

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)

Институт машиностроения и автомобильного транспорта (ИМиАТ)  
(Наименование института)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИМиАТ

Елкин А.И.

« 31 » августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ВЫСОКОВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В НАНОИНЖЕНЕРИИ**  
(наименование дисциплины)

**направление подготовки / специальность**

**28.03.02 Наноинженерия**

(код и наименование направления подготовки (специальности))

**направленность (профиль) подготовки**

**Инженерные нанотехнологии в машиностроении**

(направленность (профиль) подготовки))

г. Владимир

2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является изучение теоретических, технологических и экспериментальных основ высоковакуумных технологических процессов в нанотехнологии. Это подразумевает освоение и решения ряда взаимосвязанных теоретических, научно-исследовательских и практических задач.

Задачи:

- получение теоретических навыков и компетенций в области существующих и перспективных технологий получения высоковакуумных технологических процессов;
- физических основ получения вакуума;
- основ математического моделирования высоковакуумных технологических процессов;
- диагностике и контроле высоковакуумных технологических процессов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Высоковакуумные технологические процессы в нанотехнологии» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Изучается в 6-ом семестре подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 после обязательного прохождения дисциплин «Введение в нанотехнологии», «Основы нанотехнологий в машиностроении», «Физика», «Материаловедение», «Физико-химические основы нанотехнологий». Дисциплина является одной из основных в получении наноструктурированных пленок и покрытий, а также наноразмерных объектов различного назначения, и базовой для изучения последующих дисциплин, в том числе для выпускной квалификационной работы,

При изучении дисциплины рассматриваются вопросы теоретического характера, а именно: В рамках изучения дисциплины приобретаются практические навыки работы с вакуумными 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 покрытий и подготовке образцов для этих исследований; а также навыки работы с полученными изображениями и результатами, компьютерной обработкой результатов.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-2. Способен разрабатывать рекомендации по использованию результатов исследований для реального сектора экономики.	ПК-2.1. Знает классы материалов и наноструктурированных материалов и области их применения. ПК-2.2. Умеет выполнять научные исследования и эксперименты с изделиями из наноструктурированных материалов. ПК-2.3. Владеет навыками разработки рекомендаций по использованию	Знает вакуумные методы получения наноструктурированных покрытий. Умеет контролировать и следить за процессами обеспечения вакуума при получении наноструктурированных покрытий. Владеет навыками комплексного анализа структуры и свойств	Тестовые вопросы Практико-ориентированное задание

	результатов исследований наноструктурированных материалов для реального сектора экономики.	наноструктурированных покрытий	
ПК-5. Способен технологически обеспечивать производство изделий с наноструктурированным керамическим покрытием.	ПК-5.1. Знает типовые методы производства изделий с наноструктурированным керамическим покрытием. ПК-5.2. Умеет планировать и проводить мероприятия по разработке изделий с наноструктурированным керамическим покрытием в части, касающейся технологического процесса. ПК-5.3. Владеет навыками выполнения технологических операций процесса производства изделий с наноструктурированным керамическим покрытием и обслуживания технологического оборудования.	Знает классификацию и методы получения наноструктурированных керамических покрытий; Умеет разрабатывать технологическую оснастку для получения наноструктурированных керамических покрытий в вакууме. Владеет навыками разработки технологического процесса получения наноструктурированных керамических покрытий в вакууме.	Тестовые вопросы Практико-ориентированное задание

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	СРП	в форме практической подготовки		
1	<b>Раздел 1 Введение в курс. Теоретические основы вакуумной техники.</b> 1.1. Понятие вакуума. 1.2. Термины и определения в вакуумной технике. 1.3. Техника течеискания.	6	1-6	6	6	3	1	21	Рейтинг-контроль №1, СРП
2	<b>Раздел 2. Вакуумная техника и устройства вакуумных установок.</b> 2.1. Вакуумные схемы типовых высоковакуумных установок. 2.2. Вакуумные установки и агрегаты. 2.3. Вакуумные насосы.	6	8-11	6	6	3	1	21	Рейтинг-контроль №2, СРП
3	<b>Раздел 3. Основные технологические процессы работы в вакууме.</b> 3.1. Вакуумная откачка. 3.2. Вакуумирование 3.3. Особенности ТП установок вакуумного напыления.	6	12-18	6	6	3	1	21	Рейтинг-контроль №3, СРП
Всего за 6 семестр:				18	18	9		63	Зачет
Наличие в дисциплине КП/КР		-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по дисциплине				18	18	9		63	Зачет

##### Содержание лекционных занятий по дисциплине

##### Раздел 1 Введение в курс. Теоретические основы вакуумной техники.

Тема 1.1. Понятие вакуума.

Содержание темы. Диапазон давлений. Средний, высокий и сверхвысокий вакуум.

### 1.2. Термины и определения в вакуумной технике.

Содержание темы: Термины и определения в вакуумной технике по ГОСТ 5197-85. Причины, затрудняющие или делающие невозможным получение вакуума. Изменение во времени давления в изолированной от насоса системе. Характеристика поведения вакуумной системы

### 1.3. Техника течеискания.

Содержание темы: Термины и определения по ГОСТ 26790-85. Газовыделение. Герметичность. Общая характеристика методов течеискания. Обнаружение течей при избыточном давлении. Обнаружение течей при пониженном давлении. Типы течеискателей, оценка чувствительности течеискателей

## **Раздел 2. Вакуумная техника и устройства вакуумных установок.**

### 2.1. Вакуумные схемы типовых высоковакуумных установок.

Содержание темы: Высоковакуумная откачка с помощью газоперекачивающего насоса, высоковакуумная откачка с помощью газоулавливающего насоса. Измерение низких давлений.

### 2.2. Вакуумные установки и агрегаты.

Содержание темы: Составы перспективных агрегатов и установок. Технические характеристики и особенности. Откачные агрегаты. Вакуумное метрологическое оборудование.

### 2.3. Вакуумные насосы.

Содержание темы: Вращательные масляные насосы. Двухроторные насосы. Диффузионные насосы. Турбомолекулярные насосы. Титановые геттерные насосы. Ионные насосы. Криосорбционные насосы. Струйные насосы. Пароструйные эжекторы. Криогенный насос.

## **Раздел 3. Основные технологические процессы работы в вакууме**

### 3.1. Вакуумная откачка

Содержание темы: Характер изменения давления в вакуумной камере при откачке. Контроль и сохранение параметров.

### 3.2. Вакуумирование

Содержание темы: Особенности вакуумирования в различных процессах. Контроль и сохранение параметров.

### 3.3. Особенности ТП установок вакуумного напыления.

Содержание темы: Порядок ТП установок вакуумного напыления. Режимы работы установок. Варьируемые и неварьируемые технологические параметры вакуумных установок.

## **Содержание практических занятий по дисциплине**

### **Раздел 1 Введение в курс. Классификация методов получения покрытий и способов подготовки поверхности.**

Тема 1.1. Общая характеристика покрытий и способов их нанесения.

Содержание практических занятий: Классификация и условные обозначения покрытий на чертежах и технической литературе.

Тема 1.2. Методы подготовки поверхности для нанесения покрытий.

Содержание практических занятий: Технологические основы ультразвуковой очистки. Технологические установки для ультразвуковой очистки.

Тема 1.3. Методы снятия покрытий.

Содержание практических занятий: Технологические установки для ультразвуковой очистки.

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

Тема 2.1. Строение и свойства поверхности.

Содержание практических занятий: Измерение шероховатости и топологии поверхности различных видов покрытий.

Тема 2.2. Наноинженерия поверхностных слоев.

Содержание практических занятий: Оценка физико-механических свойств покрытий.

Тема 2.3. Поверхностная энергия кристаллов и ее роль при нанесении покрытий.

Содержание практических занятий: Оценка адгезии покрытий.

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

3.1. Процессы, протекающие при взаимодействии поверхности с внешней средой. Основные понятия процессов адсорбации.

Содержание практических занятий: Патентно-информационное исследование новых методов получения покрытий.

3.2. Физические методы нанесения покрытий.

Содержание практических занятий: Изучение устройства установки вакуумного нанесения покрытий UNICOAT 600 SL+.

Тема 3.3. Химические методы нанесения покрытий.

Содержание практических занятий: Патентно-информационное исследование химических методов нанесения покрытий

Практические занятия по дисциплине строятся следующим образом:

1. Вводная часть преподавателя (цели занятия, основные вопросы, которые должны быть рассмотрены).
2. Беглый опрос.
3. Решение 1 – 2 типовых задач у доски. (0,3 час на п.п. 1 – 3).
4. Самостоятельное решение задач. (1 час).
5. Разбор типовых ошибок при решении, объявление оценок по модулю (0,5 час).

Практические занятия по дисциплине кроме традиционной формы проведения включают выездные занятия на предприятия и НОЦ, занимающиеся нанотехнологиями и имеющие вакуумное оборудование для нанесения покрытий. Предусмотрен мастер-класс с ведущими специалистами в области нанотехнологий, сканирующей и электронной микроскопии из ведущих ВУЗов страны и предприятий-лидеров.

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

### **5.1. Текущий контроль успеваемости.**

#### **Вопросы к рейтинг-контролю №1**

1. Классификация покрытий.
2. Классификация технологий получения покрытий и пленок.
3. Обзор установок для получения вакуумных покрытий.
4. Особенности PVD технологий получения папопокрытий.
5. Устройства вакуумной установки UNICOAT 600 SL.
6. Обзор установок для холодного газодинамического напыления.
7. Основные физико-механические свойства покрытий и пленок.

#### **Вопросы к рейтинг-контролю №2**

1. Методы измерения и исследования физико-механических и трибологических свойств вакуумных покрытий.

2. Особенности технологии нанесения PVD-покрытий на пластмассы.
3. Особенности получения вакуумных наноструктурированных покрытий режущего инструмента.
4. ТП алмазоподобных покрытий в вакууме.
5. Оптимизация ТП нанесения PVD-покрытий.
6. Методы подготовки поверхности к напылению: механическая, химическая, плазмохимическая и ионная обработка поверхности, вакуум-термическая и химико-термическая подготовка поверхности.
7. Особенности нанесения PVD-покрытий: методы нагрева и охлаждение подложек, измерения температуры, плазмостойкие нагреватели, геометрия внеосевого напыления, влияние потенциала подложки на плазменное окисление пленок.
8. Составные части оборудования для нанесения покрытий: вакуумные насосы, вентили, контролеры расхода газов, блоки питания испарителей, электронных пушек, мишеней, планетарные механизмы подложкодержателей, заслонки.

### **Вопросы к рейтинг-контролю №3**

1. Модели технологических процессов нанесения CVD и PVD-покрытий.
2. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: скорость термического испарения в вакууме, энергетический спектр испаренных атомов, их угловое распределение.
3. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: расчет скорости осаждения при баллистическом и диффузионном транспорте вещества от источника к подложке, способы нагрева загрузки и конструкции испарителей, испарение сплавов и соединений.
4. Физика магнетронного распыления: электроны в скрещенных электрическом и магнитном полях.
5. Типы и характеристики магнетронных распылительных систем.
6. Потоки энергичных частиц на поверхность растущих пленок при магнетронном вакуумном напылении.
7. Особенности физических процессов при реактивном ионно-плазменном напылении: поглощение газов и гистерезисные явления при реактивном напылении, напыление в режиме постоянных парциальных давлений.
8. Лазерное испарение и его физические особенности: взаимодействие лазерных пучков с поверхностью материалов, глубины проникновения, коэффициенты отражения, механизмы передачи энергии, испарение материалов под действием лазеров, импульсное лазерное испарение, влияние мощности и длительности импульса.

### **5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины.**

#### **Вопросы к зачету**

1. Классификация покрытий.
2. Классификация технологий получения покрытий и пленок.
3. Обзор установок для получения вакуумных покрытий.
4. Особенности PVD технологий получения нанопокровтий.
5. Устройства вакуумной установки UNICOAT 600 SL.
6. Обзор установок для холодного газодинамического напыления.
7. Основные физико-механические свойства покрытий и пленок.
8. Методы измерения и исследования физико-механических и трибологических свойств вакуумных покрытий.
9. Особенности технологии нанесения PVD-покрытий на пластмассы.
10. Особенности получения вакуумных наноструктурированных покрытий режущего инструмента.
11. ТП алмазоподобных покрытий в вакууме.

12. Оптимизация ТП нанесения PVD-покрытий.
13. Методы подготовки поверхности к напылению: механическая, химическая, плазмохимическая и ионная обработка поверхности, вакуум-термическая и химико-термическая подготовка поверхности.
14. Особенности нанесения PVD-покрытий: методы нагрева и охлаждение подложек, измерения температуры, плазмостойкие нагреватели, геометрия внесевого напыления, влияние потенциала подложки на плазменное окисление пленок.
15. Составные части оборудования для нанесения покрытий: вакуумные насосы, вентили, контролеры расхода газов, блоки питания испарителей, электронных пушек, мишеней, планетарные механизмы подложкодержателей, заслонки.
16. Модели технологических процессов нанесения CVD и PVD-покрытий.
17. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: скорость термического испарения в вакууме, энергетический спектр испаренных атомов, их угловое распределение.
18. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: расчет скорости осаждения при баллистическом и диффузионном транспорте вещества от источника к подложке, способы нагрева загрузки и конструкции испарителей, испарение сплавов и соединений.
19. Физика магнетронного распыления: электроны в скрещенных электрическом и магнитном полях.
20. Типы и характеристики магнетронных распылительных систем.
21. Потоки энергичных частиц на поверхность растущих пленок при магнетронном вакуумном напылении.
22. Особенности физических процессов при реактивном ионно-плазменном напылении: поглощение газов и гистерезисные явления при реактивном напылении, напыление в режиме постоянных парциальных давлений.
23. Лазерное испарение и его физические особенности: взаимодействие лазерных пучков с поверхностью материалов, глубины проникновения, коэффициенты отражения, механизмы передачи энергии, испарение материалов под действием лазеров, импульсное лазерное испарение, влияние мощности и длительности импульса.

### **5.3. Самостоятельная работа обучающегося.**

Для организации самостоятельной работы студентов (выполнения отчета по практическим работам, самостоятельной проработки теоретического материала) рекомендуются учебно-методические пособия и указания из основного и дополнительного списка, перечисленные в разделе настоящей рабочей программы.

Темы для рефератов:

1. Упрочнение поверхности методом ионной имплантации.
2. Структура поверхностного слоя при плазменном напылении.
3. Примеры получения композиционного материала в покрытии.
4. Ионноплазменное напыления покрытий.
5. Технологические параметры получения покрытий методом окунания
6. Сравнительный анализ покрытий, полученных методами газотермического и вакуумного напыления.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.



## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
<b>Основная литература</b>		
1. 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.	2013	<a href="http://znanium.com/bookread2.php?book=492492">http://znanium.com/bookread2.php?book=492492</a>
2. 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.	2010	<a href="http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3067/1/00698.pdf">http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3067/1/00698.pdf</a>
3. Технология конструкционных материалов: Учеб. пос. / В.Л.Тимофеев, В.П.Глухов и др.; Под общ. ред. проф. В.Л.Тимофеева - 3-е изд., испр. и доп. - М.:НИЦ ИНФРА-М, 2014-272с.: 60х90 1/16 - (Высш. образ.: Бакалавр.). (п) ISBN 978-5-16-004749-2.	2014	<a href="http://znanium.com/bookread2.php?book=428228">http://znanium.com/bookread2.php?book=428228</a>
4. Морозов В. В., Сысоев Э.П. Нанотехнологии в керамике: монография в 2-х частях [Электронный ресурс]. Ч.1. Наночастицы 2010 - 276 с. Ч.2: Нанопленки, нанопокрyтия, наномембраны, нанотрубки, наностержни, нанопроволока. 2011 – 167 с. 2011.	2011	<a href="http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2226">http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2226</a> <a href="http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2487">http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2487</a>
<b>Дополнительная литература</b>		
1. Беляев, И.В. Информационный каталог современного экспериментального оборудования и научных приборов на базе научно-образовательных организаций и ведущих предприятий Владимирской области / И. В. Беляев, В. А. Кечин, Г. А. Гладкий; — Владимир: Владимирский гос. университет им. А.Г. и Н.Г.Столетовых (ВлГУ), 2011. 44 с.	2011	<a href="http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2993/1/00588.pdf">http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2993/1/00588.pdf</a>
2. Аракелян С. М., Прокошев В. Г., Абрамов Д. В., Кучерик А. О. Лазерное наноструктурирование материалов : методы реализации и диагностики : учебное пособие, 2010.	2010	<a href="http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2105">http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2105</a>
3. Ю.Е. Спектор Р.Г. Еромасов Технология нанесения и свойства покрытий. Красноярск	2008	<a href="https://echemistry.ru/assets/files/ullectures.pdf">https://echemistry.ru/assets/files/ullectures.pdf</a>

### 6.2. Периодические издания

1. Журнал ВАК «Наноинженерия».
2. Журнал ВАК «Российские нанотехнологии».

### 6.3. Интернет-ресурсы

<http://www.portalnano.ru/>

<http://www.nanobusiness.fi/>

<http://www.ru-tech.ru/pub/nano>  
<http://www.ntsр.info/>  
<http://www.nanotech.ru/>  
<http://www.nanonewsnet.ru/>  
<http://nano-info.ru/>  
<http://www.rusnanoforum.ru/>  
<http://www.iacnano.ru/>  
<http://www.nanometer.ru/>  
[www.rusnano.com](http://www.rusnano.com)

<http://www.i-mash.ru/>  
<http://www.mirstan.ru/index.php?page=tech>  
[http://window.edu.ru/library?p\\_rubr=2.2.75.11.34](http://window.edu.ru/library?p_rubr=2.2.75.11.34)  
<http://chertezhi.ru/>  
<http://dlja-mashinostroitelja.info/>  
<http://www.soyuzmash.ru>  
<http://www.stankoinform.ru/index.htm>  
<http://www.nanoprom.net/>

#### **Учебно-методические издания**

1. Жданов А.В. Методические указания к практическим работам по дисциплине «Высоковакуумные технологические процессы в нанотехнологии» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2021. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>

2. Жданов А.В. Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Высоковакуумные технологические процессы в нанотехнологии» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2021. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>

3. Жданов А.В. Оценочные средства по дисциплине «Высоковакуумные технологические процессы в нанотехнологии» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2021. - 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 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» <http://op.vlsu.ru/index.php?id=169>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В качестве материально-технического обеспечения дисциплины указывается необходимое для обучения лицензионное программное обеспечение, оборудование, демонстрационные приборы, мультимедийные средства, учебные фильмы, тренажеры, карты, плакаты, наглядные пособия; требования к аудиториям – компьютерные классы, специально оборудованные аудитории и лаборатории и т.д

Перечень используемого оборудования:

### 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 микрон в случае поля 100x100 мм
- диаметр пучка от 0,5 микрон (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 CCD 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 наноэлектронных 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 необходимости 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>®</sup>

### 2) Рентгенофлуоресцентный 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 Be 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:N; 3D-нанокompозитные покрытия; 2D-нанокompозитные покрытия и пленки (в том числе алмазоподобные)- суперлаттики. Соответствует требованиям ГОСТ 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: ±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: ±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)

## 8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ

### 8.1. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

### 8.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ОВЗ

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При обучении студентов с нарушениями слуха предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видео-техникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов с нарушениями зрения предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видео увеличителей для удаленного просмотра.

При обучении студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

### 8.3. Требования к фонду оценочных средств для лиц с ОВЗ

Для студентов с ограниченными возможностями здоровья предусмотрены дополнительные оценочные средства, перечень которых указан в таблице 1.

Таблица 1 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью

Категории студентов	Виды дополнительных оценочных средств	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные лабораторные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к экзамену, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные лабораторные, самостоятельные	Преимущественно дистанционными методами



аппарата	работы, вопросы к экзамену	
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные лабораторные, самостоятельные работы, вопросы к экзамену, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, исходя из состояния обучающегося на момент проверки

#### **8.4. Методические рекомендации по оценочным средствам для лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы.

Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

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

Рабочую программу составил

Жуков А.В. к.т.н. доцент  
(ФИО, подпись)

Рецензент

(представитель работодателя) Генеральный директор ООО «ТАГ-Инжиниринг», к.т.н.

Аракелян И.С.

(место работы, должность, ФИО, подпись)



Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Технология машиностроения

Протокол № 1 от 31.08.2021 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 № 1 от 31.08.2021 года

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

(ФИО, подпись)