

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Максимов Алексей Борисович  
Должность: директор департамента по образовательной политике  
Дата подписания: 16.09.2023 11:30:17  
Уникальный программный ключ:  
8db180d1a3f02ac8a60521a56672742735c18b1d6

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан факультета  
химической технологии и биотехнологии**  
/ С.В. Белуков /  
« 31 » **августа** 2020 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Вакуумная техника»**

**Направление подготовки**

**16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения**

**Профиль: Холодильная техника и технологии**

**Квалификация (степень) выпускника**

**Бакалавр**

**Форма обучения**

**Очная**

**Москва 2020**

## 1. Цели освоения дисциплины.

К **основным целям** освоения дисциплины «Вакуумная техника» следует отнести:

– научить студента пониманию физических основ вакуумной техники и практическому использованию методик расчета и проектирования различных вакуумных систем.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Вакуумная техника» следует отнести:

– освоение методологии, анализа и выбора принципов и методов расчета и проектирования вакуумной техники, освоение методов и условий проведения подбора аппаратов, определение номенклатуры рассчитываемых параметров, порядка определения и обработки полученной информации при расчете и проектировании.

- подготовка высококвалифицированных специалистов в области криовакуумной техники

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата.

Дисциплина «Вакуумная техника» относится к базовому профессиональному циклу ООП бакалавриата. Дисциплина направлена на изучение физических основ вакуумной техники и практическому использованию методик расчета и проектирования различных вакуумных систем, приобретение навыков термодинамического анализа способов охлаждения, выбора рабочих веществ, а также расчета принципиальных схем вакуумных систем.

Данная дисциплина является теоретической базой для большинства дисциплин направления 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения».

Дисциплина «Вакуумная техника» относится к числу профессиональных учебных дисциплин вариативной части базового цикла (Б1) основной образовательной программы бакалавриата.

«Вакуумная техника» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

В вариативной части базового цикла (Б1):

- Холодильные установки;
- Криогенные установки;
- Автоматизация низкотемпературных установок.

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-9	готовностью выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• номенклатуру базовых элементов теплообменных аппаратов и их характеристики;</li><li>• виды и методы расчета вакуумных систем и их элементов;</li><li>• особенности конструкции аппаратов вакуумных систем, материалы, которые используются при изготовлении аппаратов, процессы, протекающие в этих аппаратах, и современные методы их расчета</li></ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• выбрать вид и тип базовых элементов, вакуумной системы;</li><li>• определять основные характеристики базовых элементов;</li><li>• выбрать и рассчитать оптимальную конструкцию аппаратов для вакуумных установок</li></ul> <b>владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• современными, в том числе компьютерными, методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания вакуумных систем</li><li>• методами проектирования машин и аппаратов вакуумной техники</li></ul>

### 4. Структура и содержание дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 единиц (180 академических часов, из них 90 часа самостоятельной работы).

Структура и содержание дисциплины «Вакуумная техника» по срокам и видам работы изложены в приложении 1.

6 семестр: лекции – 54 ч., практические и семинарские занятия – 36 ч., форма контроля – экзамен.

## **Содержание дисциплины:**

### 1. Основные понятия вакуумной техники

История развития вакуумной техники. Области применения вакуумной техники. Основные понятия вакуумной техники. Понятие вакуума. Единицы измерения давления в вакуумной технике. Состав сухого атмосферного воздуха. Скорость движения молекул газа. Число молекул газа, ударяющихся о единичную поверхность стенки сосуда в единицу времени. Средняя длина пробега. Основные характеристики вакуумных насосов. Основное уравнение вакуумной техники. Вычисление времени откачки вакуумной системы. Режимы течения газа. Расчет проводимости в молекулярном и вязкостных режимах.

### 2. Традиционные средства получения вакуума.

Техника получения вакуума традиционными методами. Механические насосы: поршневые, ротационные, двухроторные. Рабочие жидкости ВН. Газоперемещающие насосы. Преимущества и недостатки. Основные характеристики. Принцип работы. Распыляемые геттеры. Механизм откачки. Испарительные насосы. Электродуговые геттерные насосы. Ионно-геттерные насосы. Магнитные электроразрядные насосы. Преимущества и недостатки. Основные характеристики. Принцип работы. Нераспыляемые геттеры. Низкотемпературные геттеры. Конструктивные исполнения. Преимущества и недостатки. Области применения. Адсорбционные насосы. Принцип действия. Сорбент. Скорость адсорбции и десорбции. Адсорбционная емкость. Полное число молекул, которые могут быть поглощены поверхностью единичной площади. Изотерма сорбции. Определение теплоты адсорбции. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Удельная поверхность. Емкость монослоя. Традиционные адсорбенты. Активные угли. Цеолиты. Силикагели. Их основные характеристики. Конструктивное исполнение адсорбционных насосов. Преимущества и недостатки.

### 3. Криовакуумная техника

Криовакуумная техника. Крионасос. Классификация крионасосов. Принцип работы. Требования, предъявляемые к идеальному насосу. Коэффициенты массообмена (коэффициент прилипания и конденсации). Форвакуумные крионасосы. Методика расчета, принципиальные схемы и особенности конструкции. Определение времени откачки до заданного давления. Зависимость быстроты действия от давления. Газодинамические установки. Общие принципы устройства. Особенности расчета криовакуумной системы. Конструктивное исполнение. Криосорбционные средства вакуумной откачки. Газовые криосорбенты. Их преимущества перед традиционными сорбентами. Зависимость сорбционной емкости от условий формирования криослоя (род газа, толщина слоя, температура слоя, температура откачиваемого газа). Криозахват. Конструктивное исполнение. Криовакуумные установки. Ступени откачки.

#### 4. Средства измерения и течеискатели

Средства измерения общих и парциальных давлений. Специфика измерения вакуума при низких температурах. Эффект Кнудсена. Течеискатели галоидного типа, массо-спектрометрические течеискатели. Автоматы контроля герметичности. Вакуумная арматура.

#### 5. Использование элементов криовакуумной техники

Вакуумно-технологические проблемы установок термоядерного синтеза. Условия существования термоядерной реакции. Магнитные ловушки. Лазерный термоядерный синтез. Система откачки продуктов реакции термоядерного синтеза. Требования к вакуумным насосам. Кривооткачка газодинамических установок. Кривовакуумные установки и кривовакуумное оборудование. Вакуумное обеспечение ускорительно-накопительных комплексов.

### **5. Образовательные технологии.**

Методика преподавания дисциплины «Вакуумная техника» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

- обсуждение и защита рефератов по дисциплине;
- проведение мастер-классов экспертов и специалистов по методам расчета и проектирования машин и аппаратов холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «Вакуумная техника» и в целом по дисциплине составляет 30% аудиторных занятий. Занятия лекционного типа составляют 40% от объема аудиторных занятий.

### **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

Текущий контроль успеваемости и промежуточной аттестации проводится по следующим критериям:

- выполнение и защита домашних заданий

При выполнении задания для самостоятельной работы студент должен закрепить теоретические знания и приобрести навыки в инженерных расчетах. При этом необходимо использовать современные источники информации: учебники,

монографии, журналы и др. и также современные методики расчета. В качестве самостоятельной работы предлагается домашнее задание по аппаратам криогенных установок.

Домашнее задание, его характеристика

Основным содержанием домашнего задания является проработка конструкций вакуумных систем и их расчет.

При выполнении домашнего задания студент должен показать свое умение оценить техническое состояние оборудования, проанализировать условия его работы, а также оптимизировать технологические и конструктивные параметры. При этом необходимо использовать пакет прикладных программ для расчета на ЭВМ. Домашнее задание представляется в виде записки, включающей текстовую и расчетную части, а также рисунки, графики и чертежи.

Образцы контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, экзаменационных билетов, приведены в приложении.

### **6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю).**

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

<b>Код компетенции</b>	<b>В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать</b>
ПК-9	готовностью выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

### **6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания**

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

<b>ПК-9</b> - готовностью выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов				
<b>Показатель</b>	<b>Критерии оценивания</b>			
	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>номенклатуру базовых элементов вакуумных систем и их характеристики;</li> <li>виды и методы расчета вакуумных систем и их элементов</li> </ul>	<p>Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: Видов и методов расчета вакуумных систем и их элементов</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: Видов и методов расчета вакуумных систем и их элементов. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: Видов и методов расчета вакуумных систем и их элементов, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: Видов и методов расчета вакуумных систем и их элементов, свободно оперирует приобретенными знаниями.</p>
<p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>выбрать вид и тип базовых элементов, вакуумных систем;</li> <li>определять основные характеристики их базовых элементов;</li> </ul>	<p>Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет определять основные характеристики базовых элементов тепло-массообменного оборудования</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: определять основные характеристики базовых элементов тепло-массообменного оборудования. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: определять основные характеристики базовых элементов тепло-массообменного оборудования. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: определять основные характеристик и базовых элементов тепло-массообменного оборудования. Свободно оперирует приобретенным и умениями,</p>

		затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	ситуации.	применяет их в ситуациях повышенной сложности.
<b>владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>современными, в том числе компьютерными, методиками и расчета, проектирования, конструирования, испытания вакуумных систем</li> </ul>	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами и методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания вакуумных систем	Обучающийся владеет методами и методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания вакуумных систем в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет методами и методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания вакуумных систем, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет методами и методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания вакуумных систем, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

*К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Вакуумная техника».*

<b>Шкала оценивания</b>	<b>Описание</b>
-------------------------	-----------------



Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное, правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо если при этом были допущены 2-3 несущественные ошибки.
Удовлетворительно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

**Фонды оценочных средств представлены в приложении 2 к рабочей программе.**

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение**

а) основная литература:

1. Демихов, К.Е. Вакуумная техника: справочник. [Электронный ресурс] / К.Е. Демихов, Ю.В. Панфилов, Н.К. Никулин, И.В. Автономова. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2009. — 590 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/723> — Загл. с экрана.

б) дополнительная литература:

Средства обеспечения освоения дисциплины

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

В специализированной лаборатории кафедры «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы для изучения и проведения лабораторных работ имеются:

- образцы холодильных систем;
- действующие парокompрессионные системы с необходимыми средствами измерения;
- класс для изучения узлов и деталей холодильных систем.
- консультационно-вычислительный класс для самостоятельной работы, оснащенный компьютерами с соответствующим расчетным и графическим программным обеспечением.

## **9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа является одной из существенных частей учебного процесса и предполагает помощь в планировании и контроль со стороны преподавателей.

Самостоятельная работа студентов представляет собой важнейшее звено учебного процесса, без правильной организации которого обучающийся не может быть высококвалифицированным выпускником. Необходимо обеспечить правильное соотношение воспроизводящей и творческой деятельности студентов.

Ключевую роль в самостоятельной работе является постановка целей , которые будут представлять образ положительных последствий выполнения поставленных задач.

## **10. Методические рекомендации для преподавателя**

Основным требованием к преподаванию дисциплины является творческий, проблемно-диалоговый подход, позволяющий повысить интерес студентов к содержанию учебного материала.

Основная форма изучения и закрепления знаний по этой дисциплине – лекционная, лабораторная и практическая. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений,

сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Основу учебных занятий по дисциплине составляют лекции. В процессе обучения студентов используются различные виды учебных занятий (аудиторных и внеаудиторных): лекции, семинарские занятия, лабораторные работы, консультации и т.д. На первом занятии по данной учебной дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения, раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только четко обозначив ее характер, тему и круг тех вопросов, которые в ее ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрыть содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала вопросы и давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических и лабораторных занятий – обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы.

Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам, желанию у студентов поработать у доски при решении задач.

После каждого лекционного, лабораторного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки бакалавров **16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения**, профиль подготовки **«Холодильная техника и технологии»**.

**Программу составил:**

доцент кафедры «Техника низких температур», к.т.н.  /А.Е. Ермолаев/

**Программа утверждена на заседании кафедры «Техника низких температур»**  
« 17 » 06 2020 г., протокол № 95

Заведующий кафедрой, к.т.н.

 /С.В. Белуков/



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы  
жизнеобеспечения»

ОП (профиль): « Холодильная техника и технологии. Исследователь»  
Форма обучения: очная

Вид профессиональной деятельности: (В соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра: ТНТ им. П. Л. Капицы

## **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

### **ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

#### **Вакуумная техника**

- Состав: 1. Паспорт фонда оценочных средств  
2. Описание оценочных средств:

---

---

---

**Составитель:**  
**Ермолаев А.Е.**

Москва, 2020 год

## ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Вакуумная техника					
ФГОС ВО 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»					
В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции:					
КОМПЕТЕНЦИИ		Перечень компонентов	Технология формирования компетен	Форма оценочного средства**	Степени уровней освоения компетенций
ИН-ДЕКС	ФОРМУЛИРОВКА				
ПК-9	готовностью выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• номенклатуру базовых элементов теплообменных аппаратов и их характеристики;</li> <li>• виды и методы расчета вакуумных систем и их элементов;</li> <li>• особенности конструкции аппаратов вакуумных систем, материалы, которые используются при изготовлении аппаратов, процессы, протекающие в этих аппаратах, и современные методы их расчета</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• выбрать вид и тип базовых элементов, вакуумной системы;</li> <li>• определять основные характеристики базовых элементов;</li> </ul>	лекция, самостоятельная работа, семинарские занятия	ДС УО	<p><b>Базовый уровень</b></p> <p>- способен проектировать вакуумные системы и их элементы при помощи основных видов и методов расчета</p> <p><b>Повышенный уровень</b></p> <p>- способен проектировать вакуумные системы и их элементы при помощи основных видов и методов расчета, выполнять их оптимизацию с учетом установленных требований</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• выбрать и рассчитать оптимальную конструкцию аппаратов для вакуумных установок</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• современными, в том числе компьютерными, методиками расчета, проектирования, конструирования, испытания вакуумных систем</li> <li>• методами проектирования машин и аппаратов вакуумной техники</li> </ul>			
--	--	---	--	--	--

\*\* - Сокращения форм оценочных средств см. в приложении 2 к РП.



## Перечень оценочных средств по дисциплине: Вакуумная техника

№ ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в ФОС
1	Доклад, сообщение (ДС)	Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы	Темы докладов, сообщений
2	Устный опрос, собеседование, (УО)	Средство контроля, организованное как специальная беседа педагогического работника с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам/разделам дисциплины

Кафедра ТНТ им. П. Л. Капицы  
(наименование кафедры)

# Кафедра «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы

(наименование кафедры)

<b>ПК-9 - готовность выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов</b>				
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	<b>Недифференцированный зачет</b>		
		Критерии оценивания		
		<b>не зачтено</b>	<b>зачтено</b>	
Обучающийся способен проектировать вакуумные системы и их элементы и их элементы при помощи основных видов и методов расчета, выполнять их оптимизацию с учетом установленных требований	1 – 7	Обучающийся демонстрирует неполное владение знаниями, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний по ряду показателей.	Обучающийся демонстрирует частичное владение знаниями, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное владение знаниями, свободно оперирует приобретенным и знаниями.

## Вопросы к экзамену

по дисциплине: вакуумная техника

Вопросы для проверки уровня обученности ЗНАТЬ:

1. Краткие сведения из истории развития вакуумной техники.

Процесс откачки вакуумной системы, понятие пропускной способности вакуумной коммуникации и скорости откачки основное уравнение вакуумной техники.

2. Понятие идеального газа, основные законы идеальных газов. Отличие газа и пара, изображение процессов в  $T - S$   $P - i$  диаграммах.

Конструктивная схема жидкостнокольцевого (водокольцевого) вакуумного насоса, достоинства и недостатки.

3. Распределение молекул по скоростям, формула Максвелла – Больцмана, число молекул, подающих на единицу поверхности в единицу времени.

Динамика откачки вакуумных систем, пять случаев откачки.

4. Криогенные и конденсационные вакуумные насосы.

Рабочие вещества вакуумных насосов

5. Двухроторные вакуумные насосы, типа Рутс.

Характеристика вакуумного насоса, максимальное давление впуска и выхлопа

6. Классификация средств вакуумной откачки.

Диапазон действия насоса по создаваемому остаточному давлению.

7. Многопластинчатые вакуумные насосы, конструктивная схема, производительности.

Характерный размер вакуумной коммуникации, понятие относительности вакуума.

8. Признаки механических вакуумных насосов с внутренним сжатием, примеры подобных средств вакуумной откачки.

Диффузионные вакуумные насосы, принцип действия.

Вопросы (задачи/задания) для проверки уровня обученности УМЕТЬ:

1. Длина свободного пробега молекул газа критерий Кнудсена, определение вакуума.

Режимы течения газов в вакуумной технике, критерий перехода.

2. Задачи расчета вакуумных систем при стационарных и нестационарных режимах. Классификация механических вакуумных насосов.

3. Пароэжекторные вакуумные насосы, области применения средства измерения. Средства измерения вакуума

4. Схема разгонного устройства диффузионного вакуумного насоса.

Конструктивная схема ловушки паров масла.

5. Методика нахождения предельного остаточного давления в механическом вакуумном насосе с внутренним сжатием.

Предложить схему переохладения жидкого водорода методом вакуумной откачки.

6. Понятие коэффициента аккомодации. Поправка Сёзерленда, её смысл и значение. Специфика откачки водяного пара.

Вопросы (задачи/задания) для проверки уровня обученности ВЛАДЕТЬ:

1. Явление переноса в разреженных газах, теплопроводность, внутреннее трение, диффузия.

Определение максимальной работы сжатия в механическом насосе с внутренним сжатием.

2. Пропускная способность вакуумных коммуникаций при вязкостном и молекулярном режимах течения. Формула Пуазеля. Водоструйные вакуумные насосы, формула Бернулли.
3. Вакуумная откачка жидко – капельных веществ на примере воды, дифференциальный тепловой баланспроцесса.  
Винтовые вакуумные насосы модели “Кобра”.
4. Методика определения эффективной скорости откачки вакуумного насоса.  
Рассчитать время охлаждения 100 л. Воды от начальной температуры  $t_w^H=25^\circ\text{C}$  до температуры  $3^\circ\text{C}$  посредством вакуумного насоса со скоростью откачки 50 л/с
5. Предельные режимы работы двухроторных насосов по скорости вращения ведущего ротора, расчет потребляемой энергии.  
Предложить схему вакуумной откачки паров кислорода.
6. Определение изменения атмосферного давления с высотой подъёма над уровнем земли, формула Больцмана.  
Связь вакуумной и криогенной техники, предложить примеры.
7. Золотнико – плунжерный вращательный вакуумный насос, особенности конструкции. Подобрать средство вакуумной откачки для помещения остаточного давления  $10^{-4}$  мм рт. ст.

## Форма экзаменационного билета

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Высшая школа печати и медиаиндустрии

---

Институт \_\_\_\_\_ Кафедра ТНТ им. П. Л. Капицы  
*полное наименование института* *сокращенное наименование кафедры*

Дисциплина вакуумная техника

Направление подготовки (специальность) 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

Курс \_\_\_\_\_, семестр \_\_\_\_\_

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № \_\_\_\_.

1. Многопластинчатые вакуумные насосы, конструктивная схема, производительности. Характерный размер вакуумной коммуникации, понятие относительности вакуума.
2. Понятие коэффициента аккомодации. Поправка Сёзерленда, её смысл и значение. Специфика откачки водяного пара.
3. Определение изменения атмосферного давления с высотой подъёма над уровнем земли, формула Больцмана.

Утверждено на заседании кафедры «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г., протокол № \_\_\_\_.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
*подпись* *расшифровка*

---

Кафедра «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы  
(наименование кафедры)

<b>ПК-9 - готовность выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов</b>				
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	Недифференцированный зачет		
		Критерии оценивания		
		не зачтено	зачтено	
Обучающийся способен проектировать вакуумные системы и их элементы и их элементы при помощи основных видов и методов расчета, выполнять их оптимизацию с учетом установленных требований	1 – 7	Обучающийся демонстрирует неполное владение знаниями, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний по ряду показателей.	Обучающийся демонстрирует частичное владение знаниями, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное владение знаниями, свободно оперирует приобретенным и знаниями.

## Темы рефератов, докладов, сообщений

по дисциплине вакуумная техника

(наименование дисциплины)

1. Принципиальные конструктивные схемы вакуумных систем. Конструктивные особенности.
2. Особенности откачки в вакуумных системах
3. Основное уравнение вакуумной техники.
4. Обзор по современным конструкциям роторных вакуумных насосов ( по материалам журнала “ вакуумная техника и технология”).
5. Обзор по современным конструкциям золотниково-плунжерных вакуумных насосов ( по материалам журнала “ вакуумная техника и технология”).
6. Обзор по современным конструкциям диффузионных вакуумных насосов ( по материалам журнала “ вакуумная техника и технология”).
7. Обзор по современным конструкциям золотниково-плунжерных вакуумных насосов ( по материалам журнала “ вакуумная техника и технология”).
8. Обзор по современным конструкциям золотниково-плунжерных вакуумных насосов ( по материалам журнала “ вакуумная техника и технология”).

9. Обзор по современным конструкциям водокольцевых вакуумных насосов ( по материалам журнала “ вакуумная техника и технология”).

# Кафедра «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы

(наименование кафедры)

ПК-9 - готовность выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов				
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	Недифференцированный зачет		
		Критерии оценивания		
		не зачтено	зачтено	
Обучающийся способен проектировать вакуумные системы и их элементы и их элементы при помощи основных видов и методов расчета, выполнять их оптимизацию с учетом установленных требований	1 – 7	Обучающийся демонстрирует неполное владение знаниями, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний по ряду показателей.	Обучающийся демонстрирует частичное владение знаниями, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное владение знаниями, свободно оперирует приобретенным и знаниями.

## Темы индивидуальных заданий

по дисциплине вакуумная техника

(наименование дисциплины)

### Задание № 1

1. Найти степень вакуума для камеры кубической формы с геометрическими размерами 500x500x500 мм если давление воздуха внутри камеры  $P=2 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.
2. Подобрать средство вакуумной откачки для достижения такого остаточного давления.

### Задание № 2

1. Определить пропускную способность трубопровода диаметром 40 мм при среднем давлении пропускаемого через трубопровод воздуха 4,2 мм рт. ст.
2. Определить время откачки камеры объемом 800 м<sup>3</sup> насосом со скоростью откачки  $S_n=20$  л/с до остаточного давления  $P_0 = 15$  мм рт. ст., начальное давление  $P_n=P_{атм}$ .

### Задание № 3

1. Провести расчет молекулярной концентрации газа при давлениях 100; 0,1; 10<sup>-4</sup>; 10<sup>-7</sup>; 10<sup>-12</sup> Па и температуре  $t=27^\circ\text{C}$



2. Составить реферат обзор по рабочим веществам вакуумных насосов.

#### Задание № 4

1. Рассчитать время охлаждения 100 л. Воды от начальной температуры  $t_w^h=25^\circ\text{C}$  до температуры  $3^\circ\text{C}$  с помощью вакуумного насоса со скоростью откачки 50 л/с.
2. Определить толщину слоя криосадка из водного инея на изотермической поверхности плоской стенки с температурой  $t_{cm} = -120^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха  $\varphi=0,9$ , температура воздуха  $t_g = 17^\circ\text{C}$ .

#### Задание № 5

1. Определить массу воды, которую следует откачать в виде водяного пара для охлаждения 300 л воды от начальной температуры  $t_w^h=35^\circ\text{C}$  до температуры  $t_w^k=7^\circ\text{C}$
2. Найти температуру воздуха на высоте  $h=8000$  м.

#### Задание № 6

1. Найти максимальное значение адиабатной работы сжатия воздуха в вакуумном насосе с внутренним сжатием. Начальное давление откачки – атмосферное давление.
2. Предложить схему вакуумной откачки пара кислорода

#### Задание № 7\*

1. Выполнить расчет скорости откачки конденсационного насоса, поверхность трубок которого составляет 100 м<sup>2</sup>, конденсируется водяной пар, температура воды на входе в трубчатку  $t_{w1} = 20^\circ\text{C}$ , диаметр трубки 16x1,5 мм. Трубки расположены горизонтально.

#### Задание № 8

1. Определить эффективную скорость откачки объекта через трубопровод диаметром  $\varnothing=70$  мм, длина коммуникаций  $l=3$  м скорость откачки двухроторного насоса  $S_n=250$  л/с, среднее рабочее давление  $\bar{P}=10-2$  мм рт.ст.
2. Предложить конструктивную схему криоловушки паров масла.

#### Задание № 9

1. Определить объём киломоля газа при  $P=750$  мм рт. ст. и температуре  $t=27^\circ\text{C}$
2. Найти массовую производительность по откачке водяного пара при давлении на входе в насос  $P_n=745$  мм рт. ст. и начальной температуре пара  $t_n=25^\circ\text{C}$ ,  $S=40$  л/с.

#### Задание № 10

1. Составить схему откачки газообразного водорода и определить время откачки из емкости с начальным давлением  $P_{атм}$  до остаточного давления  $P_0=74$  мм рт. ст. вакуумный насос со скоростью откачки  $S=200$  л/с.

#### Задание № 11

1. Найти время охлаждения 300 л воды с начальной температурой  $t_w^h=25^\circ\text{C}$  до температуры  $t_w^k=5^\circ\text{C}$ , насос имеет скорость откачки  $S=120$  л/с ; для данного случая

определить поверхность кожухотрубного конденсатора, если плотность теплового потока составляет  $q=5000 \frac{Вт}{м^2}$

#### Задание № 12

Выполнить расчет газификатора жидкого кислорода в количестве  $1200 \frac{кг}{час}$ , если температура окружающей среды составляет  $t_{окр}= 12^{\circ}C$ , недорекуперация на теплом конце  $\Delta t_{нед}= 12^{\circ}C$ , рабочее давление газифицируемого потока 0,6 МПа.

#### Задание № 13\*

Рассчитать водовоздушный эжектор при неизменном давлении воды перед рабочим соплом и переменном расходе инжектируемого воздуха. Исходные данные: давление инжектируемого воздуха  $P_u= 12$  кПа, расход инжектируемого воздуха  $G_g= 2,3$  кг/час, температура инжектируемого воздуха  $t_g= 15^{\circ}C$ , давление рабочей воды перед соплом  $P_p= 0,4$  МПа, температура рабочей воды  $t_p= 15^{\circ}C$ . Сжатая водовоздушная смесь выбрасывается в атмосферу  $P_a=100$  кПа. Литература Берман А.Д., Ефимочкин Г.И. “Методика расчета водоструйного эжектора” Теплоэнергетика 1964 № 8.

#### Задание № 14\*

Определить пропускную способность трубопровода длина которого составляет  $L=1,7$  м внутренний диаметр трубы  $d_{вн}= 0,035$  м, среднее давление воздуха в трубопроводе  $\bar{P}=4$  мм рт.ст. Найти эффективную скорость откачки объекта, если производительность насоса (скорость откачки) составляет 50 л/с

#### Задание № 15\*

Определить мощность потребляемую двухроторным насосом со скоростью откачки  $S=200$  л/с и давлением на всасывании  $P=1,5$  мм рт. ст., давлением нагнетания соответствует давлению насыщения паров воды при их конденсации в водяном кожухотрубном конденсаторе при температуре воды на входе  $t_{w1}= 20^{\circ}C$ .

#### Задание № 16\*

Определить толщину слоя криоосадка из твердой углекислоты на изотермической поверхности с температурой  $t_{cm}= -161^{\circ}C$ , концентрацию углекислоты принять по содержанию её в воздухе.

#### Задание № 17

Составить реферат обзор по криоадсорбционным вакуумным насосам.