

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета \_\_\_\_\_ В.А Небольсин

« » 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины (модуля)  
«Криовакуумная техника»**

**Направление подготовки (специальность)** 14.03.01. Ядерная энергетика и  
теплофизика

**Профиль (специализация)** Техника и физика низких температур

**Квалификация выпускника** Бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** Очная

**Год начала подготовки** 2017 г.

Автор программы \_\_\_\_\_ /Ситников А.В./

Заведующий кафедрой  
Физики твердого тела \_\_\_\_\_ /Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП \_\_\_\_\_ /Калядин О.В./

**Воронеж 2017**

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

#### **Цель и задачи изучения дисциплины:**

Целью дисциплины является ознакомление студентов с физическими процессами происходящими в разряженных средах, технологией получения вакуума, особенностями вакуумных насосов и конструкциями вакуумных систем, а также расчетом 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 «Криовакуумная техника» относится дисциплинам к блоку Б1.В.ОД.6 вариативной части учебного плана.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

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

ПК-1 способностью к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик;

ПК-5 способностью к участию в проектировании основного оборудования атомных электростанций, термоядерных реакторов, плазменных и других энергетических установок с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы;

ПКВ-5 способностью проектировать машины и аппараты с целью обеспечения их максимальной производительности, долговечности и безопасности, обеспечения надежности узлов и деталей машин и аппаратов.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	<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> </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 установок сверхвысокого вакуума.</li> </ul>
	<p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами расчета основных параметров вакуумных систем и установок.</li> </ul>
ПК-5	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- номенклатуру и характеристики изделий и оборудование, предназначенные для вакуумных - установок выпускаемой 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>- 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>- 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>
ПКВ-5	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- номенклатуру и характеристики изделий и оборудование, предназначенные для вакуумных - установок выпускаемой отечественной и зарубежной промышленностью;</li> </ul>
	<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать технические средства контроля вакуума</li> </ul>

	для определения основных параметров - технологического процесса.
	<b>Владеть:</b> - методами расчета основных параметров вакуумных систем и установок.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Физические основы вакуумной техники» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		6			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	72	72			
В том числе:					
Лекции	18	18			
Практические занятия (ПЗ)	36	36			
Лабораторные работы (ЛР)	18	18			
<b>Самостоятельная работа</b>	36	36			
Курсовой проект					
Контрольная работа					
Вид промежуточной аттестации – зачет	+	+			
Общая трудоемкость	час	108	108		
	зач. ед.	3	3		

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

##### 5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

№ 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	2	-	2	-	4

		молекул газа с поверхностью и единицы давления. Распределение молекул газа по скоростям. Средняя длина свободного пути.					
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	2	-	-	-	2
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	2	-	-	6	8
4	Вакуумные насосы	Классификация, основные параметры и характеристики, область действия 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. Двухроторные вакуумные насосы: принцип действия, конструкция и характеристики, практические указания по эксплуатации. Молекулярная откачка: конструкция молекулярных насосов, характеристики турбомолекулярных насосов. Струйные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики, практические указания по эксплуатации. Адсорбционные насосы: принцип действия. Испарительные гетерные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики. Электродуговые насосы: принцип действия, конструкции и характеристики. Ионно-гетерные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики, практические указания по эксплуатации. Магнитные электроразрядные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики, практические указания по эксплуатации. Конденсационные насосы: принцип действия, конструкции и характеристики. Криосорбционные насосы.	2	8	8	8	26
5	Конструкционные материалы и коммутационная аппаратура вакуумных систем	Конструкционные материалы, основные требования. Металлы и сплавы. Неметаллические 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 не разборные вакуумные соединения. Устройства для передачи движения. Электрические вакуумные вводы. Смотровые системы.	2	4	-	4	10
6	Методы и приборы для измерения	Классификация методов и приборов для измерения общих давлений. Жидкостные	2	4	4	6	16

	общих давлений	U-образные вакуумметры. Открытые U-образные вакуумметры. Закрытые U-образные вакуумметры. Компрессионные вакуумметры: общее описание и принцип работы, особенности 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 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.	2	4	4	2	12
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).	2	4	-	4	10
9	Принципы построения вакуумных систем	Принципы построения вакуумных систем. Общие требования. Оборудование для откачки ЭВП. Оборудование для нанесения тонких пленок. Основные требования, предъявляемые к 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.	2	12	-	6	20
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>108</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение лабораторных работ в 6 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 термомпарной 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 курсового проекта не предусмотрено.

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

**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-1	<b>Знать:</b> - физические законы, происходящие с газами в разряженном состоянии; - физические процессы, протекающие в вакууме.	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	<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 установок сверхвысокого вакуума.</li> </ul>	Доклады на семинарах, написание тестов, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами расчета основных параметров вакуумных систем и установок.</li> </ul>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-5	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <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>	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<p><b>Уметь:</b></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>	Доклады на семинарах, написание тестов, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <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>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПКВ-5	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- номенклатуру и характеристики изделий и оборудование, предназначенные для вакуумных - установок выпускаемом отечественной и зарубежной промышленностью;</li> </ul>	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать технические средства контроля вакуума для определения основных параметров - технологического процесса.</li> </ul>	Доклады на семинарах, написание тестов, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	<b>Владеть:</b> - методами расчета основных параметров вакуумных систем и установок.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
--	---	---	---	---

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре по системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-1	<b>Знать:</b> - физические законы, происходящие с газами в разряженном состоянии; - физические процессы, протекающие в вакууме.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>Уметь:</b> - применять законы физики вакуума для расчета основных параметров вакуумной системы; - применять физические принципы взаимодействия газов с твердыми телами для проектирования установок сверхвысокого вакуума.	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>Владеть:</b> - методами расчета основных параметров вакуумных систем и установок.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-5	<b>Знать:</b> - номенклатуру и характеристики изделий и оборудование, предназначенные для вакуумных установок выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью; - принципы построения вакуумных систем и их работу;	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>Уметь:</b> - 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	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>Владеть:</b> - способностью самостоятельно осваивать современное вакуумное оборудование различного назначения и работать на ней; - навыками работы на оборудовании, предназначенном для достижения вакуума и контроля давления разряженной газовой среды; - навыками разработки и выбора вакуумной системы.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

ПКВ-5	<b>Знать:</b> - номенклатуру и характеристики изделий и оборудования, предназначенные для вакуумных установок выпускаемого отечественной и зарубежной промышленностью;	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>Уметь:</b> - использовать технические средства контроля вакуума для определения основных параметров технологического процесса.	Решение стандартных практических задач	Продемонстрировать верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>Владеть:</b> - методами расчета основных параметров вакуумных систем и установок.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрировать верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## **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. Физика вакуума**

1. **Постулаты физики вакуума (5 постулат) ?**
2. **Количественное определение вакуума (3 способа) ?**
3. **Выражение для давления газа через скорость и концентрацию?**
4. **Закон Дальтона?**
5. **Уравнения газового состояния**
6. **Закон Бойля—Мариотта?**
7. **Закон Авогадро?**
8. **Закон Гей-Люссака?**
9. **Закон Шарля?**
10. **Число молекул, ударяющихся о единицу поверхности в единицу времени?**
11. **Связь Па и торр?**
12. **Среднеквадратичная скорость молекул?**
13. **Наиболее вероятной скоростью молекул?**
14. **Среднеарифметическую скорость молекул?**
15. **Длины свободного пути молекулы от температуры?**
16. **Физический смысл постоянной Сезерленда?**
17. **Длины свободного пути молекулы от давления?**

#### **2. Взаимодействие газов с твердыми телами**

1. Что такое сорбция и десорбция газа?
2. Что такое адсорбция и абсорбция газа?
3. Виды адсорбции?
4. Физические причины адсорбции?
5. Формула Ленгмюра?
6. Чем отличается химическая адсорбция и химическая реакция?
7. Зависимость растворимости газа?
8. Газосодержание?
9. Уравнение диффузии газа в твердом теле?
10. Коэффициент диффузии газа в твердом теле?
11. Удельного потока газа  $q$ / через стенку толщиной  $Z$ ?
12. Коэффициентом проницаемости  $k_{пр}$ ?
13. Связь  $q$  — удельного потока газа, проникающего через стенку единичной толщины (проницаемости),  $S$  — растворимости и  $D$  — коэффициент диффузии?
14. Обезгаживание материала?
15. Скорости удельного газовыделения в вакууме для полубесконечного твердого тела?
16. Скорости удельного газовыделения в вакууме для пластины толщиной  $Z$ ?
17. Скорости удельного газовыделения в вакууме для цилиндра радиуса  $R$ ?
18. Отличие газа от пара?
19. Давление насыщенного пара веществ, применяемых в вакуумной технике?
20. Оксиды металлов подверженные термической диссоциации?

### 3. Явления переноса

1. Явления в газах связанные с переносом массы, энергии и количества движения?
2. Коэффициент динамической вязкости в области низкого вакуума?
3. Зависимость от давления коэффициента динамической вязкости в области низкого вакуума?
4. Зависимость от температуры коэффициента динамической вязкости в области низкого вакуума?
5. Сила трения в области высокого вакуума?
6. Зависимость от давления силы трения в области высокого вакуума?
7. Зависимость от температуры силы трения в области высокого ва-

куума?

8. Коэффициент теплопроводности газа в области низкого вакуума?
9. Зависимость от давления коэффициента теплопроводности газа в области низкого вакуума?
10. Закон Стефана — Больцмана?
11. Поток энергии при излучении в зависимости от количества установленных экранов?
12. Коэффициент теплопроводности газа в области высокого вакуума?
13. Зависимость коэффициента теплопроводности от давления во всем диапазоне давлений?
14. В каком случае коэффициент теплопроводности выше для легких атомов или тяжелых или нет зависимости?
15. Коэффициент самодиффузии в области низкого вакуума?
16. Зависимость от температуры коэффициента самодиффузии в области низкого вакуума?
17. Зависимость от давления коэффициента самодиффузии в области низкого вакуума?
18. Скорость самодиффузии в высоком вакууме?
19. Зависимость от температуры скорости самодиффузии в высоком вакууме?
20. Зависимость от массы атома скорости самодиффузии в высоком вакууме?
21. Зависимость от давления коэффициента самодиффузии в высоком вакууме?

#### 4. Режимы течения газа

1. Условие когда поток газа кг/сек можно выразить  $\text{м}^3\text{па/сек}$ ?
2. Определение проводимости?
3. Проводимость параллельно соединенных трубопроводов?
4. Проводимость последовательно соединенных трубопроводов?
5. Зависимость от давления проводимости трубопровода?
6. Режимы течения газа?
7. Критерия Кнудсена?
8. Режимов относительно Критерия Кнудсена?
9. Условие сплошной среды для движения газа?
10. Проводимость отверстия для воздуха при комнатной температуре в вязкостном режиме?
11. Проводимость отверстия для воздуха при комнатной температуре в

**молекулярном режиме?**

- 12. Проводимость отверстия для воздуха при комнатной температуре в молекулярно-вязкостном режиме?**
- 13. Проводимость трубопровода для воздуха при комнатной температуре в вязкостном режиме?**
- 14. Проводимость круглого трубопровода для воздуха при комнатной температуре в молекулярном режиме?**
- 15. Проводимость трубопровода для воздуха при комнатной температуре в молекулярно-вязкостном режиме?**

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

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 длина свободного пути.
4. Взаимодействие газов с твердыми телами: поглощение и выделение газов твердыми телами, адсорбция и десорбция газов.
5. Растворимость, газосодержание, диффузия, проницаемость.
6. Различий 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, не металлические 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.  
Основные требования, предъявляемые к вакуумным системам

### **7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену**

Не предусмотрено учебным планом

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

Промежуточная аттестация осуществляется по нескольким критериям:

1. Тестирование по темам курса тест-задания.
1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил правильно на 40% вопросов и меньше.
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил правильно на 40-60% вопросов.
3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент ответил правильно на 60-80% вопросов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент ответил правильно на 80% вопросов и более.
2. Ответы на семинарских занятиях по теме курса.
3. Зачет

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Газовые законы	ПК-1, ПК-5, ПКВ-5	Тест, устный опрос, зачет
2	Взаимодействие газов с твердыми телами	ПК-1, ПК-5, ПКВ-5	Тест, устный опрос, зачет
3	Явления переноса	ПК-1, ПК-5, ПКВ-5	Тест, устный опрос, зачет
4	Вакуумные насосы	ПК-1, ПК-5, ПКВ-5	Ответы на семинарском занятии, защита лабораторных №1,2, зачет
5	Конструкционные материалы и коммутационная аппаратура вакуумных систем	ПК-1, ПК-5, ПКВ-5	Ответы на семинарском занятии, зачет
6	Методы и приборы для измерения общих давлений	ПК-1, ПК-5, ПКВ-5	Ответы на семинарском занятии, защита лабораторных №3, зачет
7	Методы течеискания	ПК-1, ПК-5, ПКВ-5	Ответы на семинарском занятии, защита лабораторных №4, зачет
8	Методы и приборы для измерения парциальных давлений газа	ПК-1, ПК-5, ПКВ-5	Ответы на семинарском занятии, зачет
9	Принципы построения вакуумных систем	ПК-1, ПК-5, ПКВ-5	Ответы на семинарском занятии, зачет

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

Тестирование осуществляется 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.

На семинарском занятии ответы осуществляются устно по тематике занятия в результате самостоятельного поиска информации в рамках самостоятельной работы вне аудиторного времени. По теме доклада задаются вопросы и происходит обсуждение представленного материала в группе.

Лабораторные работы защищаются индивидуально путем опроса теоретического материала работы и практических результатов, предусмотренных программой в ходе выполнения лабораторной работы. Приблизительный перечень вопросов представлен в методическом указании к выполнению работы.

Защита курсового проекта осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

Экзамен

## **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. - (Физтеховский 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 (модулю), 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 «Физические основы вакуумной техники» читаются лекции, проводятся практические занятия, 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 оперирования с современными базами данных для ознакомления с вакуумным оборудованием производимым в настоящее время.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Освоение дисциплины оценивается на зачете.

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 удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы, подготовка докладов по теме занятия.
Лабораторные работы	Оформление теоретической и практической части работы. Выполнение практической части лабораторной работы. Сдача лабораторной работы.
Подготовка к зачету	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу.

## АННОТАЦИЯ

к рабочей программе дисциплины  
Б1.В.ОД.6 «Криовакуумная техника»

Направление подготовки (специальность) 14.03.01. Ядерная энергетика и  
теплофизика

Направленность (профиль) Техника и физика низких температур

Квалификация (степень) выпускника бакалавр

форма обучения очная

срок освоения образовательной программы 4 года

год начала подготовки 2017

**Цель и задачи изучения дисциплины:** целью дисциплины является ознакомление студентов с физическими процессами, происходящими в разряженных средах, технологией получения вакуума, особенностями вакуумных насосов и конструкциями вакуумных систем, а также расчетом вакуумных систем.

Перечень формируемых компетенций:

ПК-1 способностью к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик;

ПК-5 способностью к участию в проектировании основного оборудования атомных электростанций, термоядерных реакторов, плазменных и других энергетических установок с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы;

ПКВ-5 способностью проектировать машины и аппараты с целью обеспечения их максимальной производительности, долговечности и безопасности, обеспечения надежности узлов и деталей машин и аппаратов.

Общая трудоемкость дисциплины зет: 3 зет.

Форма итогового контроля по дисциплине: зачет.