

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  В.А. Небольсин  
«30» августа 2017 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** 2016

Автор программы

  
/О.В. Калядин/

Заведующий кафедрой  
Физики твердого тела

  
/Ю.Е. Калинин/

Руководитель ОПОП

  
/О.В. Калядин/

Воронеж 2017

## 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 вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

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

ПКВ-3 - готовностью выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области низкотемпературной техники и систем жизнеобеспечения на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, теплофизических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и аппаратам

ПКВ-7 - готовностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способен привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях на основе существующих методик

	<p>Уметь выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях на основе существующих методик</p> <p>Владеть навыками расчета количественных характеристик процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях на основе существующих методик</p>
ПКВ-3	<p>Знать достижения техники и технологий, классических и технических теорий и методов, математических и компьютерных моделей в области получения криогенных жидкостей</p> <p>Уметь выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области получения криогенных жидкостей на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, протекающим в криогенных системах</p> <p>Владеть навыками выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области получения криогенных жидкостей на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, протекающим в криогенных системах</p>
ПКВ-7	<p>Знать физико-математический аппарат термодинамики</p> <p>Уметь использовать для решения задач связанных с получением криогенных жидкостей и возникающих в ходе профессиональной деятельности физико-математический аппарат термодинамики</p> <p>Владеть навыками использования физико-математического аппарата термодинамики для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с получением криогенных жидкостей.</p>

#### 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
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	54	54
Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой	+	+
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. Термомагнитное охлаждение. Десорбционное охлаждение. Намагничивание сверхпроводников.	6	2	10	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	2	8	16
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 оконча-	8	4	8	20

		<p>тельного 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.</p>				
4	Общие физические процессы ожижения газов с использованием криогенных газовых машин	<p>Газовые циклы и установки с нестационарными процессами. Обратный цикл Стирлинга. Рефрижераторы Гиффорда-Макмагона. Рефрижераторы Вюлемье-Такониса.</p>	4	2	8	14
5	Ожижение метана, водорода и неона	<p>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 неонам.</p>	6	4	10	20
6	Ожижение гелия и его основные свойства	<p>Гелий, получение и основные свойства. Получение гелия. Изотопы <math>^3\text{He}</math> и <math>^4\text{He}</math>. Теплофизические и термодинамические свойства газообразного гелия. T-S диаграмма для гелия. Свойства жидкого гелия. Диаграммы состояния <math>^3\text{He}</math> и <math>^4\text{He}</math>. <math>\lambda</math>-переход. Сверхтекучесть жидкого гелия. Основные эксперименты, подтверждающие существование сверхтекучего состояния. Термомеханический и механокалорический</p>	6	4	10	20

	<p>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.</p>				
<b>Итого</b>		<b>36</b>	<b>18</b>	<b>54</b>	<b>108</b>

## 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
ПК-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 выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях на основе существующих методик	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками расчета коли-	Решение прикладных	Выполнение работ	Невыполнение

	чественных характеристик процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях на основе существующих методик	задач в конкретной предметной области	в срок, предусмотренный в рабочих программах	работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПКВ-3	Знать достижения техники и технологий, классических и технических теорий и методов, математических и компьютерных моделей в области получения криогенных жидкостей	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области получения криогенных жидкостей на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, протекающим в криогенных системах	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области получения криогенных жидкостей на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, протекающим в криогенных системах	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПКВ-7	Знать физико-математический аппарат термодинамики	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь использовать для решения задач связанных с получением криогенных жидкостей и возникающих в ходе профессиональной деятельности физико-математический аппарат термодинамики	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 четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;  
«удовлетворительно»;  
«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Уметь выполнять расчеты количественных характеристик процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Владеть навыками расчета количественных характеристик процессов, протекающих в криогенных рефрижераторах и ожижителях на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
ПКВ-3	Знать достижения техники и технологий, классических и технических теорий и методов, математических и компьютерных моделей в области получения криогенных жидкостей	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Уметь выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области получения криогенных жидкостей на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, протекающим в криогенных системах	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Владеть навыками выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области получения криогенных жидкостей на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов



	реальным процессам, протекающим в криогенных системах					
ПКВ-7	Знать физико-математический аппарат термодинамики	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Уметь использовать для решения задач связанных с получением криогенных жидкостей и возникающих в ходе профессиональной деятельности физико-математический аппарат термодинамики	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% 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 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% 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 (минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)**

**7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач (минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)**

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

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

Не предусмотрено учебным планом

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

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  $^4\text{He}$ .  $\lambda$ -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.

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

*Экзамен 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. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 15 баллов.*

*2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 15 до 20 баллов*

*3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 25 баллов.*

*4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 26 до 30 баллов.*

#### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы)	Код	Наименование
-------	-------------------------------	-----	--------------

	дисциплины	контролируемой компетенции	оценочного средства
1	Физические принципы получения криогенных температур	ПК-1, ПКВ-3, ПКВ -7	Тест, устный опрос, экзамен
2	Основные понятия о криогенных жидкостях	ПК-1, ПКВ-3, ПКВ -7	Тест, устный опрос, экзамен
3	Общие физические процессы ожижения газов с использованием газожидкостных компрессионных трансформаторов тепла	ПК-1, ПКВ-3, ПКВ -7	Тест, устный опрос, экзамен
4	Общие физические процессы ожижения газов с использованием криогенных газовых машин	ПК-1, ПКВ-3, ПКВ -7	Тест, устный опрос, экзамен
5	Ожижение метана, водорода и неона	ПК-1, ПКВ-3, ПКВ -7	Тест, устный опрос, экзамен
6	Ожижение гелия и его основные свойства	ПК-1, ПКВ-3, ПКВ -7	Тест, устный опрос, экзамен

### **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, 2009
- Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения, 1981

**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
- Apache OpenOffice
- 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 удается разобраться в материале, необ-

	ходимо 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.