

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
материаловедения и индустрии наносистем
Академик РАН

 В.М. Иевлев
подпись, расшифровка подписи

16.05.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.03.01 Вакуумные технологии синтеза материалов

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:** 04.03.02 Химия, физика и механика материалов
- 2. Профиль подготовки/специализация:** материаловедение и индустрия наносистем
- 3. Квалификация выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** кафедра материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:** Сербин Олег Викторович, кандидат физико-математических наук
- 7. Рекомендована:** Научно-методический совет химического факультета протокол №10-03 от 27.03.2025

отметки о продлении вносятся вручную)

8. Учебный год: 2026-2027

Семестр(ы): 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель: является изучение научных основ вакуумной техники, физических явлений происходящих в вакууме, устройства и действия откачных, измерительных и коммутационных устройств, методов расчетов для проектирования вакуумной техники.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Б1. Часть, формируемая участниками образовательных отношений

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач	ПК-2.1	Способен выбирать методы синтеза материалов различного назначения (в том числе наноматериалов) в соответствии с поставленной задачей	знать: физические основы современной вакуумной техники; принцип действия и устройство откачных средств и аппаратуры для измерения вакуума. уметь: разрабатывать вакуумную часть специального нестандартного технологического оборудования, производить расчет газовых потоков и основных технических характеристик вакуумных систем владеть: методами расчета и проектирования вакуумного оборудования.
		ПК-2.2	Способен использовать знания о свойствах материалов для решения конкретных профессиональных задач	знать: методологию эксплуатации и приемы работы с вакуумной техникой; методы расчета и проектирования вакуумно-технологического оборудования электронной промышленности. уметь: конструирование и расчет вакуумной коммутационной и вспомогательной аппаратуры. владеть: методами расчета и проектирования вакуумного оборудования..

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 5/180

Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			№ семестра 2	№ семестра 3	...
Контактная работа		108		108	
в том числе:	лекции	54		54	
	практические	54		54	
	лабораторные				
	курсовая работа				
Самостоятельная работа		72		72	

Промежуточная аттестация				
Итого:	180		180	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Основные определения и понятия вакуумной техники.	Основные определения и понятия вакуумной техники. Применение вакуума. Понятие о вакууме и давлении. Давление газа. Законы идеальных газов. Единицы давления Понятие о процессе откачки вакуумной системы. Быстрота откачки объекта. Быстрота откачивающего действия насоса Поток газа. Основное уравнение вакуумной техники	https://edu.vsu.ru/user/view.php?id=71114&course=7025
1.2	Методы и оборудование для получения вакуума	Классификация вакуумных насосов. Основные параметры насосов. Объемная откачка. Предельное давление объемной откачки Механические насосы. Вращательные масляные насосы. Пластинчатороторные насосы. Механические насосы. Вращательные масляные насосы. Пластинчатостаторные насосы Золотниковые (плунжерные) насосы. Принцип газобалласта. Масло для вращательных насосов. Основные параметры насосов. Быстрота действия. Метод постоянного объема. Устройство для определения быстроты действия насоса. Метод постоянного давления. Многопластинчатые насосы. Молекулярная откачка. Внутреннее трение газа Молекулярные насосы. Пароструйные насосы Диффузионные насосы. Свойства рабочих жидкостей диффузионных насосов. Параметры пароструйных насосов. Определение скорости откачки пароструйных насосов. Ионные насосы. Насосы, использующие физикохимическое связывание газов. Поглощение и выделение газов твердыми телами. Факторы, способствующие поглощению газов твердым телом. Поглощение газов материалами. Обезгаживание Насосы, работающие на физикохимическом связывании газов. Ионносорбционный насос. Магниторазрядные насосы. Адсорбционные насосы. Криогенные насосы (конденсационные). Турбомолекулярные насосы.	https://edu.vsu.ru/user/view.php?id=71114&course=7025
1.3	Методы и приборы для измерения давления в вакуумных системах	Приборы для измерения полного давления разреженного газа (манометры). Деформационные манометры. Приборы для измерения полного давления разреженного газа (манометры). Мембранные манометры. Тепловые манометры. Теплопроводность газа Манометры сопротивления. Термопарные манометры. Электронные ионизационные манометры.	https://edu.vsu.ru/user/view.php?id=71114&course=7025

		Магнитные электроразрядные манометры	
		Контроль состава остаточной атмосферы. Масс-спектрометры	
1.4	Течискание. Процесс откачки. Методы улучшения вакуума	Течеискание. Методы течеискания	https://edu.vsu.ru/user/view.php?id=71114&course=7025
		Откачные вакуумные системы. Процесс откачки.	
		Ловушки	
2. Практические занятия			
2.1	Проектный расчет вакуумных систем	Расчет вакуумных систем. Поектный расчет.	https://edu.vsu.ru/user/view.php?id=71114&course=7025
2.2	Поверочный расчет высоковакуумных систем	Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет суммарного потока газов.	https://edu.vsu.ru/user/view.php?id=71114&course=7025
		Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет проводимости высоковакуумной системы.	
		Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет эффективной быстроты откачки и давления в рабочей камере.	
		Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет времени предварительной откачки.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Основные определения и понятия вакуумной техники.	4			20	24
2	Методы и оборудование для получения вакуума	10			20	30
3	Методы и приборы для измерения давления в вакуумных системах	10			10	20
4	Течискание. Процесс откачки. Методы улучшения вакуума	6			10	16
5	Проектный расчет вакуумных систем	10	20		10	40
6	Поверочный расчет высоковакуумных систем	14	34		2	50
Итого:		54	54		72	180

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины, необходимо

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- Работа с ЭУМК <https://edu.vsu.ru/user/view.php?id=71114&course=7025>

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Дэшман, С. Научные основы вакуумной техники / С. Дэшман ; Пер. с англ. под ред. М.И. Меньшикова .— М. : Мир, 1964 .— 715 с.
2	Розанов Л.Н. Вакуумная техника : Учебник для студ.вузов, обучающихся по спец."Электронное машиностроение" / Л. Н. Розанов .— 2-е изд.перераб.и доп. — М. : Высш.шк., 1990 .— 319 с

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
-------	----------

3.	Королев, Б. И.. Основы вакуумной техники / Б. И. Королев .— 5-е изд., перераб. — М. ; Л. : Энергия, 1964
4.	Грошковский, Я. Техника высокого вакуума / Я. Грошковский ; Пер. с пол. В.Л. Булата и Э.Л. Булата; с прил. Э.М. Рейхруделя и Г.В. Смирницкой .— М. : Мир, 1975 .— 622 с
5.	Кучеренко Е. Т. Справочник по физическим основам вакуумной техники / Е. Т. Кучеренко .— Киев : Вища школа : Изд-во при Киев. ун-те, 1981 .— 263 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
1.	http://www.elibrary.ru – Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - крупнейший российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 12 млн. научных статей и публикаций. На платформе eLIBRARY.RU доступны электронные версии более 1400 российских научно-технических журналов, в том числе более 500 журналов в открытом доступе.
2.	Chemnet - официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Internet, http://www.chem.msu.ru/rus/
3.	Образовательный ресурс по материаловедению – http://www.materialscience.ru/lectures.htm

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Попов.А. Н. Вакуумная техника : [учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по техн. специальностям] / А.Н. Попов .— Москва ; Минск : ИНФРА-М : Новое знание, 2012 .— 165 с

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Проведение текущей аттестации и самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины. • Работа с ЭУМК <https://edu.vsu.ru/user/view.php?id=71114&course=7025>

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

мультимедийный проектор , экран, ноутбук, диффузионный вакуумный насос, пластинчато-роторный вакуумный насос, спиральный безмасляный насос, вакуумметры, вакуумная установка

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	<i>Основные определения и понятия вакуумной техники.</i>	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Тест
2	<i>Методы и оборудование для получения вакуума</i>	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Тест
3	<i>Методы и приборы для измерения</i>	ПК2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Тест

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	<i>давления в вакуумных системах</i>			
4	<i>Течисание. Процесс откачки. Методы улучшения вакуума</i>	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Тест
5	<i>Проектный расчет вакуумных систем</i>	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Тест
6				
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Комплект КИМ

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущая аттестация

Текущая аттестация проводится в следующей форме.
Тест

1. Группы методов нанотехнологий, в которых атомы, молекулы и даже отдельные наночастицы используются в качестве строительных блоков, из которых создаются сложные наноструктуры, называются _____.
2. Группы методов нанотехнологий, основанные как на удалении или дроблении объёмного материала, так и на миниатюризации макроскопической технологии изготовления, приводящей к получению нужной структуры с заданными свойствами, называются _____.
3. Метод исследования, в основе которого лежит исследование боковых отклонений кантилевера атомно-силового микроскопа (визуализация вариаций поверхностного трения), называется микроскопией _____.
4. Метод исследования, в основе которого лежит исследование локальных зарядовых доменов на поверхности образца, называется микроскопией _____.
5. Перечислите методы исследования, позволяющие получить изображение одностенных углеродных нанотрубок с атомарным разрешением: _____.
6. Какие дефекты относятся к точечным?
 - а) линейные, вакансии, примесные атомы;
 - б) вакансии, междоузельные атомы, примесные атомы;
 - в) межфазные границы, вакансии, границы зерен;
 - г) вакансии, междоузельные атомы, поверхностные атомы.
7. К какому типу дефектов относятся дислокации:
 - а) точечные;
 - б) линейные;
 - в) двухмерные;
 - г) трехмерные.
8. Какие дефекты во всех трех измерениях имеют размеры, сравнимые с межатомным расстоянием:
 - а) точечные;
 - б) линейные;
 - в) двухмерные;
 - г) трехмерные.
9. Что такое дефект кристаллической структуры?
 - а) несоответствие параметров решетки кристаллов;

- б) брак, возникающий при производстве изделия;
 - в) отклонение от периодичности расположения атомов;
 - г) отклонение параметра решетки кристалла.
10. Дефект по Френкелю – это:
- а) парный дефект, состоящий из вакансии и междоузельного атома;
 - б) вакансия, находящаяся в объеме кристалла;
 - в) парный дефект, состоящий из вакансии и примесного атома;
 - г) атом, находящийся на поверхности.
11. Как называется явление упрочнения материала под действием пластической деформации?
- а) Текстура. б) Улучшение. в) Деформационное упрочнение. г) Полигонизация.
12. Что такое рекристаллизация? Это группа явлений, происходящих при нагреве деформированного металла и охватывающих ...
- а) процессы образования субзерен с малоугловыми границами, возникающими при скольжении и переползании дислокаций.
 - б) все изменения кристаллического строения и связанных с ним свойств.
 - в) процессы зарождения и роста новых зерен с меньшим количеством дефектов строения.
 - г) изменения тонкой структуры (главным образом уменьшение количества точечных дефектов).

На выполнение дается 20 минут. Тест считается пройденным, если обучающий ответил правильно на 70% вопросов.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

- 1) Основные определения и понятия вакуумной техники. Применение вакуума.
- 2) Понятие о вакууме и давлении. Давление газа. Законы идеальных газов. Единицы давления
- 3) Понятие о процессе откачки вакуумной системы. Быстрота откачки объекта. Быстрота откачивающего действия насоса
- 4) Поток газа. Основное уравнение вакуумной техники
- 5) Классификация вакуумных насосов.
- 6) Основные параметры насосов. Объемная откачка. Предельное давление объемной откачки
- 7) Механические насосы. Вращательные масляные насосы. Пластинчатые насосы.
- 8) Механические насосы. Вращательные масляные насосы. Пластинчатые насосы
- 9) Золотниковые (плунжерные) насосы.
- 10) Принцип газобалласта.
- 11) Масло для вращательных насосов.
- 12) Основные параметры насосов. Быстрота действия. Метод постоянного объема. Устройство для определения быстроты действия насоса. Метод постоянного давления.
- 13) Многопластинчатые насосы.
- 14) Молекулярная откачка. Внутреннее трение газа
- 15) Молекулярные насосы. Пароструйные насосы
- 16) Диффузионные насосы. Свойства рабочих жидкостей диффузионных насосов.
- 17) Параметры пароструйных насосов. Определение скорости откачки пароструйных насосов.
- 18) Ионные насосы.
- 19) Насосы, использующие физикохимическое связывание газов.
- 20) Поглощение и выделение газов твердыми телами.

- 21) Факторы, способствующие поглощению газов твердым телом. Поглощение газов материалами. Обезгаживание
- 22) Насосы, работающие на физикохимическом связывании газов. Ионносорбционный насос.
- 23) Магниторазрядные насосы.
- 24) Адсорбционные насосы.
- 25) Криогенные насосы (конденсационные).
- 26) Турбомолекулярные насосы.
- 27) Приборы для измерения полного давления разреженного газа (манометры). Деформационные манометры.
- 28) Приборы для измерения полного давления разреженного газа (манометры). Мембранные манометры.
- 29) Тепловые манометры. Теплопроводность газа
- 30) Манометры сопротивления.
- 31) Термопарные манометры.
- 32) Электронные ионизационные манометры.
- 33) Магнитные электроразрядные манометры
- 34) Контроль состава остаточной атмосферы. Масс-спектрометры
- 35) Течеискание. Методы течеискания
- 36) Откачные вакуумные системы. Процесс откачки.
- 37) Ловушки.
- 38) Расчет вакуумных систем. Проектный расчет.
- 39) Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет суммарного потока газов. Пример расчета.
- 40) Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет проводимости высоковакуумной системы. Пример расчета.
- 41) Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет эффективной скорости откачки и давления в рабочей камере. Пример расчета.
- 42) Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет времени предварительной откачки. Пример расчета.

Перечень практических заданий

- 1) Расчет вакуумных систем. Проектный расчет.
- 2) Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет суммарного потока газов. Пример расчета.
- 3) Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет проводимости высоковакуумной системы. Пример расчета.
- 4) Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет эффективной скорости откачки и давления в рабочей камере. Пример расчета.
- 5) Расчет вакуумных систем. Поверочный расчет. Расчет времени предварительной откачки. Пример расчета.

Описание технологии проведения.

После получения студентом билета КИМ и бланка листа ответа, самостоятельно выполняются задания КИМ в письменной форме. Время подготовки 40 минут.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания. Для оценивания результатов обучения на зачете с оценкой используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
---------------------------------	--------------------------------------	--------------

Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, применять теоретические знания для решения практических задач в области вакуумной техники.	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает отдельные ошибки при решении практических задач в области вакуумной техники.	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен решать практические задачи в области вакуумной техники.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.	–	Неудовлетворительно

20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ

ПК-2 __ Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач

Перечень заданий для оценки сформированности компетенции:

1. Группы методов нанотехнологий, в которых атомы, молекулы и даже отдельные наночастицы используются в качестве строительных блоков, из которых создаются сложные наноструктуры, называются _____.
2. Группы методов нанотехнологий, основанные как на удалении или дроблении объёмного материала, так и на миниатюризации макроскопической технологии изготовления, приводящей к получению нужной структуры с заданными свойствами, называются _____.
3. Метод исследования, в основе которого лежит исследование боковых отклонений кантилевера атомно-силового микроскопа (визуализация вариаций поверхностного трения), называется микроскопией _____.
4. Метод исследования, в основе которого лежит исследование локальных зарядовых доменов на поверхности образца, называется микроскопией _____.
5. Перечислите методы исследования, позволяющие получить изображение одностенных углеродных нанотрубок с атомарным разрешением: _____.
6. Какие дефекты относятся к точечным?
 - а) линейные, вакансии, примесные атомы;
 - б) вакансии, междоузельные атомы, примесные атомы;
 - в) межфазные границы, вакансии, границы зерен;
 - г) вакансии, междоузельные атомы, поверхностные атомы.
7. К какому типу дефектов относятся дислокации:
 - а) точечные;
 - б) линейные;
 - в) двухмерные;
 - г) трехмерные.
8. Какие дефекты во всех трех измерениях имеют размеры, сравнимые с межатомным расстоянием:
 - а) точечные;
 - б) линейные;
 - в) двухмерные;
 - г) трехмерные.
9. Что такое дефект кристаллической структуры?
 - а) несоответствие параметров решетки кристаллов;
 - б) брак, возникающий при производстве изделия;
 - в) отклонение от периодичности расположения атомов;
 - г) отклонение параметра решетки кристалла.
10. Дефект по Френкелю – это:
 - а) парный дефект, состоящий из вакансии и междоузельного атома;
 - б) вакансия, находящаяся в объеме кристалла;

в) парный дефект, состоящий из вакансии и примесного атома;

г) атом, находящийся на поверхности.

11. Как называется явление упрочнения материала под действием пластической деформации?

а) Текстура. б) Улучшение. в) Деформационное упрочнение. г) Полигонизация.

12. Что такое рекристаллизация? Это группа явлений, происходящих при нагреве деформированного металла и охватывающих ...

а) процессы образования субзерен с малоугловыми границами, возникающими при скольжении и переползании дислокаций.

б) все изменения кристаллического строения и связанных с ним свойств.

в) процессы зарождения и роста новых зерен с меньшим количеством дефектов строения.

г) изменения тонкой структуры (главным образом уменьшение количества точечных дефектов).

Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

3) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание выполнено не полностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или, в случае если задание состоит из нескольких подзаданий, верно выполнено 50% таких подзаданий;
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (получен неправильный ответ, ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки).

Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).