

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФРТЭ В.А. Небольсин

«21» декабря 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Вакуумная техника»

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль Компоненты микро- и наносистемной техники


Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года


Форма обучения очная

Год начала подготовки 2022

Автор программы

 /Ситников А.В./

И.о. заведующего кафедрой  
Физики твердого тела

 /Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП

 /Стогней О.В./

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Целью дисциплины является обеспечение изучения студентами процессов, происходящих в разряженных средах, особенностями вакуумных насосов, методик измерения степени разряжения и конструкциями вакуумных систем и навыков в технологии получения вакуума и расчета вакуумных систем.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

Изучение законов физики разряженных газовых сред, освоение принципов работы и конструкций различных вакуумных насосов, применимости конструкционных материалов, применимости и конструкционные особенности коммутационной аппаратуры для вакуумных систем, принципов работы и применимости различных методов и приборов для измерения общих давлений, методов течеискания, методов и приборы для измерения парциальных давлений газа и принципов построения вакуумных систем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Вакуумная техника» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Вакуумная техника» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-4 - Способен участвовать в реализации технологических процессов в рамках планарной технологии, обеспечивающих создание монолитных интегральных схем

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-4	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- физические законы, происходящие с газами в разряженном состоянии;</li><li>- физические процессы, протекающие в вакууме;</li><li>- номенклатуру и характеристики изделий и оборудование, предназначенные для вакуумных - установок выпускаемом отечественной и зарубежной промышленностью;</li><li>- принципы построения вакуумных систем и их работу.</li></ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- применять законы физики вакуума для расчета основных параметров вакуумной системы;</li><li>- применять физические принципы взаимодействия газов с твердыми телами для проектирования</li></ul>

	<p>установок сверхвысокого вакуума;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- учитывать тенденции развития вакуумной техники;</li> <li>- работать на вакуумных установках различных конструкций;</li> <li>- использовать технические средства контроля вакуума для определения основных параметров - технологического процесса.</li> </ul>
	<p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами расчета основных параметров вакуумных систем и установок;</li> <li>- способностью самостоятельно осваивать современное вакуумное оборудование различного назначения и работать на ней;</li> <li>- навыками работы на оборудовании, предназначенном для достижения вакуума и контроля давления разряженной газовой среды;</li> <li>- навыками разработки и выбора вакуумной системы.</li> </ul>

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Вакуумная техника» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	90	90
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	54	54
<b>Курсовой проект</b>	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий**

**очная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Газовые законы	История развития вакуумной техники. Применение вакуума в науке и технике. Понятие о вакууме и давлении. Газовые законы: закон Дальтона, закон Бойля—Мариотта, закон Авогадро, закон Гей-Люссака, закон Шарля. Частота соударений молекул газа с поверхностью и единицы давления. Распределение молекул газа по скоростям. Средняя длина свободного пути.	4	-	2	-	6
2	Взаимодействие газов с твердыми телами	Взаимодействие газов с твердыми телами: поглощение и выделение газов твердыми телами, адсорбция и десорбция газов. Физическая адсорбция. Химическая адсорбция. Десорбция. Растворимость, газосодержание, диффузия, проницаемость. Не стационарный процесс диффузии. Давление паров и диссоциация окислов металлов. Понятия газ и пар. Давление паров металлов	4	-	-	-	4
3	Явления переноса	Вязкостное трение, перенос теплоты в вакууме, диффузия в газах. Расчет характеристик течения газа методами механики сплошной среды. Течение газов через отверстия. Течение газов в трубопроводах	4	-	-	12	16
4	Вакуумные насосы	Классификация, основные параметры и характеристики, область действия	4	8	8	12	32

		<p>вакуумных насосов. Механические вакуумные насосы с масляным уплотнением: принцип действия, параметры и характеристики, рабочие жидкости для насосов, конструкции, газобалластное устройство и откачка конденсирующихся паров, практические указания по эксплуатации.</p> <p>Двухроторные вакуумные насосы: принцип действия, конструкция и характеристики, практические указания по эксплуатации.</p> <p>Молекулярная откачка: конструкция молекулярных насосов, характеристики турбомолекулярных насосов. Струйные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики, практические указания по эксплуатации.</p> <p>Адсорбционные насосы: принцип действия.</p> <p>Испарительные гетерные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики.</p> <p>Электродуговые насосы: принцип действия, конструкции и характеристики.</p> <p>Ионно-гетерные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики, практические указания по эксплуатации.</p> <p>Магнитные электроразрядные насосы: принцип действия, конструкции</p>					
--	--	---	--	--	--	--	--

		и характеристики, практические указания по эксплуатации. Конденсационные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики. Криосорбционные насосы.					
5	Конструкционные материалы и коммутационная аппаратура вакуумных систем	Конструкционные материалы, основные требования. Металлы и сплавы. Не металлические материалы. Коммутационная аппаратура, основные требования. Коммутационная аппаратура для не прогреваемых вакуумных систем. Коммутационная аппаратура для прогреваемых вакуумных систем. Устройства для напуска газа в вакуумные системы (натекатели). Элементы вакуумных систем. Разборные и неразборные вакуумные соединения. Устройства для передачи движения. Электрические вакуумные вводы. Смотровые системы.	4	4	-	6	14
6	Методы и приборы для измерения общих давлений	Классификация методов и приборов для измерения общих давлений. Жидкостные U-образные вакуумметры. Открытые U-образные вакуумметры. Закрытые U-образные вакуумметры. Компрессионные вакуумметры: общее описание и принцип работы, особенности	4	4	4	10	22

		<p>компрессионного вакуумметра.  Деформационные преобразователи.  Тепловые преобразователи.  Вакуумметры сопротивления (режим постоянства температуры).  Термопарные вакуумметры (режим постоянства тока какала). Электронные преобразователи.  Магнитные электроразрядные вакуумметры: принцип действия. Магнитные электроразрядные вакуумметры с повышенным верхним пределом измеряемых давлений. Магнитные электроразрядные вакуумметры для измерения сверхнизких давлений.  Самоочищающиеся магнитные электроразрядные преобразователи.  Особенности магнитных электроразрядных вакуумметров.  Радиоизотопные преобразователи.  Практические указания по эксплуатации приборов для измерения полного давления.  Присоединение манометрических преобразователей к вакуумной системе.  Отсчет давлений.  Очистка и обезгаживание преобразователей.  Сорбционно-десорбционные эффекты.  Инерционность отсчета давления. Градуировка</p>					
--	--	--	--	--	--	--	--

		преобразователей для измерения общих давлений.					
7	Методы течеискания	Метод опрессовки. Люминесцентный метод течеискания. Искровой метод определения течи. Галогенный метод определения течи. Поиск негерметичности манометрическим методом. Масс-спектрометрический метод определения течи.	4	4	4	2	14
8	Методы и приборы для измерения парциальных давлений газа	Классификация газоанализаторов: чувствительность, разрешающая способность, диапазон анализируемых масс. Спектр масс и его расшифровка. Статистические масс-спектрометры. Статистический масс-спектрометр с разделением ионов в магнитном поле. Время пролетный масс-спектрометр (хронотрон) Омеготронный измеритель парциальных давлений. Квдрупольный и монопольный масс-спектрометры (электрические фильтры масс).	4	4	-	6	14
9	Принципы построения вакуумных систем	Принципы построения вакуумных систем. Общие требования. Оборудование для откачки ЭВП. Оборудование для нанесения тонких пленок. Основные требования, предъявляемые к	4	12	-	6	22



	вакуумным системам. Не прогреваемые вакуумные системы откачных постов. Прогреваемые вакуумные системы откачных постов. Вакуумные системы карусельных и конвейерных машин для откачки ЭВП. Вакуумные системы оборудования для нанесения тонких пленок.					
<b>Итого</b>		<b>36</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>54</b>	<b>144</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение лабораторных работ в 4 семестре. Содержание выполняемых работ представлено в учебно-методическом пособии Ситников А.В., Королев К.Г., Калгин А.В. Лабораторный практикум по основам вакуумной техники Воронеж: ФГБОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2016. 79с

1	<b>Лабораторная работа № 1</b> Изучение конструкции принципа действия механических вакуумных насосов с масляным уплотнением НВР-2М.
2	<b>Лабораторная работа № 2</b> Изучение конструкции и принципа действия диффузионного насоса Н 250/2500
3	<b>Лабораторная работа № 3</b> Изучение конструкций и работы лампы вакуумной термодарной ПМТ-2 и лампы вакуумной ионизационной ПМИ-2.
4	<b>Лабораторная работа № 4</b> Методы течеискания.

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 4 семестре.

Примерная тематика курсового проекта: «Расчет процессов откачки вакуумной установки для напыления тонких пленок VACLEADER».

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- сформировать блок входных данных для расчёта процесса откачки вакуумной установки из информации данной на сайте компании занимающейся продажей вакуумного оборудования для электронной промышленности;
- рассчитать временные зависимости давления в вакуумной камере исходя из сформированных входных данных;
- дать оценку временным параметрам процесса откачки данной установки о ее

применимости к технологическим условиям работы на производстве;

- выработать рекомендации к правомерности использования поставляемых насосов в данных напылительных системах.

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

Методика выполнения курсового проекта дана в учебно-методическом пособии Стогней О. В., Ситников А. В. «Расчет процессов откачки вакуумных технологических установок» г. Воронеж, ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", 2017, № гос. регистрации в НТЦ «Информрегистр» 0321800257

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-4	знать физические законы, происходящие с газами в разряженном состоянии, физические процессы, протекающие в вакууме, номенклатуру и характеристики изделий и оборудование, предназначенные для вакуумных, установок выпускаемого отечественной и зарубежной промышленностью, принципы построения вакуумных систем и их работу	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять законы физики вакуума для расчета основных параметров вакуумной системы, применять физические принципы взаимодействия газов с твердыми телами для проектирования установок сверхвысокого вакуума, учитывать тенденции развития вакуумной техники, работать на вакуумных установках различных конструкций, использовать технические средства контроля вакуума для определения основных параметров - технологического процесса.	Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами расчета основных параметров вакуумных систем и установок, способностью самостоятельно осваивать современное вакуумное оборудование различного - назначения и работать на ней,	Решение прикладных задач в конкретной предметной области,	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	навыками работы на оборудовании, предназначенном для достижения вакуума и контроля давления разряженной газовой среды, навыками разработки и выбора вакуумной системы.	выполнение плана работ по разработке курсового проекта, выполнение лабораторных работ		
--	--	---	--	--

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-4	знать физические законы, происходящие с газами в разряженном состоянии, физические процессы, протекающие в вакууме, номенклатуру и характеристики изделий и оборудование, предназначенные для вакуумных установок выпускаемого отечественной и зарубежной промышленностью, принципы построения вакуумных систем и их работу	Тест	Выполнение теста на 80-100%	Выполнение теста на 80-60%	Выполнение теста на 60-40%	В тесте менее 40% правильных ответов
	уметь применять законы физики вакуума для расчета основных параметров вакуумной системы, применять физические принципы взаимодействия газов с твердыми телами для проектирования установок сверхвысокого вакуума, учитывать тенденции развития вакуумной техники, работать на вакуумных установках различных конструкций, использовать технические средства контроля вакуума для определения основных параметров - технологического процесса.	Тест	Выполнение теста на 80-100%	Выполнение теста на 80-60%	Выполнение теста на 60-40%	В тесте менее 40% правильных ответов
	владеть методами расчета основных параметров вакуумных систем и установок, способностью самостоятельно осваивать современное вакуумное оборудование различного - назначения и	Тест	Выполнение теста на 80-100%	Выполнение теста на 80-60%	Выполнение теста на 60-40%	В тесте менее 40% правильных ответов

	<p>работать на ней, навыками работы на оборудовании, предназначенном для достижения вакуума и контроля давления разряженной газовой среды, навыками разработки и выбора вакуумной системы.</p>						
--	--	--	--	--	--	--	--

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

#### 1. Постулаты физики вакуума.

А) -газ состоит из отдельных движущихся молекул;

-существует постоянное распределение молекул газа по скоростям;

-при движении молекул газа нет преимущественных направлений;

-температура газа — величина, пропорциональная средней кинетической энергии его молекул;

- при взаимодействии с поверхностью твердого тела молекула газа адсорбируется.

Б) -газ состоит из отдельных движущихся молекул;

-существует постоянное распределение молекул газа по скоростям;

-при движении молекул газа нет преимущественных направлений;

-температура газа — величина, пропорциональная средней кинетической энергии его молекул;

- при взаимодействии с поверхностью твердого тела молекула газа испытывают упругое соударение.

В) -газ состоит рассматривается как статистическая совокупность молекул;

-существует постоянное распределение молекул газа по скоростям;

-при движении молекул газа нет преимущественных направлений;

-температура газа — величина, пропорциональная средней кинетической энергии его молекул;

- при взаимодействии с поверхностью твердого тела молекула газа испытывают упругое соударение.

Г) -газ состоит рассматривается как статистическая совокупность молекул;

-все молекулы газа движутся с одной скоростью;

-при движении молекул газа нет преимущественных направлений;

-температура газа — величина, пропорциональная средней кинетической энергии его молекул;

- при взаимодействии с поверхностью твердого тела молекула газа испытывают упругое соударение.

#### 2. Количественное определение вакуума.

А) - разность  $P_{ат} - P_{абсол}$ , эффективно до  $P_{абсол} < P_{ат} \cdot 10^{-2}$ ;

-  $P_{абсол}$ , если  $P_{абсол} > P_{ат} \cdot 10^{-2}$ ;

-  $n \cdot m^{-3}$  молекулярная концентрация газа при очень маленьких давлениях.

Б) - разность  $P_{ат} - P_{абсол}$ , эффективно до  $P_{абсол} > P_{ат} \cdot 10^{-2}$ ;

-  $P_{абсол}$ , если  $P_{абсол} < P_{ат} \cdot 10^{-2}$ ;

-  $n \cdot m^{-3}$  молекулярная концентрация газа при очень маленьких давлениях.

В) -  $P_{абсол}$ ;

-  $n \cdot m^{-3}$  молекулярная концентрация газа при очень маленьких давлениях.

Г) -  $n \cdot m^{-3}$  молекулярная концентрация.

#### 3. Физический смысл постоянной Сезерленда?

А) температура, при которой в случае постоянной молекулярной концентрации газа средняя длина свободного пути молекул уменьшается вдвое по сравнению со значением, соответствующим нулевой температуре.

Б) температура, при которой в случае постоянной молекулярной концентрации газа средняя длина свободного пути молекул увеличивается вдвое по сравнению со значением, соответствующим бесконечно большой температуре.

В) температура, при которой в случае постоянной молекулярной концентрации газа средняя

длина свободного пути молекул увеличивается вдвое по сравнению со значением, соответствующим нулевой температуре.

Г) температура, при которой в случае постоянной молекулярной концентрации газа средняя длина свободного пути молекул уменьшается вдвое по сравнению со значением, соответствующим бесконечно большой температуре.

#### **4. Что такое сорбция?**

А) поглощение газа поверхностью.

Б) выделение газа.

В) поглощение газа.

Г) поглощение газа объемом.

#### **5. Чем отличается химическая адсорбция и химическая реакция?**

А) Не отличается.

Б) Не образуются сложных химических соединений.

В) Не образуется химического соединения.

Г) Образуются химические соединения с меньшей силой связи между атомами.

#### **6. Газосодержание?**

А) Газосодержание - растворимость в равновесном состоянии.

Б) Газосодержание - растворимость при получении.

В) Газосодержание - растворимость при комнатной температуре.

Г) Газосодержание - растворимость при единичном давлении газа над поверхностью твердого тела.

#### **7. Обезгаживание материала?**

А) Процесс удаление газа из материала в вакууме.

Б) Процесс удаление газа из материала при высоких температурах.

В) Процесс удаление газа из материала при плавлении.

Г) Процесс удаление газа из материала при отжиге.

#### **8. Отличие газа от пара?**

А) Последний можно перевести в жидкость при понижении температуры.

Б) Последний можно перевести в жидкость.

В) Давлением.

Г) Наличием тумана.

#### **9. Зависимость от давления коэффициента динамической вязкости в области низкого вакуума?**

А) Не зависит.

Б) Пропорционален давлению.

В) Обратно пропорционален давлению

Г) Пропорционален квадрату давления.

#### **10. Зависимость от температуры силы трения в области высокого вакуума?**

А) Не зависит

Б) Пропорциональна  $T$

В) Пропорциональна  $\sqrt{T}$

Г) Пропорциональна  $1/T$

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

#### **1. Что ограничивает предельный вакуум, который может быть достигнут механическими насосами с масляным уплотнением?**

А) Давление насыщенных паров вакуумного масла.

Б) Давление насыщенных паров рабочей жидкости.

В) Не плотности между камерой сжатия и камерой разряжения.

Г) Давление насыщенных паров воды.

**2. Если есть несколько емкостей с маслом без фиксации жидкости в них, как отличить в какой находится вакуумное масло?**

А) Меньшая вязкость.

Б) Большая вязкость.

В) Высокая прозрачность.

Г) Отсутствие запаха.

**3. Предельное остаточное давление в механическом насосе лимитируется давлением насыщенных паров рабочей жидкости. Предельное остаточное давление в механическом насосе составляет  $10^{-1}$  Па. В насос мы заливаем масло VM-1 и давление насыщенных паров вакуумного масла  $10^{-6}$  Па. Все утверждения верны. Как разрешается противоречие в  $10^5$  раз между данными утверждениями?**

А) Рабочая жидкость является продуктом разложения вакуумного масла и имеет более высокое давление насыщенных паров.

Б) Рабочая жидкость является вакуумным маслом с растворенными в нем парами воды и имеет более высокое давление насыщенных паров.

В) В процессе работы насос нагревается до  $60-80^{\circ}\text{C}$  и давление насыщенных паров становится выше, а в справочнике даны параметры для комнатной температуры.

Г) Рабочая жидкость является продуктом загрязнения вакуумного масла в процессе работы насоса и имеет более высокое давление насыщенных паров.

**4. При одинаковых массогабаритных размерах пластинчато-роторного, пластинчато-статорного и плунжерного (золотникового) насосов, одинаковой скорости вращения ротора и коэффициентов трения пар трения в какой конструкции будет наименьшая температура между трущимися деталями?**

А) В пластинчато-роторном.

Б) В пластинчато-статорном.

В) В плунжерном.

Г) Одинаково в пластинчато-роторном и пластинчато-статорном.

**5. Какой из газов аргон или азот откачивается быстрее механическим насосом с масляным уплотнением?**

А) Аргон.

Б) Азот.

В) Зависит от температуры насоса.

Г) Одинаково.

**6. Почему при откачке паров воды в камере сжатия не удается достигнуть давление достаточное для удаления пара из насоса?**

А) Давление насыщенных паров воды меньше атмосферного при температуре работы насоса.

Б) Давление паров воды меньше 1 ат. при комнатной температуре.

В) Давление насыщенных паров воды меньше атмосферного при температуре работы насоса из-за маленьких размеров камеры сжатия.

Г) Пар переходит в жидкое состояние при изотермическом сжатии.

**7. Какой газ аргон или азот будет откачиваться с большей скоростью диффузионным насосом?**

А) Аргон.

Б) Азот.

В) Одинаково.

Г) Зависит от режимов работы диффузионного насоса.

**8. Какие физические принципы положены в основу работы азотной ловушки, располагаемой между диффузионным насосом и откачиваемым объемом?**

А) Понижение скорости парообразования с понижением температуры.

Б) Конденсация паров масла на охлажденную поверхность.

В) Понижение давления насыщенного пара с понижением температуры.

Г) Вымораживание паров масла.

**9. Какой из жидкостных вакуумметров открытый или с запаянным концом не связан с текущим значением атмосферного давления?**

А) Открытый.

Б) С запаянным концом.

В) Оба не связаны с текущим значением атмосферного давления.

Г) Оба связаны с текущим значением атмосферного давления.

**10. Почему тепловой преобразователь не измеряет давление в области давлений близких к атмосферному?**

А) Теплопроводность остаточных газов слабо меняется с давлением.

Б) Потери на теплопроводность остаточных газов меньше чем остальные виды потерь

В). Теплопроводность остаточных газов не зависит от давления при высоких давлениях.

Г) Большие потери на конвекцию.

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

**1. Физические причины адсорбции?**

А) Обменное взаимодействие.

Б) Межмолекулярное взаимодействие.

В) Магнитостатическое притяжение.

Г) Электростатическое притяжение.

**2. Давление насыщенного пара веществ применяемых в вакуумной техники?**

А) Низкое давление давление насыщенных паров.

Б) Давление насыщенных паров должно быть существенно ниже давления вакуума.

В) Отсутствовать давление насыщенных паров.

Г) Не имеет значения.

**3. Условия удаления воздуха из камеры сжатия?**

А) Ротор находится в положении выхлоп.

Б) Давления в камере сжатия выше 1 ат.

В) Превышение давления в камере сжатия относительно внешнего давления.

Г) Максимальное уменьшение размера камеры сжатия.

**4. Почему в двухступенчатых конструкциях насосов в высоковакуумной ступени не используется рабочая жидкость для уплотнения зазоров между камерой всасывания и камерой сжатия?**

А) Перетекание газа между камерами уменьшено за счет тщательной подгонки деталей.

Б) Перетекание газа между камерами уменьшено за счет изменения механизма проникновения газа через не плотности от вязкостного к молекулярному за счет понижения давлений в камерах.

В) Перетекание газа между камерами уменьшено за счет увеличенного объема камер.

Г) Перетекание газа между камерами уменьшено за счет увеличенной скорости вращения

ротора.

**5. Почему пластинчато-роторные насосы изготавливают с малыми скоростями откачки, а плунжерные с большими?**

А) В плунжерном насосе минимальная относительная скорость перемещения трущихся деталей и за счет этого меньшая температура в зоне трения, что уменьшает термическое разложение рабочей жидкости.

Б) В плунжерном насосе минимальная относительная скорость перемещения трущихся деталей, минимальное давление между трущимися парами и за счет этого меньшая температура в зоне трения, что уменьшает термическое разложение рабочей жидкости.

В) В плунжерном насосе за счет проточек в роторе минимальный вес ротора следовательно его можно изготовить больших размеров.

Г) Исторически сложилось.

**6. Почему с включенным газобалластным устройством предельное остаточное давление меньше?**

А) Часть газа через газобалластное устройство непосредственно попадает в камеру сжатия.

Б) Возрастает растворение газа в камере сжатия в рабочей жидкости.

В) Возрастает переток из камеры сжатия в камеру разрежения.

Г) Ухудшается качество рабочей жидкости.

**7. Что выбрасывается из камеры сжатия при откачке паров воды?**

А) Пар.

Б) Вода

В) Смесь пара и воды

Г) Вода и откачиваемый газ.

**8. Можно ли проводить откачку паров воды продолжительное время, не используя газобалластное устройство?**

А) Нельзя.

Б) Можно если температура насоса будет выше  $100^{\circ}\text{C}$ .

В) Можно если температура насоса будет выше  $90^{\circ}\text{C}$ .

Г) Можно если давление окружающей среды будет выше 1,5 ат.

**9. Чем ограничивается предельное остаточное давление диффузионного насоса?**

А) Конструкционными особенностями насоса.

Б) Давлением насыщенных паров рабочей жидкости попавшей на вход насоса при температуре самой горячей части конструкции выше паровой струи.

В) Обратным потоком газа с выхода на вход диффузионного насоса.

Г) Давлением насыщенных паров рабочей жидкости попавшей на вход насоса.

**10. Зависит ли скорость откачки диффузионным насосом от рода откачиваемого газа?**

А) Зависит.

Б) Не зависит.

В) Зависит от химической активности газа.

Г) Зависимость наблюдается только для легких газов водорода и гелия.

**7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

Не предусмотрено учебным планом

**7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену**

1. Вакуум и давление.



2. Газовые законы: закон Дальтона, закон Бойля—Мариотта, закон Авогадро, закон Гей-Люссака, закон Шарля.
3. Распределение молекул газа по скоростям и средней длине свободного пути.
4. Взаимодействие газов с твердыми телами: поглощение и выделение газов твердыми телами, адсорбция и десорбция газов.
5. Растворимость, газосодержание, диффузия, проницаемость.
6. Различия между газом и паром.
7. Явления переноса: вязкостное трение, перенос теплоты в вакууме, диффузия в газах.
8. Режимы течения газов: вязкостный, молекулярно-вязкостный, молекулярный.
9. Классификация, основные параметры и характеристики, области действия вакуумных насосов.
10. Механические вакуумные насосы с масляным уплотнением: принцип действия, параметры и характеристики, рабочие жидкости для насосов, конструкции, газобалластное устройство и откачка конденсирующихся паров, практические указания по эксплуатации.
11. Двухроторные вакуумные насосы: принцип действия, конструкция и характеристики, практические указания по эксплуатации.
12. Молекулярная откачка: конструкция молекулярных насосов, характеристики турбомолекулярных насосов.
13. Струйные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики, практические указания по эксплуатации.
14. Адсорбционные насосы: принцип действия.
15. Испарительные гетерные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики.
16. Электродуговые насосы: принцип действия, конструкции и характеристики.
17. Ионно-гетерные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики, практические указания по эксплуатации.
18. Магнитные электроразрядные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики, практические указания по эксплуатации.
19. Конденсационные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики.
20. Криосорбционные насосы.
21. Конструкционные материалы: металлы и сплавы, неметаллические материалы.
22. Коммутационная аппаратура: основные требования.
23. Устройства для напуска газа в вакуумные системы (натекатели).
24. Элементы вакуумных систем: разборные и не разборные вакуумные соединения, устройства для передачи движения, электрические вакуумные вводы, смотровые системы.
25. Методы и приборы для измерения общих давлений.
26. U-образные вакуумметры.
27. Компрессионные вакуумметры: общее описание и принцип работы,

- особенности компрессионного вакуумметра.
28. Деформационные преобразователи.
  29. Тепловые преобразователи.
  30. Термопарные вакуумметры.
  31. Магнитные электроразрядные вакуумметры.
  32. Радиоизотопные преобразователи.
  33. Приборы для измерения парциальных давлений газа.
  34. Методы течеискания: метод опресовки, люминесцентный метод, искровой течеискатель и манометрический метод, метод теплового манометрического преобразователя, метод Высокова-куумного манометрического преобразователя, галогенный и масс-спектрометрический течеискатели.
  35. Принципы построения вакуумных систем.
  36. Оборудование для откачки ЭВП.
  37. Оборудование для нанесения тонких пленок.
  38. Основные требования, предъявляемые к вакуумным системам

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

*(Например: Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.*

*1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.*

*2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов*

*3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.*

*4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)*

#### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Газовые законы	ПК-4	Тест, устный опрос, экзамен
2	Взаимодействие газов с твердыми телами	ПК-4	Тест, устный опрос, экзамен
3	Явления переноса	ПК-4	Тест, устный опрос, экзамен
4	Вакуумные насосы	ПК-4	Ответы на семинарском занятии, защита лабораторных №1,2, экзамен
5	Конструкционные	ПК-4	Ответы на

	материалы и коммутационная аппаратура вакуумных систем		семинарском занятии, экзамен
6	Методы и приборы для измерения общих давлений	ПК-4	Ответы на семинарском занятии, защита лабораторных №3, экзамен
7	Методы течеискания	ПК-4	Ответы на семинарском занятии, защита лабораторных №4, экзамен
8	Методы и приборы для измерения парциальных давлений газа	ПК-4	Ответы на семинарском занятии, экзамен
9	Принципы построения вакуумных систем	ПК-4	Ответы на семинарском занятии, экзамен

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения**

## **ДИСЦИПЛИНЫ**

1. 621.5 С 412 Ситников, А.В. Физические основы вакуумной техники : Учеб. пособие. - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2011. - 81 с. - 73-92; 250 экз.
2. 621.5 С 412 Ситников, А.В. Лабораторный практикум по основам вакуумной техники : Учебно-методическое пособие. - Воронеж : ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", 2016. - 79 с. - 141-66; 250 экз.
3. 621.5 С 412 Ситников, Александр Викторович. Расчет процессов откачки вакуумных технологических установок [Электронный ресурс] : учебное пособие / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", каф. физики твердого тела. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2017. - 91 с.
4. 621.5 Ш 548 Шешин, Е.П. Вакуумные технологии : Учеб. пособие. - Чебоксары : Интеллект, 2009. - 504 с. - (Физтехмовский учебник). - ISBN 978-5-91559-012-9 : 571-00.
5. Панфилович, К.Б. Физические основы вакуумной техники [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Х. Садыков; П.И. Бударин; К.Б. Панфилович. - Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2008. - 136 с. - ISBN 978-5-7882-0647-9. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63531.html>
6. Иванов, В.И. Вакуумная техника [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.И. Иванов. - Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2016. - 129 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/65805.html>
7. Логвиненко, Е.В. Сборник задач по вакуумной технике [Электронный ресурс] : задачник / В.И. Иванов; Е.В. Логвиненко. - Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. - 40 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/68112.html>
8. 621.5 Р 64 Розанов, Л.Н. Вакуумные машины и установки. - Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1975. - 336 с.
9. 621.5 Г 499 Гиоргадзе, А.Л. Вакуумная техника : Учеб. пособие. - Воронеж : ВГПГК, 2008. - 103 с.
10. 621.38 Б 447 Беляев, Н.В. Расчет вакуумных систем в примерах : Учеб. пособие. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2011. - 121 с. - 119-00; 250 экз.

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer.

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ**

## ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лабораторных занятий необходима аудитория, оснащенная вакуумным оборудованием. (аудитории 030, 024 первого корпуса ВГТУ)

### 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Вакуумная техника» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета вакуумных систем. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования.

	<p>Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
<p>Подготовка к промежуточной аттестации</p>	<p>Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>