

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета Небольсин В.А.
«31» августа 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Физические основы получения криогенных жидкостей»

Направление подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Профиль Техника и физика низких температур

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы  /К.Г. Королев/

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

Руководитель ОПОП  /О.В. Калядин/

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

приобретение студентами теоретических знаний и представлений о методах и способах получения криогенных жидкостей, а также практических навыков работы с жидкими газами

1.2. Задачи освоения дисциплины

ознакомить студентов с физическими принципами получения криогенных температур, термодинамическими и теплофизическими свойствами сжиженных газов и основами безопасной работы с ними; обеспечить приобретение студентами теоретических знаний об общих физических процессах сжижения газов, а также об обратных термодинамических циклах и квазициклах, реализуемых в технических системах, обеспечивающих получение криогенных жидкостей; обеспечить приобретение студентами практических знаний и навыков расчета, оптимизации, проектирования и конструирования ожижителей газов в целом, а также основного оборудования, входящего в их состав

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физические основы получения криогенных жидкостей» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физические основы получения криогенных жидкостей» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 - Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции |
|-------------|--|
| ОПК-1 | знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях на основе существующих методик |
| | уметь использовать базовые знания термодинамики для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области получения криогенных жидкостей |
| | владеть навыками использования физико-математического аппарата термодинамики для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с получением криогенных жидкостей |

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физические основы получения криогенных жидкостей» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

| Виды учебной работы | Всего часов | Семестры |
|---|-------------|----------|
| | | 6 |
| Аудиторные занятия (всего) | 72 | 72 |
| В том числе: | | |
| Лекции | 36 | 36 |
| Практические занятия (ПЗ) | 36 | 36 |
| Самостоятельная работа | 36 | 36 |
| Виды промежуточной аттестации - зачет | + | + |
| Общая трудоемкость: академические часы | 108 | 108 |
| зач.ед. | 3 | 3 |

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

| № п/п | Наименование темы | Содержание раздела | Лекц | Прак зан. | СРС | Всего, час |
|-------|---|---|------|-----------|-----|------------|
| 1 | Физические принципы получения криогенных температур | Введение. История развития методов получения низких температур и ожижения газов. Основные этапы искусственного получения наиболее низких температур. Понятие температуры и энтропии. Общий принцип охлаждения. Тепловой закон Нернста. Охлаждение вблизи абсолютного нуля. Физические процессы получения температуры более 2 К. Изоэнтропное расширение. Дросселирование сжатого газа. Дифференциальный, интегральный и изотермический эффект Джоуля-Томсона. Процесс расширения из постоянного объема. Физические процессы получения температуры менее 2 К. Откачка паров кипящей жидкости. Адиабатное размагничивание. Ядерное размагничивание. Терромагнитное охлаждение. Десорбционное охлаждение. Намагничивание сверхпроводников. | 6 | 4 | 8 | 18 |
| 2 | Основные понятия о криогенных жидкостях | Криогенные жидкости. Основные понятия. Необходимость получения криогенных жидкостей и области их применения. Особенности технических систем ожижения и замораживания газов. Теоретические процессы конденсирования газов. Идеальные процессы ожижения и замораживания газов. Минимальная работа ожижения и замораживания. Теплоты ожижения и замораживания различных криоагентов. | 6 | 4 | 4 | 14 |
| 3 | Общие физические процессы ожижения газов с использованием газожидкостных компрессионных трансформаторов тепла | Газожидкостные компрессионные трансформаторы тепла. Особенности газожидкостных трансформаторов тепла. Общая структурная схема. Рефрижераторы и ожижители. Основы эксергетического анализа работы. Ожижители | 8 | 8 | 4 | 20 |

| | | | | | | |
|--------------|--|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| | | Линде. Ожижители с дроссельной ступенью окончательного охлаждения (СОО). Ожижители с дроссельно-эжекторной СОО. Ожижители с дроссельной СОО и с внешним охлаждением в ступени предварительного охлаждения (СПО). Принципиальные схемы установок и циклы в Т-S диаграмме. Ожижители с дроссельной СОО и с внутренним охлаждением в СПО. Ожижители среднего давления (Клода). Ожижители высокого давления (Гейландта). Ожижители низкого давления (Капицы). Принципиальные схемы установок и циклы в Т-S диаграмме. Ожижители Сименса. Ожижители с детандерной СОО. Ожижители с детандерной СОО и с внешним охлаждением в СПО. Ожижители с детандерной СОО и с внутренним охлаждением в СПО. Принципиальные схемы установок и циклы в Т-S диаграмме. | | | | |
| 4 | Общие физические процессы ожижения газов с использованием криогенных газовых машин | Газовые циклы и установки с нестационарными процессами. Обратный цикл Стирлинга. Рефрижераторы Гиффорда-Макмагона. Рефрижераторы Вюлемье-Такониса. | 4 | 4 | 4 | 12 |
| 5 | Ожижение метана, водорода и неона | Метан, получение и основные свойства. Получение метана. Теплофизические и термодинамические свойства метана. Расход энергии для сжижения метана. Циклы ожижения метана. Схема установки для сжижения метана в случае искусственного газа. Водород, получение и основные свойства. Получение водорода методом каталитической конверсии. Получение водорода методом электролиза воды. Теплофизические и термодинамические свойства водорода. Орто- и параводород. Естественная и искусственная конверсия. Ожижение водорода методом дросселирования. Принципиальная схема установки и цикл в Т-S диаграмме. Тепловой и материальный балансы цикла, оценка потерь и определение доли получающейся жидкости. Получение жидкого параводорода. Схемы включения реактора в ожижитель. Определение необходимого объема катализатора. Ожижение водорода с использованием других циклов. Ожижение водорода в цикле двух давлений. Цикл ожижения водорода с расширением его в детандере (цикл Клода). Гелиево-водородный конденсационный цикл. Сравнение циклов ожижения водорода по энергоэффективности. Неон, получение и основные свойства. Получение неона. Теплофизические и термодинамические свойства неона. Т-S диаграмма для неона. Перспективы применения жидкого неона как криоагента. Водородные и неоновые ожижители. Техника безопасности при работе с жидкими водородом и неонам. | 6 | 8 | 8 | 22 |
| 6 | Ожижение гелия и его основные | Гелий, получение и основные свойства. | 6 | 8 | 8 | 22 |
| Итого | | | 36 | 36 | 36 | 108 |

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

7.1.1 Этап текущего контроля

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

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции | Критерии оценивания | Аттестован | Не аттестован |
|-------------|--|---|---|---|
| ОПК-1 | знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях на основе существующих методик | <i>Активная работа на практических занятиях</i> | <i>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочей программе</i> | <i>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочей программе</i> |
| | уметь использовать базовые знания термодинамики для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области получения криогенных жидкостей | <i>Решение стандартных практических задач</i> | <i>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочей программе</i> | <i>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочей программе</i> |
| | владеть навыками использования физико-математического аппарата термодинамики для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с получением криогенных жидкостей | <i>Решение прикладных задач в конкретной предметной области</i> | <i>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочей программе</i> | <i>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочей программе</i> |

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции | Критерии оценивания | Зачтено | Не зачтено |
|-------------|---|---|---|---|
| ОПК-1 | знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях на основе существующих методик | <i>Тест</i> | <i>Выполнение теста не менее 80% правильных ответов</i> | <i>В тесте менее 80% правильных ответов</i> |
| | уметь использовать базовые знания термодинамики для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области получения криогенных жидкостей | <i>Решение стандартных практических задач</i> | <i>Выполнение теста не менее 80% правильных ответов</i> | <i>В тесте менее 80% правильных ответов</i> |

| | | | | |
|--|---|--|--|--|
| | <p>владеть навыками использования физико-математического аппарата термодинамики для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с получением криогенных жидкостей</p> | <p><i>Решение прикладных задач в конкретной предметной области</i></p> | <p><i>Выполнение теста не менее 80% правильных ответов</i></p> | <p><i>В тесте менее 80% правильных ответов</i></p> |
|--|---|--|--|--|

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типичные 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) Какие типы относятся к энергетическим трансформаторам теплоты?
 - i) электростанции
 - ii) теплосиловые установки
 - iii) криогенные установки
 - iv) теплонасосные установки
 - v) холодильные установки
- 2) Какие функции осуществляет трансформатор теплоты в случае, когда температура теплоотдатчика ниже температуры окружающей среды, а температура теплоприемника равна температуре окружающей среды?
 - i) рефрижератор
 - ii) тепловой насос
- 3) Какие функции осуществляет трансформатор теплоты в случае, когда температура теплоотдатчика выше температуры окружающей среды, и температура теплоприемника выше температуры окружающей среды?
 - i) рефрижератор
 - ii) тепловой насос
- 4) Какие функции осуществляет трансформатор теплоты в случае, когда температура теплоотдатчика ниже температуры окружающей среды, а температура теплоприемника выше температуры окружающей среды?
 - i) рефрижератор
 - ii) тепловой насос
- 5) Какие трансформаторы теплоты относятся к термомеханическим?
 - i) компрессионные
 - ii) сорбционные
 - iii) струйные
 - iv) термоэлектрические
 - v) магнитоэлектрические
 - vi) термомагнитные
 - vii) электрокалорические
- 6) Какие трансформаторы теплоты относятся к электромагнитным?
 - i) компрессионные
 - ii) сорбционные
 - iii) струйные
 - iv) термоэлектрические
 - v) магнитоэлектрические
 - vi) термомагнитные
 - vii) электрокалорические
- 7) Принцип работы каких трансформаторов теплоты основан на использовании процессов повышения давления какого-либо рабочего тела?

- i) компрессионные
 - ii) сорбционные
 - iii) струйные
 - iv) термоэлектрические
 - v) магнитоэлектрические
 - vi) термомагнитные
 - vii) электрокалорические
- 8) Принцип работы каких трансформаторов теплоты основан на использовании постоянного или переменного электрического или магнитного полей?
- i) компрессионные
 - ii) сорбционные
 - iii) струйные
 - iv) термоэлектрические
 - v) магнитоэлектрические
 - vi) термомагнитные
 - vii) электрокалорические
- 9) Какие особенности свойственны энергии?
- i) зависит от параметров вещества или потока энергии и не зависит от параметров окружающей среды
 - ii) всегда отлична от нуля
 - iii) подчиняется закону сохранения и исчезать не может
 - iv) превращаемость ограничена вторым законом термодинамики для всех процессов
 - v) зависит как от параметров системы, так и от параметров окружающей среды
 - vi) может быть равной нулю
 - vii) в реальных процессах частично или полностью исчезает
 - viii) превращаемость не ограничена для обратимых процессов
- 10) Какие особенности свойственны эксергии?
- i) зависит от параметров вещества или потока энергии и не зависит от параметров окружающей среды
 - ii) всегда отлична от нуля
 - iii) подчиняется закону сохранения и исчезать не может
 - iv) превращаемость ограничена вторым законом термодинамики для всех процессов
 - v) зависит как от параметров системы, так и от параметров окружающей среды
 - vi) может быть равной нулю
 - vii) в реальных процессах частично или полностью исчезает
 - viii) превращаемость не ограничена для обратимых процессов

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

- 1) В каких установках повышение давления возможно посредством механического воздействия на рабочее тело?
- i) в компрессионных установках
 - ii) в сорбционных установках
 - iii) в струйных установках
- 2) В каких установках повышение давления возможно посредством термического воздействия на рабочее тело?
- i) в компрессионных установках
 - ii) в сорбционных установках
 - iii) в струйных установках
- 3) В каких установках повышение давления возможно посредством термохимического воздействия при последовательном осуществлении термохимических реакций поглощения (сорбции)

рабочего тела с отводом теплоты, а затем выделения (десорбции) рабочего тела из сорбента с подводом теплоты?

- i) в компрессионных установках
 - ii) в сорбционных установках
 - iii) в струйных установках
- 4) Какие поведения свойственны суммарной энтропии в системе с преобразованием энергии?
- i) растет
 - ii) остается постоянной
 - iii) уменьшается
 - iv) растет, затем уменьшается
 - v) уменьшается, затем растет
- 5) Какой процесс дросселирования сопровождается нагревом рабочего тела?
- i) при отрицательном эффекте дросселирования
 - ii) при положительном эффекте дросселирования
 - iii) при нулевом эффекте дросселирования
- 6) Какой процесс дросселирования сопровождается охлаждением рабочего тела?
- i) при отрицательном эффекте дросселирования
 - ii) при положительном эффекте дросселирования
 - iii) при нулевом эффекте дросселирования
- 7) Какой процесс дросселирования идет без изменения температуры рабочего тела?
- i) при отрицательном эффекте дросселирования
 - ii) при положительном эффекте дросселирования
 - iii) при нулевом эффекте дросселирования
- 8) Как идет термодинамический процесс при положительном эффекте дросселирования?
- i) процесс идет с понижением температуры
 - ii) процесс идет с повышением температуры
 - iii) процесс идет без изменения температуры
- 9) Как идет термодинамический процесс при отрицательном эффекте дросселирования?
- i) процесс идет с понижением температуры
 - ii) процесс идет с повышением температуры
 - iii) процесс идет без изменения температуры
- 10) Как идет термодинамический процесс при нулевом эффекте дросселирования?
- i) процесс идет с понижением температуры
 - ii) процесс идет с повышением температуры
 - iii) процесс идет без изменения температуры

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

- 1) Для чего предназначена ожижительная установка типа Г-8?
- i) для ожижения газообразного гелия
 - ii) для ожижения газообразного азота
 - iii) для ожижения газообразного водорода
 - iv) для ожижения газообразного кислорода
- 2) Какая температура инверсии гелия?
- i) 40 К
 - ii) 4.215 К
 - iii) 77 К
 - iv) 20.4 К
- 3) Какая температура кипения гелия при атмосферном давлении?
- i) 40 К
 - ii) 4.215 К

- iii) 77 К
 - iv) 20.4 К
- 4) Как изменится температура гелия, если перед дросселированием его температура была 15 К?
- i) температура гелия после дросселирования уменьшится
 - ii) температура гелия после дросселирования увеличится
 - iii) температура гелия после дросселирования не изменится
- 5) Как изменится температура гелия, если перед дросселированием его температура была 77 К?
- i) температура гелия после дросселирования уменьшится
 - ii) температура гелия после дросселирования увеличится
 - iii) температура гелия после дросселирования не изменится
- 6) Что обеспечивает понижение температуры гелия перед расширением в ступени предварительного охлаждения цикла с дросселированием?
- i) ванна охлаждения жидким водород под вакуумом
 - ii) ванна охлаждения жидким азот под вакуумом
 - iii) ванна охлаждения жидким водородом при атмосферном давлении
 - iv) ванна охлаждения жидким азотом при атмосферном давлении
- 7) Какие ступени охлаждения гелия используются в цикле ожижения с дросселированием?
- i) регенеративные теплообменники
 - ii) ванна предварительного охлаждения жидким азотом
 - iii) ванна предварительного охлаждения жидким водородом
 - iv) ванна предварительного охлаждения жидким кислородом
- 8) Какие ступени охлаждения гелия используются в цикле ожижения с детандером?
- i) регенеративные теплообменники
 - ii) ванна предварительного охлаждения жидким азотом
 - iii) ванна предварительного охлаждения жидким водородом
 - iv) ванна предварительного охлаждения жидким кислородом
- 9) Что учитывает технологическая схема гелиевого ожижителя Г-8 с детандером?
- i) газгольдер
 - ii) компрессор
 - iii) блок очистки от масла
 - iv) ожижитель
 - v) баллоны с гелием
 - vi) блок очистки и осушки
 - vii) сосуды Дьюара с азотом
 - viii) вакуумные насосы
 - ix) сосуды Дьюара с гелием
 - x) сосуды Дьюара с водородом
 - xi) сосуды Дьюара с кислородом
- 10) Где расположен блок маслоотделителя установки Г-8?
- i) после компрессора
 - ii) перед компрессором
 - iii) после сосуда Дьюара с гелием, но перед компрессором
 - iv) после дросселя
- 11) Для чего используются вакуумные насосы в установке Г-8?
- i) создание вакуумного пространства в сосудах Дьюара
 - ii) вакуумирование гелия перед компрессором
 - iii) вакуумирование гелия после компрессора
 - iv) вакуумирование гелия перед дросселем
- 12) Что используется в качестве основного материала в блоке осушки гелия установки Г-8?
- i) силикагель

- ii) угольный адсорбер
 - iii) жидкий азот
 - iv) жидкий азот
 - v) вода
- 13) Что используется в качестве основного материала в блоке очистки гелия установки Г-8?
- i) силикагель
 - ii) угольный адсорбер
 - iii) жидкий азот
 - iv) вода
- 14) При каком давлении происходит компримирование гелия в установке Г-8?
- i) от 2,1 МПа до 2.4 МПа
 - ii) от 2,1 кПа до 2.4 кПа
 - iii) от 21 кПа до 24 кПа
 - iv) от 21 МПа до 24 МПа
- 15) Какое количество гелия образуется через 4 ч в сборнике установки Г-8?
- i) 32 л
 - ii) 16 л
 - iii) 10 л
 - iv) 8 л
- 16) Какое количество жидкого азота необходимо для запуска ожижителя установки Г-8?
- i) 20 л
 - ii) 10 л
 - iii) 5 л
 - iv) 8 л
- 17) Какое количество жидкого азота будет использовано после 3 ч работы установки Г-8?
- i) 35 л
 - ii) 43 л
 - iii) 10 л
 - iv) 15 л
- 18) При каком давлении находится технический гелий в баллонах?
- i) 150 атм
 - ii) 15 атм
 - iii) 1 атм
 - iv) 1,5 атм
 - v) 0,1 атм

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. *История развития методов получения низких температур и ожижения газов. Основные этапы искусственного получения наиболее низких температур.*

2. *Понятие температуры и энтропии. Общйй принцип охлаждения. Тепловой закон Нернста.*

3. *Охлаждение вблизи абсолютного нуля.*

4. *Изоэнтронное расширение.*

5. *Дросселирование сжатого газа.*

6. *Дифференциальный, интегральный и изотермический эффект Джоуля-Томсона.*

7. *Процесс расширения из постоянного объема.*

8. *Откачка паров кипящей жидкости.*

9. *Адиабатное размагничивание.*
10. *Ядерное размагничивание.*
11. *Термомагнитное охлаждение.*
12. *Десорбционное охлаждение.*
13. *Намагничивание сверхпроводников.*
14. *Криогенные жидкости. Необходимость их получения и применение.*
15. *Воздух и продукты его разделения. Основные свойства.*
16. *Метан, получение и основные свойства.*
17. *Водород, получение и основные свойства. Орто- и параводород.*
18. *Гелий, получение и основные свойства.*
19. *Диаграмма состояния ^4He . λ -переход.*
20. *Сверхтекучесть гелия. Основные эксперименты. Двухжидкостная модель.*
21. *Представления о гелии как о квантовой жидкости. Причины возникновения сверхтекучего состояния.*
22. *Особенности систем ожижения и замораживания газов.*
23. *Идеальные процессы конденсирования газов.*
24. *Криорефрижераторы. Особенности газожидкостных компрессионных трансформаторов тепла.*
25. *Криорефрижераторы с дроссельной СОО. Изотермический дроссель эффект.*
26. *Газожидкостные компрессионные криорефрижераторы с дроссельной СОО и с внешним охлаждением в СПО.*
27. *Газожидкостные компрессионные криорефрижераторы с дроссельной СОО и с внутренним охлаждением в СПО*
28. *Криорефрижераторы с детандерной СОО.*
29. *Ожижители с дроссельной СОО.*
30. *Ожижители с дроссельной СОО и с внешним охлаждением в СПО.*
31. *Ожижители с дроссельной СОО и с внутренним охлаждением в СПО (процесс Клода).*
32. *Ожижители с дроссельной СОО и с внутренним охлаждением в СПО (процесс Гейландта).*
33. *Ожижители с дроссельной СОО и с внутренним охлаждением в СПО (процесс Капицы).*
34. *Ожижители с детандерной СОО (процесс Сименса)*
35. *Ожижители с детандерной СОО и с внешним охлаждением в СПО (процесс Сименса)*
36. *Ожижители с детандерной СОО и с внутренним охлаждением в СПО (процесс Сименса)*
37. *Газовые циклы и установки с нестационарными процессами.*
38. *Машина, работающая по обратному циклу Стирлинга. Ее использование для ожижения газа.*
39. *Эффект Джоуля. Трансформатор тепла на основе эффекта*

Джоуля.

40. Рефрижераторы Гиффорда-Макмагона. Их использование для ожижения газа.

41. Рефрижераторы Вюлемье-Такониса. Их использование для ожижения газа.

42. Циклы ожижения метана.

43. Схема установки для сжижения метана в случае искусственного газа.

44. Ожижение водорода методом дросселирования. Сравнение с другими циклами ожижения водорода по энергоэффективности.

45. Получение жидкого параводорода. Схемы включения реакторов в ожижительный цикл.

46. Ожижение водорода в цикле двух давлений. Сравнение с другими циклами ожижения водорода по энергоэффективности.

47. Цикл ожижения водорода с расширением его в детандере (цикл Клода). Сравнение с другими циклами ожижения водорода по энергоэффективности.

48. Гелиево-водородный конденсационный цикл. Сравнение с другими циклами ожижения водорода по энергоэффективности.

49. Технологический процесс и схема ожижения водорода на примере ожижителя ВОС-3.

50. Технологический процесс и схема ожижения параводорода.

51. Завод для производства жидкого водорода в больших количествах. Основные технологические стадии и принципиальная схема ожижителя.

52. Ожижение гелия в цикле с дросселированием и предварительным охлаждением в азотной и водородной ваннах.

53. Цикл ожижения гелия с дросселированием и встроенным водородным циклом.

54. Цикл ожижения гелия с азотным охлаждением, детандером и дросселированием.

55. Цикл ожижения гелия с двумя детандерами и дросселированием.

56. Рефрижераторные гелиевые установки.

57. Технологический процесс и схема ожижения гелия на примере ожижителя Г-8

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 20 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 80 %

2. Оценка «Зачтено» ставится, если студент набрал не менее 80 %

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства |
|-------|---|--------------------------------|--|
| 1 | Физические принципы получения криогенных температур | ОПК-1 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 2 | Основные понятия о криогенных жидкостях | ОПК-1 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 3 | Общие физические процессы оживания газов с использованием газожидкостных компрессионных трансформаторов тепла | ОПК-1 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 4 | Общие физические процессы оживания газов с использованием криогенных газовых машин | ОПК-1 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 5 | Ожижение метана, водорода и неона | ОПК-1 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 6 | Ожижение гелия и его основные свойства | ОПК-1 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |

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

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

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

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется

проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1) *Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты : учебник для вузов / А. Н. Антонов, А. М. Архаров, И. А. Архаров [и др.] ; под редакцией А. М. Архарова, И. К. Буткевича. — 2-е изд. — Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2015. — 536 с. — ISBN 978-5-7038-3931-7. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/94148.html>. — Режим доступа: для авторизир. Пользователей*

2) *Борзенко, Е. И. Исследование режимов работы рефрижератора-ожижителя на криогенной гелиевой установке КГУ-150/4,5 : учебно-методическое пособие / Е. И. Борзенко. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, Институт холода и биотехнологий, 2014. — 41 с. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/66491.html>. — Режим доступа: для авторизир. Пользователей*

3) *Белова, О. В. Трансформация теплоты в компрессорных установках холодильной и криогенной техники. Часть 1. Расчеты параметров и потерь в процессах обратных циклов : учебное пособие / О. В. Белова, А. В. Чернышев. — Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2010. — 36 с. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/31361.html>. — Режим доступа: для авторизир. Пользователей*

4) *Буткевич, И. К. Криогенные установки и системы : учебное пособие / И. К. Буткевич. — Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2008. — 144 с. — ISBN 978-5-7038-3140-3. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/31034.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей*

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

1) <https://elibrary.ru>

2) <https://cchgeu.ru>

2) <https://www.iprbookshop.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой

Азотное отделение криогенной лаборатории для проведения практических занятий, в которой размещаются:

- *воздухоразделительная установка АЖА-0,04*
- *криогенная газовая машина ЗИФ-1000*
- *установка, для получения жидкого азота ЗИФ-1002*
- *гелиевый ожижитель Г-8*

Гелиевое отделение криогенной лаборатории для проведения практических занятий, в которой размещаются:

- *установки для получения жидкого гелия Г-45, КГУ*

Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения практических занятий

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

По дисциплине «Физические основы получения криогенных жидкостей» читаются лекции, проводятся практические занятия.

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

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

| Вид учебных занятий | Деятельность студента |
|------------------------|--|
| Лекция | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать 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. |
| Практическое занятие | Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму. |
| Самостоятельная работа | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; |

| | |
|---------------------------------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации. |
| Подготовка к промежуточной аттестации | <p>Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p> |