Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 23.05.2024 11:58:43
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

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

Факультет химической технологии и биотехнологии

УТВЕРЖДАЮ
Декан
_____ /А.С. Соколов /
«13» февраля 2024 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# «Циклы криогенных систем»

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

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

Квалификация
**бакалавр**

Формы обучения
**очная**

Москва, 2024 г.

**Разработчик(и):**

доцент, к.т.н. / А.Е. Ермолаев /

**Согласовано:**
Заведующий кафедрой «Техника низких температур»,
к.т.н. / Д.А. Некрасов /

# Содержание


1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине....4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы....4
3. Структура и содержание дисциплины....4
   - 3.1. Виды учебной работы и трудоемкость....4
   - 3.2. Тематический план изучения дисциплины....6
   - 3.3. Содержание дисциплины....7
   - 3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий....7
   - 3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)....7
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение....7
   - 4.1. Нормативные документы и ГОСТы....7
   - 4.2. Основная литература....7
   - 4.3. Дополнительная литература....7
   - 4.4. Электронные образовательные ресурсы....8
   - 4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение....8
   - 4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы....8
5. Материально-техническое обеспечение....8
6. Методические рекомендации....8
   - 6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения....8
   - 6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины....8
7. Фонд оценочных средств....9
   - 7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения....9
   - 7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения....9
   - 7.3. Оценочные средства....9

## 1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К основным целям освоения дисциплины «Циклы криогенных систем» следует отнести:

- обобщить и конкретизировать знания по основополагающим принципам получения и применения криогенных температур.

К основным задачам освоения дисциплины «Циклы криогенных систем» следует отнести формирование навыков и умений:

- применение принципов термодинамики для расчета и анализа криогенных установок;
- изучение методов понижения температуры рабочих тел криогенных установок;
- освоение процессов и циклов, протекающих в криогенных системах;
- расчет циклов и схем для процессов в криогенных системах.

Обучение по дисциплине «Циклы криогенных систем» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

| Код и наименование компетенций | Индикаторы достижения компетенции |
|---|---|
| ПК-3. Способен разрабатывать методику расчета или проектирования и проводить их | - Знает виды и методики расчетов системы холодоснабжения<br>- Умеет определять необходимый перечень расчетов для проектирования системы холодоснабжения<br>- Умеет определять методику расчета и определения тепловых нагрузок на систему холодоснабжения в соответствии с положениями нормативных правовых актов в сфере технического регулирования и стандартизации и видом расчета<br>- Умеет выбирать наиболее эффективную конструктивную схему системы холодоснабжения |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина «Циклы криогенных систем» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами ООП:

- Введение в специальность;
- Теоретические основы низкотемпературной техники;
- Холодильные машины.

## 3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных(е) единиц(ы) (180 часа (ов)).

### 3.1 Виды учебной работы и трудоемкость
(по формам обучения)

3.1.1. Очная форма обучения

| № п/п | Вид учебной работы | Количество часов | Семестры | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 5 | |
| **1** | **Аудиторные занятия** | **72** | **72** | |
| | В том числе: | | | |
| 1.1 | Лекции | 36 | 36 | |
| 1.2 | Семинарские/практические занятия | 36 | 36 | |
| 1.3 | Лабораторные занятия | | | |
| **2** | **Самостоятельная работа** | **108** | **108** | |
| | В том числе: | | | |
| 2.1 | Проработка лекционного материала | 36 | 36 | |
| 2.2 | Подготовка к семинарам | 72 | 72 | |
| 2.3 | Подготовка к лабораторным работам | | | |
| **3** | **Промежуточная аттестация** | | | |
| | Зачет/диф.зачет/экзамен | **зачет** | **зачет** | |
| | **Итого** | **180** | **180** | |

### 3.2 Тематический план изучения дисциплины

(по формам обучения)

3.2.1. Очная форма обучения

| № п/п | Разделы/темы дисциплины | Трудоемкость, час | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Всего | Аудиторная работа | | | | Самостоятельная работа |
| | | | Лекции | Семинарские/ практические занятия | Лабораторные занятия | Практическая подготовка | |
| 1 | Введение. Шкала температур и основные рабочие вещества низкотемпературной техники. Основные понятия и законы. Свойства рабочих веществ низкотемпературной техники. Основные законы (начала) термодинамики. Уравнение состояния реального газа. Закон соответственных состояний. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 2 | Термодинамические и теплофизические свойства веществ. Особенности криогенных веществ. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 3 | Основные рабочие линии диаграммы T-s диаграммы при p > 0,1 МПа.Фазовые пограничные линии на T-s диаграмме. T-s диаграмма в | **10** | 2 | 2 | | | 6 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | области рабочих давлений. | | | | | | |
| 4 | Основные процессы для получения низких температур. Принцип получения низких температур с использованием газообразных веществ. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 5 | Изменение основных термодинамических параметров при сжатии реальных газов. Работа изотермического сжатия. Реальный процесс сжатия. Определение работы сжатия в компрессоре. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 6 | Процесс дросселирования. Температура инверсии. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 7 | Процесс расширения в детандере. Адиабатное необратимое расширение газа с совершением внешней работы (выхлоп). | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 8 | Циклы криогенных установок. Идеальные циклы низкотемпературных установок. Идеальный цикл охлаждения. Идеальный цикл сжижения. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 9 | Криогенные циклы с дросселированием. Теоретический цикл термостатирования (без учета потерь). Действительный цикл термостатирования (с учетом потерь). | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 10 | Цикл сжижения с однократным дросселированием. Теоретический цикл без учета потерь. Действительный цикл сжижения с однократным дросселированием. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 11 | Цикл сжижения с однократным дросселированием и предварительным внешним охлаждением. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 12 | Циклы с применением нескольких ступеней охлаждения. Цикл с двойным дросселированием и циркуляцией дроссельного потока. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 13 | Сравнительные характеристики циклов сжижения воздуха. Циклы с дросселированием и | **10** | 2 | 2 | | | 6 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | расширением рабочего вещества в детандере. | | | | | | |
| 14 | Цикл среднего давления. Цикл высокого давления. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 15 | Сложные циклы. Ожижительные циклы. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 16 | Цикл с дросселированием, расширением рабочего газа в детандере и предварительным внешним охлаждением. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 17 | Цикл с двумя каскадно включенными детандерами и дроссельной ступенью охлаждения. | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| 18 | Циклы газовых холодильных машин (цикл Стирлинга). | **10** | 2 | 2 | | | 6 |
| Итого | | **180** | 36 | 36 | | | 108 |

### 3.3 Содержание дисциплины

1. Введение. Шкала температур и основные рабочие вещества низкотемпературной техники.

2. Основные понятия и законы. Свойства рабочих веществ низкотемпературной техники.

3. Основные законы (начала) термодинамики.

4. Уравнение состояния реального газа. Закон соответственных состояний.

5. Термодинамические и теплофизические свойства веществ.

6. Особенности некоторых веществ.

7. Основные рабочие линии диаграммы T-s диаграммы при $p > 0{,}1$ МПа.

8. Фазовые пограничные линии на T-s диаграмме.

9. T-s диаграмма в области рабочих давлений.

10.Основные процессы для получения низких температур.

11.Принцип получения низких температур с использованием газообразных веществ.

12.Изменение основных термодинамических параметров при сжатии реальных газов. Работа изотермического сжатия.

13.Реальный процесс сжатия. Определение работы сжатия в компрессоре.

14.Процесс дросселирования.

15.Температура инверсии.

16.Процесс расширения в детандере.

17.Адиабатное необратимое расширение газа с совершением внешней работы (выхлоп).

18.Циклы криогенных установок.

19.Идеальные циклы низкотемпературных установок. Идеальный цикл охлаждения. Идеальный цикл сжижения.

20.Криогенные циклы с дросселированием. Теоретический цикл термостатирования (без учета потерь). Действительный цикл термостатирования (с учетом потерь).

21.Цикл сжижения с однократным дросселированием. Теоретический цикл без учета потерь. Действительный цикл сжижения с однократным дросселированием.

22.Цикл сжижения с однократным дросселированием и предварительным внешним охлаждением.

23.Циклы с применением нескольких ступеней охлаждения.

24.Цикл с двойным дросселированием и циркуляцией дроссельного потока.

25.Сравнительные характеристики циклов сжижения воздуха.

26.Циклы с дросселированием и расширением рабочего вещества в детандере. Цикл среднего давления. Цикл высокого давления.

27.Сложные циклы. Ожижительные циклы.

28.Цикл с дросселированием, расширением рабочего газа в детандере и предварительным внешним охлаждением.

29.Цикл с двумя каскадно включенными детандерами и дроссельной ступенью охлаждения.

30.Циклы газовых холодильных машин (цикл Стирлинга).

## 3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

1. Свойства рабочих веществ низкотемпературной техники. Уравнение состояния реального газа. Закон соответственных состояний.
2. Термодинамические и теплофизические свойства веществ. Особенности криогенных веществ.
3. Основные рабочие линии диаграммы T-s диаграммы при p > 0,1 МПа.Фазовые пограничные линии на T-s диаграмме. T-s диаграмма в области рабочих давлений.
4. Основные процессы для получения низких температур. Принцип получения низких температур с использованием газообразных веществ.
5. Изменение основных термодинамических параметров при сжатии реальных газов. Работа изотермического сжатия. Реальный процесс сжатия. Определение работы сжатия в компрессоре.
6. Процесс дросселирования.
7. Процесс расширения в детандере. Адиабатное необратимое расширение газа с совершением внешней работы (выхлоп).
8. Циклы криогенных установок. Идеальные циклы низкотемпературных установок. Идеальный цикл охлаждения. Идеальный цикл сжижения.
9. Криогенные циклы с дросселированием. Теоретический цикл термостатирования (без учета потерь). Действительный цикл термостатирования (с учетом потерь).
10. Цикл сжижения с однократным дросселированием. Теоретический цикл без учета потерь. Действительный цикл сжижения с однократным дросселированием.
11. Цикл сжижения с однократным дросселированием и предварительным внешним охлаждением.
12. Циклы с применением нескольких ступеней охлаждения. Цикл с двойным дросселированием и циркуляцией дроссельного потока.
13. Сравнительные характеристики циклов сжижения воздуха.
14. Циклы с дросселированием и расширением рабочего вещества в детандере.
15. Цикл среднего давления. Цикл высокого давления.
16. Сложные циклы. Ожижительные циклы.
17. Цикл с дросселированием, расширением рабочего газа в детандере и предварительным внешним охлаждением.
18. Цикл с двумя каскадно включенными детандерами и дроссельной ступенью охлаждения.

19. Циклы газовых холодильных машин (цикл Стирлинга).

3.4.2. Лабораторные занятия

Не предусматрено.

### 3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

1. Расчет

## 4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

### 4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 26460-85. Продукты разделения воздуха. Газы. Криопродукты. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение. - М.: Стандартинформ, 2006.
2. ГОСТ 32968-2014 Оборудование холодильное. Агенты холодильные. Требования по применению и извлечению. - М.: Стандартинформ, 2019.
3. ГОСТ 33662.1-2015 (ISO 5149-1:2014) Холодильные системы и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 1. Определения, классификация и критерии выбора. - М.: Стандартинформ, 2016.

### 4.2 Основная литература

1. Короткий, И. А. Теория и расчет криогенных систем : учебное пособие / И. А. Короткий. — Кемерово : КемГУ, 2022. — 166 с. — ISBN 978-5-8353-2918-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/290588(дата обращения: 28.08.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### 4.3 Дополнительная литература

1. Усов, А. В. Основы холодильной техники : учебное пособие / А. В. Усов, И. А. Короткий. — 2-е изд. перераб. и доп. — Кемерово : КемГУ, 2016. — 121 с. — ISBN 978-5-89289-936-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/99565(дата обращения: 28.08.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### 4.4 Электронные образовательные ресурсы

1. Циклы криогенных систем
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=9265

### 4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

нет

### 4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

нет

*Ссылки на ресурсы должны содержать актуальный электронный адрес и быть доступными для перехода с любого компьютера.*

## 5. Материально-техническое обеспечение

Лекционные и практические занятия проводятся в специализированных аудиториях кафедры Ав2214 и Ав2103, оснащенных соответствующим испытательным стендовым оборудованием, плакатами, натурными образцами узлов, деталей машин.

При кафедре работает консультационно-вычислительный класс Ав2209 для самостоятельной работы, оснащенный компьютерами с соответствующим расчетным и графическим программным обеспечением.

## 6. Методические рекомендации

### 6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

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 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, 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 чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её 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 риторические вопросы и самому 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.

### 6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа является одним из видов получения образования обучающимися и направлена на:

- изучение теоретического материала, подготовка к лекционным, семинарским (практическим) занятиям;
- подготовка к защите самостоятельной работы;
- подготовка к тестированию с использованием общеобразовательного портала.

Самостоятельная работа студентов представляет собой важнейшее звено учебного процесса, без правильной организации которого обучающийся не может быть высококвалифицированным выпускником.

Студент должен помнить, что начинать самостоятельные занятия следует с первого семестра и проводить их регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

Важно полнее учесть обстоятельства своей работы, уяснить, что является главным на данном этапе, какую последовательность работы выбрать, чтобы выполнить ее лучше и с наименьшими затратами времени и энергии.

Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Студент должен помнить, что в процессе обучения важнейшую роль играет самостоятельная работа с книгой. Научиться работать с книгой – важнейшая задача студента. Без этого навыка будет чрезвычайно трудно изучать программный материал, и много времени будет потрачено нерационально. Работа с книгой складывается из умения подобрать необходимые книги, разобраться в них, законспектировать, выбрать главное, усвоить и применить на практике.

# 7. Фонд оценочных средств

## 7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

До даты проведения промежуточной аттестации студент должен выполнить все работы, предусмотренные настоящей рабочей программой дисциплины.

Перечень обязательных работ, выполняемых в течение семестра

- Устный опрос, собеседование
- Курсова работа
- Тестирование

## 7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Результаты обучения оцениваются по балльной шкале, баллы начисляются студенту по результатам выполнения обязательных работ.

| Оценка | Количество баллов |
|---|---|
| отлично | от 81 до 100 |
| хорошо | от 61 до 80 |
| удовлетворительно | от 41 до 60 |
| неудовлетворительно | 40 и менее |

## 7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

**Темы для устных опросов**

1. Шкала температур и основные рабочие вещества низкотемпературной техники.
2. Основные понятия и законы.
3. Свойства рабочих веществ низкотемпературной техники.
4. Основные законы (начала) термодинамики.
5. Уравнение состояния реального газа.
6. Закон соответственных состояний.
7. Термодинамические и теплофизические свойства веществ.
8. Особенности некоторых веществ.
9. Основные рабочие линии диаграммы T-s диаграммы при p > 0,1 МПа.
10. Фазовые пограничные линии на T-s диаграмме.
11. T-s диаграмма в области рабочих давлений.
12. Основные процессы для получения низких температур.
13. Принцип получения низких температур с использованием газообразных веществ.
14. Изменение основных термодинамических параметров при сжатии реальных газов. Работа изотермического сжатия.
15. Реальный процесс сжатия.
16. Определение работы сжатия в компрессоре.
17. Процесс дросселирования.
18. Температура инверсии.
19. Процесс расширения в детандере.
20. Адиабатное необратимое расширение газа с совершением внешней работы (выхлоп).
21. Циклы криогенных установок.
22. Идеальные циклы низкотемпературных установок.
23. Идеальный цикл охлаждения.
24. Идеальный цикл сжижения.
25. Криогенные циклы с дросселированием.

**Пример тестового задания**

1. Необходимым условием ожижения газа является …
=понижение его температуры ниже критической
~достижение критической температуры
~реализация сверхкритического цикла
~двухкратное дросселирование

2. Криопродукты, получаемые в результате разделения воздуха и СПГ …
=азот, кислород, водород, гелий
~диоксид углерода, кислород, вода, неон
~водород, кислород, вода, криптон
~азот, кислород, диоксид углерода

3. Азеотропные смеси...
=Ведут себя как моновещество
~Имеют температурный глайд
~Имеют малую теплоту парообразования
~Все перечисленное

4. Для предотвращения температурной засечки …
=на прямом потоке устанавливается промежуточный дроссель
~на прямом потоке устанавливается азотная ванна
~на прямом потоке устанавливается водородная ванна
~прямой поток направляют в ожижитель

5. Литр жидкого азота, испаряясь, образует примерно …
=700 литров газа
~100 литров газа
~1000 литров газа
~3000 литров газа

**Темы для подготовки к защите курсовой работы**

1. Реальный процесс сжатия.
2. Определение работы сжатия в компрессоре.
3. Процесс дросселирования.
4. Температура инверсии.
5. Процесс расширения в детандере.
6. Адиабатное необратимое расширение газа с совершением внешней работы (выхлоп).
7. Циклы криогенных установок.
8. Идеальные циклы низкотемпературных установок.
9. Идеальный цикл охлаждения.
10. Идеальный цикл сжижения.
11. Криогенные циклы с дросселированием.
12. Фазовые пограничные линии на T-s диаграмме.

7.3.2. Промежуточная аттестация

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».

**Примерные вопросы к экзамену**

1. Шкала температур и основные рабочие вещества низкотемпературной техники.
2. Основные понятия и законы.
3. Свойства рабочих веществ низкотемпературной техники.
4. Основные законы (начала) термодинамики.
5. Уравнение состояния реального газа.
6. Закон соответственных состояний.
7. Термодинамические и теплофизические свойства веществ.
8. Особенности некоторых веществ.
9. Основные рабочие линии диаграммы T-s диаграммы при p > 0,1 МПа.
10. Фазовые пограничные линии на T-s диаграмме.
11. T-s диаграмма в области рабочих давлений.
12. Основные процессы для получения низких температур.
13. Принцип получения низких температур с использованием газообразных веществ.
14. Изменение основных термодинамических параметров при сжатии реальных газов. Работа изотермического сжатия.
15. Реальный процесс сжатия.
16. Определение работы сжатия в компрессоре.
17. Процесс дросселирования.
18. Температура инверсии.
19. Процесс расширения в детандере.
20. Адиабатное необратимое расширение газа с совершением внешней работы (выхлоп).
21. Циклы криогенных установок.
22. Идеальные циклы низкотемпературных установок.
23. Идеальный цикл охлаждения.
24. Идеальный цикл сжижения.
25. Криогенные циклы с дросселированием.
26. Теоретический цикл термостатирования (без учета потерь).
27. Действительный цикл термостатирования (с учетом потерь).
28. Цикл сжижения с однократным дросселированием.
29. Теоретический цикл без учета потерь.
30. Действительный цикл сжижения с однократным дросселированием.
31. Цикл сжижения с однократным дросселированием и предварительным внешним охлаждением.
32. Циклы с применением нескольких ступеней охлаждения.
33. Цикл с двойным дросселированием и циркуляцией дроссельного потока.
34. Сравнительные характеристики циклов сжижения воздуха.
35. Циклы с дросселированием и расширением рабочего вещества в детандере.
36. Цикл среднего давления.
37. Цикл высокого давления.
38. Сложные циклы.
39. Ожижительные циклы.
40. Цикл с дросселированием, расширением рабочего газа в детандере и предварительным внешним охлаждением.

41.Цикл с двумя каскадновключенными детандерами и дроссельной ступенью охлаждения.

42.Циклы газовых холодильных машин (цикл Стирлинга).

43.Исходя из понятия моля газа, определить плотность и удельный объем при н.у. (при T = 273 К и p = 0,101 МПа) для азота, водорода и гелия.

44.Определить плотность газообразных азота, водорода, гелия при T = 200 К и p = 0,101 МПа, если принять их как идеальные.

45.С помощью T-s диаграммы определить, сколько «холода» выводится из установки с 1 кг жидкого азота при p = 0,1 МПа.

46.Какое количество теплоты необходимо отвести от 1 кг азота при p =

0,1 МПа для его охлаждения с температуры 300 К до состояния насыщенного пара. Определить теплоту фазового перехода при p = 0,1 МПа.

47.Мощность нагревателя 10 Вт. Определить, сколько жидкого азота испарится за 1 час работы водонагревателя, помещенного в открытый сосуд Дьюара.

48.Определить работу изотермического сжатия 1 кг воздуха до p2 = 20 МПа, если p1 = 0,1 МПа, T1 = 300 К.

49.Определить, на сколько больше составляет отводимая в процессе изотермического сжатия теплота от затрачиваемой на сжатие работы для идеального газа и для азота при p1 = 0,1 МПа, T1 = 300 К, p2 = 20 МПа.

50.Определить, какой вклад в общую холодопроизводительность низкотемпературной системы вносит процесс изотермического сжатия для:

А) идеального газа;

Б) азота при p1 = 0,1 МПа, T1 = 290 К, p2 = 15 МПа.

В) водорода при p1 = 0,1 МПа, T1 = 290 К, p2 = 15 МПа.

51.Определить, какой вклад в общую холодопроизводительность низкотемпературной установки вносит детандер при расширении в нем 1 кг азота с p1 = 1 МПа, T1 = 300 К, p2 = 0,1 МПа, ns = 0,8.

52.Определить холодопроизводительность детандера, если расход газа азота через него G = 2 кг/с, T1 = 150 К, p1 = 0,6 МПа, p2 = 0,15 МПа, ns = 0,8.

53.Определить конечное значение температуры при расширении газа азота в детандере при T1 = 250 К, p1 = 1,0 МПа, p2 = 0,1 МПа, ns = 0,8.

54.Определить долю пара, полученную при дросселировании жидкого азота при p1 = 2,0 МПа, p2 = 0,1 МПа в состоянии насыщения и в охлажденном состоянии на $\Delta T = 5$ К.

55.Определить для цикла Карно при Тк = 300 К, Тх = 250 К, сколько тепла отводится от охлаждаемого тела при затратах работы 1 Дж.

56.Определить минимальную работу сжижения азота при T0 = 300 К, p1 = 0,1 МПа.

57.Определить коэффициент сжижения, удельный расход энергии и термодинамический КПД для простого цикла с однократным дросселированием при p2 = 20 МПа, $\Delta$Тн = 5 К, qc = 5 кДж/кг, рабочее вещество – азот.

58.Определить коэффициент сжижения, удельный расход энергии и термодинамический КПД для цикла с предварительным охлаждением холодильной машины и дросселированием при p2 = 20 МПа, T4 = 230 К, $\Delta T1 = \Delta T2 = 5$ К, qc = 5 кДж/кг, рабочее вещество – азот.

**Образец экзаменационного билета**

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

Факультет **ХТиБ** Кафедра **Техника низких температур**
Дисциплина **Циклы криогенных систем**
Направление**16.03.03**
Курс 4, группа **201-551,** форма обучения **очная**

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1.

1. Закон соответственных состояний.
2. Криогенные циклы с дросселированием.
3. Практическое задание. Определить конечное значение температуры при расширении газа азота в детандере при T1 = 250 К, p1 = 1,0 МПа, p2 = 0,1 МПа, ns = 0,8.

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Циклы криогенных систем».

| **Шкала оценивания** | **Описание** |
|---|---|
| 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. |
| Удовлетвори-тельно | 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. |
| Неудовлетвори-тельно | 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. |
| Зачтено | 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. |
| Не зачтено | 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. |