комбинационного рассеяния света, а также в различных режимах сканирующей зондовой микроскопии, включая наноиндентацию, наноманипуляцию и нанолитографию.

Система для сканирующей зондовой микроскопии. Одновременно с оптическим наблюдением, ИНТЕГРА Спектра позволяет исследовать объект с помощью арсенала методов сканирующей зондовой микроскопии — АСМ, МСМ, СТМ, сканирующей ближнепольной микроскопии, силовой спектроскопии. Уникальное совмещение оптических и зондовых методов в одном приборе позволяет ставить комплексные эксперименты, в которых информация о распределении оптических свойств образца и его химического состава может быть наложена на распределение его механических, электрических, магнитных и других свойств.

Система для исследования оптических свойств объекта за пределом дифракции (флуоресценция, спектроскопия комбинационного рассеяния). Отличительной чертой Нанолaborатории ИНТЕГРА Спектра является возможность исследовать оптические свойства объектов за пределом дифракционных ограничений. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия и эффекты локального усиления комбинационного рассеяния (TERS — tip enhanced Raman scattering), дают возможность картировать распределение оптических свойств (пропускание, рассеяние, поляризация света и др.), а также осуществлять спектроскопию комбинационного рассеяния с разрешением до 50 нм в плоскости XY.

**Особенности**

- Острые АСМ зонда и фокус лазерного пучка могут быть спозиционированы друг относительно друга с высокой точностью (необходимо для получения максимального эффекта КР-TERS).
- При использовании оптической схемы "на просвет" высокотемпературный объектив жестко встроен в основание АСМ. Это обеспечивает долговременную стабильность системы, необходимую для работы со слабыми сигналами.
- Часть отраженного излучения используется для построения конфокального лазерного отражения.
- Низкошумящая ССD камера с охлаждением до  $-70^{\circ}\text{C}$  (квантовая эффективность до 90%) служит высокочувствительным детектором.
- В качестве альтернативного детектора можно использовать лавинный фотодиод.
- Гибкий выбор поляризационных устройств.
- Все компоненты системы (АСМ, оптические и механические устройства) интегрированы с помощью единого программного обеспечения. большинство ключевых узлов и устройств системы (лазеры, решетки, диафрагмы, поляризаторы и т.д.) можно выбирать и / или настраивать прямо из программы.
- Три разных схемы для работы с TERS.

Применяется для исследования биологических объектов, контроля качества поверхностей оптических деталей, излучающих полупроводниковых структур, характеристик нанооптических и интегрально-оптических элементов, исследования характеристик нанoeлектронных элементов, в частности, спектров квантовых точек.

- Исследование соединительной ткани, ДНК, вирусов.
- Определение характеристик оконечных оптических устройств.
- Спектроскопические измерения.
- Контроль химических реакций.

#### 4) дифрактометр малоуглового рассеяния SAXSess

Предназначен для анализа тонких пленок или жидкостей, может строить кристаллические решетки вещества, определять размер частиц от 10 до 100 нанометров в растворе. SAXSess позволяет исследовать нанометровые структуры от 0.2 нм до 150 нм. SAXSess может работать в режиме линейной коллимации для быстрого сбора данных изотропных образцов и в режиме точечной коллимации для изучения анизотропных (ориентированных) образцов. Две системы могут работать одновременно в режимах линейной и точечной коллимации, используя один рентгеновский источник и одну систему детектирования. Широкий набор держателей образцов позволяют исследовать практически любые типы образцов от очень низких до высоких температур. Система TrueSWAXS™ делает возможным получение информации о наноструктуре и фазовом состоянии образца за одно измерение. Системы детектирования SAXSess не нуждаются в сервисном обслуживании и обеспечивают превосходное разрешение. Быстрый сбор и совершенная обработка экспериментальных данных. Система SAXSess включает в себя специальный пакет программного обеспечения для быстрого сбора и всесторонней обработки данных. Источник рентгеновского излучения используемый в SAXSess имеет следующие особенности: долговременная стабильность работы и минимальную стоимость эксплуатации. Современная многослойная фокусирующая оптика обеспечивает высокоинтенсивный монохроматический рентгеновский пучок. Улучшенная система блока коллимации даёт сформированный первичный рентгеновский пучок и эффективно убирает паразитное рассеяние. Она определяет разрешение системы и гарантирует низкий фон. температура очень точно контролируется в диапазоне от  $-150$  до  $300^{\circ}\text{C}$ . Существует большой выбор держателей под самые разные типы образцов. Полупрозрачный отсекающий первичного пучка позволяет точно определить нулевой угол рассеяния и измерить интенсивность первичного пучка для определения коэффициента пропускания образца можно получать данные о мало- и широкоугловом рассеянии за одно измерение на одном и том же образце. Система SAXSess предлагает две высококлассные системы детектирования, которые можно использовать альтернативно на одном приборе SAXSess без необхо-

димости изменения его настроек или конфигурации: • Система детектирования чувствительными пластинами обладает широким линейным динамическим диапазоном и покрывает углы рассеяния 2 до 40°. • Система детектирования CCD даёт возможность проводить автоматизированные измерения SAXS и измерения онлайн процессов во времени. Мощное и простое в работе программное обеспечение. Вместе с прибором SAXSess поставляется мощный пакет программ для сбора и оценки данных малоуглового рентгеновского рассеяния (SAXS). Оценка данных включает базовую обработку данных (получение средних значений, вычитание фона и т.д.), моделирование, устранение размытий и аппроксимацию.

#### *5) Двухлучевой сканирующий УФ/Вид спектрофотометр LAMBDA 25*

Двухлучевые сканирующие УФ/Вид спектрофотометры для рутинных и автоматических измерений. Эти приборы предназначены для различных промышленных, учебных, биологических и биохимических лабораторий и лабораторий по контролю окружающей среды. Они отличаются высокой стабильностью, гибкостью в выборе методов анализа, удобством представления и обработки полученных данных.

Ключевые особенности спектрофотометров серии Lambda:

Широкий выбор методов измерения – сканирование по длине волны, сканирование по времени (кинетические исследования) и количественный анализ (фотометрия)

Двухлучевая оптическая схема – высокие технические характеристики, точность и воспроизводимость получаемых данных

Высокая фотометрическая точность и низкий уровень шума – правильные и надежные результаты измерений при низких концентрациях аналита

Низкий уровень рассеянного света – измерения при высоких оптических плотностях

Встроенная система поверки прибора (IPV) – тестирование спектрофотометра на соответствие техническим характеристикам и требованиям GLP

Lambda 25 – спектрофотометр с фиксированной спектральной шириной щели 1 нм, соответствующий требованиям Американской, Европейской и другим национальным фармакопеям. Управление приборами, получение и обработка данных осуществляется с персонального компьютера с помощью ПО UV WinLab

Приборы могут комплектоваться кюветами различной длины и объема, системами автоматической смены кювет и термостатирования кювет (водяное и Пельтье); авто-дозатором, держателями для твердых образцов и гелей, интегрирующей сферой и волоконно-оптической системой для дистанционного анализа, приставками для анализа зеркального отражения и другими приставками и аксессуарами. Кроме того, на базе спектрофотометров могут быть сконфигурированы специальные системы для анализа растворимости лекарственных препаратов и проточно-инжекционная система для непрерывного поточного анализа.

#### *б) Многофункциональный планшетный анализатор VICTOR X3 (PerkinElmer)*

Многофункциональные анализаторы предназначены для различных видов детекции оптических сигналов в планшетном формате, за исключением радиометрических методов: фотометрия; УФ-фотометрия; флюоресценция; флюоресценция с разрешением по времени; поляризационная флюоресценция; люминесценция; AlphaScreen; Label-Free. Анализаторы PerkinElmer обладают превосходной чувствительностью, гибкостью по предлагаемым конфигурациям под различные пользовательские задачи и многофункциональностью, непревзойденными техническими характеристиками. Анализаторы PerkinElmer широко известны во всем мире и завоевали неоспоримую репутацию. Анализаторы могут использоваться как для рутинных лабораторных исследований в научных и медицинских лабораториях, так и для высокопроизводительных приложений в фармацевтических и биотехнологических лабораториях. Области применения: молекулярная и клеточная биология; генетический анализ и генотипирование; иммуноферментный анализ и ферментативные реакции; анализ активности рецепторов и молекулярных взаимодействий; квантификация; токсикологические и бактериологические исследования и т.д.



Анализаторы могут работать как самостоятельно, так и в составе многофункциональных роботизированных комплексов.

Технологии детекции *Флюоресценция*: Измерение соотношения флюоресценции на двух длинах волн, Измерение флюоресценции снизу и сверху планшеты; *Поляризационная флюоресценция*; *Флюоресценция, отсроченная по времени (TRF)*: Двухоконная TRF, Измерение эмиссии на двух длинах волн; *Люминесценция*: Постоянная люминесценция (Glow), Импульсная люминесценция (Flash), Двойная (комбинированная) люминесценция; *Фотометрия в видимой области*; *УФ-фотометрия*

*Формат планшет*: 1 - 1536-луночные планшеты *Встроенный шейкер*: три режима: линейный орбитальный, двойной орбитальный *Встроенный температурный контроль*: от + 2°C выше тем-ры окр. среды до 50°C *Опции*: диспенсеры 1-4 канала; стекеры на 20 или 50 планшет; считыватель штрих-кодов; различные фильтры; ФЭУ красной области спектра для усовершенствования работы по технологиям LANCE и TR-FRET.

## 2. Лаборатория рентгеновской диагностики материалов (ауд. 108-4)

*Оборудование:*

### 1) Рентгеновский дифрактометр Bruker D8 ADVANCE

D8 ADVANCE – это самый современный, на сегодняшний день, лабораторный дифрактометр из представленных на рынке. D8 ADVANCE позволяет решать практически весь комплекс существующих задач в области порошковой дифрактометрии. В приборе реализована принципиально новая концепция построения модульных систем DAVINCI.DESIGN, которая существенно упрощает процесс конфигурирования дифрактометра. Переход от геометрии Брегг-Брентано к параллельно-лучевой оптике происходит максимально быстро благодаря новой рентгенооптической TWIN-системе, в которой совмещены традиционные щели и зеркало Гёбеля, переключение между которыми происходит автоматически. Новая рентгеновская TWIST-трубка позволяет осуществлять переключение между точечным и линейным фокусом.

Дифрактометр D8 ADVANCE дает возможность проводить исследования материалов в различных условиях: охладить до температуры 10 К, нагревать до 2000°C, создавать условия с повышенной влажностью. При анализе в комнатных условиях специальные загрузчики образцов позволяют автоматизировать процесс измерения.

Важной составляющей частью современного дифрактометра является детектор. Решения от Bruker AXS включают в себя полный спектр точечных и позиционно-чувствительных детекторов. В дифрактометре D8 ADVANCE можно использовать энергодисперсионный детектор нового поколения SOL-XE и уже зарекомендовавшие себя в различных дифрактометрах от Bruker AXS динамические сцинтилляционные детекторы и линейные детекторы LynxEye и VANTEC-1.

- Качественный и количественный анализ кристаллических фаз.
- Структурный анализ.
- Определение размеров кристаллитов.
- Анализ структурных изменений кристаллических фаз при изменении температуры, влажности и давления с использованием соответствующих камер.
- Быстрый анализ с применением позиционно-чувствительного детектора.
- Автоматический режим сбора данных и дальнейшая обработка результатов программным пакетом DIFFRAC<sup>P</sup>.

### 2) Рентгенофлюоресцентный спектрометр ARL ADVANT X Thermo Scientific (USA)

Технические характеристики:

- высокоэффективная рентгеновская трубка 4-го поколения с Rh анодом и тонким торцевым Be окном (0,075 мм);
- максимальная мощность 5 кВт;
- пропорциональный проточный детектор (3000 имп/сек);
- системы вращения проб и программируемых коллиматорных масок;
- диапазон анализируемых концентраций от 0,0001 до 100 %;

- двухкоординатный пробоподатчик на 98 кодированных позиций для проб в кассетах.

Направления использования:

- элементный анализ от Ве до U (от ppb до 100%) образцов в виде металлов, прессованного и свободного порошка, стёкол и жидких проб;
- анализ масел, полимеров, цемента, горных пород, стёкол, металлов, руд, огнеупоров, геологических материалов.

### **3. Лаборатория 2D- и 3D наноструктурированных покрытий (ауд. 119-4).**

*Краткая характеристика помещения:*

Общая площадь – 102 кв.м (2 этажа). 1 этаж – лабораторное и производственное оборудование (67 кв.м), 2 этаж – учебный класс на 15 посадочных мест (36 кв.м). Соответствуют нормам СанПиН 2.2.1./2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.4.548-96, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, СанПиН 2.4.3.1186-03, ППБ 01-03, СНИП 21-01-97, СНИП 23-05, НПБ 104-03.

*Оборудование:*

1. Установка для нанесения наноструктурированных покрытий UniCoat 600SL+; Производитель – РФ, год выпуска - 2008.

Установка для нанесения покрытий методом PVD с максимальной толщиной многослойного сэндвич-покрытия до 20 мкм на весь диапазон используемого концевой инструмента с системой визуализации, управления и термометрирования технологического процесса в течение всего цикла изготовления. Основные типы покрытий: традиционные покрытия – TiN, TiCN, Ti-C:H; 3D-нанокompозитные покрытия; 2D-нанокompозитные покрытия и пленки (в том числе алмазоподобные)- суперлаттики. Соответствует требованиям ОСТ 107.444.0001.004 ПДИР440310.002ТУ.

*Основные технические характеристики:* размер мишеней, мм - 492x78 , ширина зоны эффективного распыления мишени, мм – 72; габаритные размеры магнетронов, мм - 550x105x60; - возможность работы каждой пары в дуальном режиме; количество магнетронов, шт. – 4; выходная мощность, кВт - 2x12; выходной ток, А - 0.5-20; блок питания магнетронов импульсный с задаваемой частотой 0.1-40 кГц, оснащен системой стабилизации параметров и системой дугогашения; возможность работы блока в дуальном режиме и независимой работы каждого канала; диаметр инструмента, мм - от 2 до 200 мм; размеры вакуумной камеры, мм – 600 x 600 x 600.

2. Стационарная установка для измерения микротвердости HVS 1000.

Производитель – Тайвань. Предназначен для измерения микротвердости в том числе и покрытий.

3. Испытательная система на растяжение термокамерой WDW-100.

Жесткость силовой рамы: 100 кН/мм, Наибольшая предельная нагрузка: 100 кН (10 тс); Тип привода: электромеханический, Точность измерения нагрузки:  $\pm 1,0\%$  (по заказу 0,5%), Диапазон измерения нагрузки: 400 Н ~ 100 кН; (0.4%-100% полной шкалы, автоматически переключаемые шкалы), 6 шкал, Разрешение нагрузки: 0,001% FS , Диапазон измерения деформации: 2 – 100%, Точность измерения деформации:  $\pm 1,0\%$ .

4. Калотестер CSM CAT (Модель CAT-S-AE), Производитель: CSM (Швейцария).

5. Микрокомбитестер CSM MCT Производитель: CSM (Швейцария).

6. Трибометр CSM (Модель TRB-S-CE-000) Производитель: CSM (Швейцария).

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС  
ВО по направлению 28.03.02 «Наноинженерия»

Рабочую программу составил к.т.н., доцент Жаанов А.В.  
(ФИО, подпись)

Рецензент (представитель работодателя):  
ЗАО «Рост-Плюс», генеральный директор

Заморников А.А.

(место работы, должность, ФИО, подпись)



Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Технология машиностроения

Протокол № 5/1 от 14.01.2016 года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В.

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 28.03.02 «Наноинженерия»

Протокол № 5/1 от 14.01.2016 года

Председатель комиссии д.т.н., профессор Морозов В.В.

(ФИО, подпись)