

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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



УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники и электроники

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 2019

Автор программы

/ О.В. Калядин /

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 ожижения 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 профессио-

нальной 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 зач.ед.	108 3	108 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. Термомагнитное 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	6	4	4	14

		замораживания различных криоагентов.				
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 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 T-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 T-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 T-S диаграмме.	8	8	4	20
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 Вюльме-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 T-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. T-S диаграмма для неона. Перспективы применения жидкого неона как криоагента. Водородные и неоновые ожижители. Техника безопасности при работе с жидкими водородом и неоном.	6	8	8	22
6	Ожижение гелия и его основные свойства	Гелий, получение и основные свойства. Получение гелия. Изотопы ^3He и ^4He .	6	8	8	22

	Теплофизические и термодинамические свойства газообразного гелия. T-S диаграмма для гелия. Свойства жидкого гелия. Диаграммы состояния ^3He и ^4He . λ -переход. Сверхтекучесть жидкого гелия. Основные эксперименты, подтверждающие существование сверхтекучего состояния. Термомеханический и механокалорический эффекты. Ползущая пленка жидкости. Двухжидкостная модель. Представления о гелии как о квантовой жидкости. Причины возникновения сверхтекучего состояния. Ожижение гелия в циклах с дросселированием. Классическая схема ожижения гелия с предварительным охлаждением жидкими азотом и водородом. Цикл ожижения гелия со встроенным водородным циклом. Принципиальные схемы установок и циклы в T-S диаграмме. Тепловой и материальный балансы циклов, оценка потерь и определение доли получающейся жидкости. Ожижение гелия в циклах с детандером. Схема ожижения гелия с предварительным охлаждением жидкими азотом и расширением части потока в поршневом детандере (схема Капицы). Схема ожижения гелия по циклу с двумя детандерами. Схема ожижения гелия по циклу Коллинса. Принципиальные схемы установок и циклы в T-S диаграмме. Тепловой и материальный балансы циклов, оценка потерь и определение доли получающейся жидкости. Ожижение с помощью газовых холодильных машин.				
	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	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	Уметь использовать базовые знания термодинамики для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области получения криогенных жидкостей	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками использования физико-математического аппарата термодинамики для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с получением криогенных жидкостей.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре 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	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Уметь использовать базовые знания термодинамики для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области получения криогенных жидкостей	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Владеть навыками использования физико-математического аппарата термодинамики для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с получением криогенных жидкостей.	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов

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

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

- Какие процессы являются холодопроизводящими
 - дросселирование
 - = изотермическое сжатие
 - = изоэнтропное расширение
 - = выхлоп
- Для сжижения каких газов может быть использован цикл Линде
 - водород

- неон
 - = кислород
 - = воздух
3. Какова размерность удельной работы, необходимой для получения 1 кг сжиженного газа
- кДж
 - кВт
 - = кДж/кг
 - кДж·кг
4. Как изменяются удельные потери через изоляцию с ростом размеров установки
- увеличиваются
 - = уменьшаются
 - Зависят незначительно и неоднозначно
 - Сначала увеличиваются, затем уменьшаются
5. Для чего в цикле высокого давления с дросселированием используется внешнее предварительное охлаждение
- = для увеличения доли сжиженного газа
 - для снижения затраты работы на сжатие
 - = для снижения удельной работы на получение 1 кг сжиженного газа
 - = для возможности сжижения газов с температурой инверсии ниже температуры окружающей среды
 - для возможности сжижения газов с температурой инверсии выше температуры окружающей среды
6. Какое утверждение верно для цикла Линде
- = теплоемкость прямого потока растет с понижением температуры
 - теплоемкость прямого потока и обратного примерно равны
 - теплоемкость обратного потока больше чем прямого
 - = теплоемкость прямого потока больше чем обратного
7. Для чего в первую очередь необходимо использовать регенеративный теплообмен в ожижительных циклах
- = для снижения рабочего перепада давления
 - для повышения холодильного коэффициента
 - для увеличения доли сжиженного газа
 - для сокращения удельной работы
8. Для сжижения каких газов применим цикл высокого давления с дросселированием и предварительным охлаждением жидким аммиаком
- водород
 - неон
 - гелий
 - = воздух
9. Какой цикл характеризуется наименьшей работой на 1 кг сжиженного газа
- Линде
 - Клода
 - = Гейландта
 - Капицы
10. Какие криоагенты можно использовать для предварительного охлаждения водорода в цикле с дросселированием
- аммиак
 - фреон R134a
 - = жидкий воздух
 - = жидкий азот

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1 Какую температуру предварительного охлаждения можно обеспечить в водородном ожижительном цикле используя жидкий азот

55 К

60 К

=65 К

77 К

2 Какую температуру предварительного охлаждения можно обеспечить в водородном ожижительном цикле используя жидкий кислород

=55 К

60 К

=65 К

77 К

3 Какое оптимальное давление в цикле высокого давления с дросселированием при ожижении водорода

80-100 бар

=120-140 бар

140-160 бар

180-200 бар

4 Чему равна недорекуперация в нижней ступени цикла высокого давления с дросселированием для ожижения водорода

=3 К

5 К

7 К

15 К

5 Чему равна недорекуперация в верхней ступени цикла высокого давления с дросселированием для ожижения водорода

3-4 К

5-6 К

7-8 К

=10-15 К

6 Какую долю составляют дополнительные затраты жидкого азота от расчетной величины в цикле высокого давления с дросселированием для ожижения водорода

=30-50 %

10-20 %

20-30 %

50-70 %

7 Как меняется содержание ортомодификации в дейтерии при его нагревании от температуры кипения до нормальной температуры

=сначала увеличивается до 150 К, затем не меняется

уменьшается

не меняется

увеличивается

8 Какое количество сжиженного нормального водорода испарится за счет естественной орто-пара конверсии испарится через 400 часов

20%

40%

=60%

80%

9 Какое количество теплоты выделяется при переходе 1 кг нормального водорода в парамодификацию

455 кДж/кг

=525 кДж/кг

705 кДж/кг

425 кДж/кг

10 Какое количество теплоты выделяется при переходе 1 кг ортоводорода в парамодификацию

455 кДж/кг

525 кДж/кг

=705 кДж/кг

425 кДж/кг

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач (минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)

1. Определить холодопроизводительность криорефрижератора Линде, в котором воздух в количестве 100 кг/с расширяется от давления 10 МПа до 0.1 МПа при температуре 293 К. Потерями пренебречь.

=2124 Вт

2140 Вт

3240 Вт

1234 Вт

2. Определить холодопроизводительность криорефрижератора Линде, в котором воздух в количестве 120 кг/с расширяется от давления 8 МПа до 0.1 МПа при температуре 298 К. Потерями пренебречь.

=2005,2 Вт

2124 Вт

2140 Вт

3240 Вт

3. Определить холодопроизводительность криорефрижератора Линде, в котором воздух в количестве 140 кг/с расширяется от давления 12 МПа до 0.1 МПа при температуре 303 К. Потерями пренебречь.

=3217 Вт

3568 Вт

4578 Вт

1254 Вт

4. Определить изотермический дроссель-эффект хладона R-13 при расширении с 2,5 МПа до 0,1 МПа при температуре 293 К

=23,83 кДж/кг

52,36 кДж/кг

63,10 кДж/кг

14,25 кДж/кг

5. Определить изотермический дроссель-эффект этана при расширении с 3 МПа до 0,1 МПа при температуре 293 К

=79,16 кДж/кг

52,36 кДж/кг

63,10 кДж/кг

14,25 кДж/кг

6. Определить изотермический дроссель-эффект водорода при расширении с 20 МПа до 0,1 МПа при температуре 293 К

=-99,9 кДж/кг

-52,36 кДж/кг

-63,10 кДж/кг

-14,25 кДж/кг

7. Определить теплоперепад в детандере при расширении воздуха с давления 4 МПа до 0.1 МПа. Начальная температура 293 К. Потерями пренебречь.

=185,85 кДж/кг

256,32 кдж/кг

145,25 кдж/кг

158,65 кдж/кг

8. Определить теплоперепад в детандере при расширении азота с давления 15 МПа до 0.1 МПа. Начальная температура 298 К. Потерями пренебречь.

=216,622 кдж/кг

421,546 кдж/кг

124,326 кдж/кг

325,425 кдж/кг

9. Определить удельную холодопроизводительность криорефрижератора Линде с предварительным хладоновым охлаждением. Рабочее давление сжатия 20 МПа, в испарителе воздух охлаждается с 255 до 235 К. Температура изотермического сжатия 293 К. Потерями пренебречь.

=65,97 кдж/кг

12,54 кдж/кг

24,85 кдж/кг

35,65 кдж/кг

10. Определить удельную холодопроизводительность криорефрижератора Клода. Рабочее давление сжатия 4 МПа. Доля детандерного воздуха 0.65, температура перед детандером 235 К. Температура изотермического сжатия 293 К. Потерями пренебречь.

=102,6 кдж/кг

241,4 кдж/кг

452,3 кдж/кг

645,2 кдж/кг

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. Общий принцип охлаждения. Тепловой закон Нернста.

3. Охлаждение вблизи абсолютного нуля.

4. Изоэнтропное 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 детанденой 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 вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления зачета при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 5 стандартных задач и 5 прикладных задач. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, правильно решенная задача оценивается в 2 балла. Максимальное количество набранных баллов – 30.

1. Зачет ставится в случае, если студент набрал от 18 до 30 баллов.

2. Незачет ставится, если студент набрал менее 18 баллов.

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, устный опрос, зачет
2	Основные понятия о криогенных жидкостях	ОПК-1	Тест, устный опрос, зачет
3	Общие физические процессы ожижения газов с использованием газожидкостных компрессионных трансформаторов тепла	ОПК-1	Тест, устный опрос, зачет
4	Общие физические процессы ожижения газов с использованием криогенных газовых машин	ОПК-1	Тест, устный опрос, зачет
5	Ожижение метана, водорода и неона	ОПК-1	Тест, устный опрос, за-

			чет
6	Ожижение гелия и его основные свойства	ОПК-1	Тест, устный опрос, зачет

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

- Милошенко, В.Е. Криофизика: Учеб. пособие. - Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2009. - 207 с. - 77-00.

- Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения Учеб. пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. - М.: Энергоиз-дат, 1981. — 320 с

- Баррон Р. Криогенные системы / Пер. с англ. С. П. Сидорова; Под ред. А. К. Городова. - Москва: Энергоатомиздат, 1989. - 406 с.

- Беляков В.П. Криогенная техника и технология. - Москва: Энергоиз-дат, 1982. - 271 с.

- Алексеев В.П. Расчет и моделирование аппаратов криогенных установок. - Ленинград : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. - 277 с.

- Бродянский В.М. Термодинамические основы криогенной техники. - Москва : Энергия, 1980. - 448 с.

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:

- SMath Studio
- Mathcad
- Advanced Grapher
- Microsoft Windows 10
- Microsoft Office 2013/2007
- Компас 3D LT
- Refprop 8.0
- <https://elibrary.ru>
- <https://cchgeu.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; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе.

	Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
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; - 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	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.