

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

*Кафедра Технологического и  
холодильного оборудования*

**Методические указания  
к самостоятельному изучению дисциплины  
«Криогенные системы и воздухоразделительные  
установки»  
для обучающихся по направлению подготовки  
16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы  
жизнеобеспечения»  
профиля (специализации):  
«Холодильная техника и технология»**

**Мурманск**

**2020**

Методические указания для самостоятельного изучения дисциплины **«Криогенные системы и воздуходелительные установки»** рассмотрены и одобрены на заседании кафедры-разработчика ***Технологического и холодильного оборудования***

«23» июня 2020 протокол № 8.

дата

Составитель – Никонова Антонина Сергеевна, к.т.н., доцент кафедры технологического и холодильного оборудования.

Рецензент – Похольченко Вячеслав Александрович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологического и холодильного оборудования.

## ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания для самостоятельного изучения дисциплины «Криогенные системы и воздуходелительные установки» составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения», утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 12.03.2015 г., № 198 и предназначены для обучающихся по направлению подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения», профиль «Холодильная техника и технология».

**Цель дисциплины** - является подготовка обучающегося в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра и рабочим учебным планом направления 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения», что предполагает освоение обучающимися теоретических знаний в области криогенной техники.

### **Задачи дисциплины:**

1) формирование умений и навыков по следующим направлениям профессиональной деятельности: принципы разделения воздуха; основы конденсационно-испарительного метода; процесс ректификации; адиабатная ректификационная колонна; азотная и кислородная колонны; колонна двукратной ректификации; криогенное обеспечение процесса ректификации; типы ректификационных колонн; расчет ректификационной тарелки; способы получения чистого аргона; получение чистого неона; получение особо чистых газов; принципиальные схемы существующих воздуходелительных установок и анализ их работы.

2) формирование навыков самостоятельно приобретать и применять полученные знания.

### **В результате изучения дисциплины бакалавр должен:**

Обучающийся должен **знать**: основные принципы и методы разделения воздуха; условия равновесного состояния систем азот-кислород, физические основы процесса ректификации, устройство и работу ректификационных колонн, устройство и работу промышленных криогенных установок;

Обучающийся должен **уметь** пользоваться термодинамическими диаграммами, графическими методами расчета ректификации, составлять тепловой и материальный баланс колонн.

Обучающийся должен **владеть** навыками расчета равновесного состояния системы азот-кислород, расчета числа теоретических тарелок в колонне, расчета теплового и материального баланса колонн.

**Содержание разделов дисциплины:**

Основные принципы разделения воздуха; основы конденсационно-испарительного метода; процесса ректификации и типов ректификационных колонн; расчет ректификационных тарелок и колонн, изучение принципиальных схемы существующих воздухоразделительных установок и анализ их работы.

**Реализуемые компетенции:** ОПК-6; ПК-3; ПК-10.

**Формы отчетности:** Семестр 8 – экзамен.

**Требования к уровню подготовки обучающегося в рамках данной дисциплины**

Процесс изучения дисциплины «Криогенные системы и воздухоразделительные установки» направлен на формирование компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения», представленных в таблице 1.

**Таблица 1 – Компетенции, формируемые дисциплиной «Криогенные системы и воздухоразделительные установки»**

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции
1.	ОПК-6	Способность использовать в профессиональной деятельности принципы современных промышленных технологий, сведения о материалах и способах их получения и обработки
2.	ПК-3	Готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области холодильной, криогенной 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
3.	ПК-10	Готовность участвовать в работах по технико-экономическим обоснованиям проектируемых машин и конструкций, по составлению отдельных видов технической документации на проекты, их элементы и сборочные единицы

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине «Криогенные системы и воздухоразделительные установки»**

Результаты формирования компетенций и планируемые результаты обучения представлены в таблице 2.

**Таблица 2**

№п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Результаты обучения
1	ОПК-6	Компоненты компетенции частично соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется полностью	<i>Знать:</i> устройство и работу ректификационных колонн, устройство и работу промышленных криогенных установок. <i>Уметь:</i> графическими методами расчета ректификации. <i>Обладать:</i> навыками расчета числа теоретических тарелок в колонне, расчета теплового и материального баланса колонн.
2	ПК-3	Компоненты компетенции частично соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется полностью	<i>Знать:</i> основные принципы и методы разделения воздуха; условия равновесного состояния систем азот-кислород, физические основы процесса ректификации, устройство и работу ректификационных колонн, устройство и работу промышленных криогенных установок. <i>Уметь:</i> пользоваться графическими методами расчета ректификации. <i>Обладать:</i> навыками расчета равновесного состояния системы азот-кислород, расчета числа теоретических тарелок в колонне, расчета теплового и материального баланса колонн.
3	ПК-10	Компоненты компетенции частично соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется полностью	<i>Знать:</i> устройство и работу ректификационных колонн, устройство и работу промышленных криогенных установок. <i>Уметь:</i> пользоваться графическими методами расчета ректификации, составлять тепловой и материальный баланс колонн. <i>Обладать:</i> навыками расчета равновесного состояния системы азот-кислород, расчета числа теоретических тарелок в колонне, расчета теплового и материального баланса колонн.

**Целью** настоящих **методических указаний** являются рекомендации, которыми обучающийся может воспользоваться при подготовке к сдаче форм контроля по дисциплине **«Криогенные системы и воздухоразделительные установки»**, при подготовке к зачету и для самостоятельного углубления знаний по данной дисциплине.

### Введение

Дисциплина **«Криогенные системы и воздухоразделительные установки»** состоит из семи тем. Обучающийся должен изучить теоретические сведения по темам, выполнить практические работы, расчетно-графические работы для усвоения теории и завершить изучение дисциплины сдачей экзамена.

Для изучения дисциплины в составе методической литературы обучающимся предлагается изучить литературные источники из списка. Начать изучение дисциплины следует с методических указаний для самостоятельного изучения дисциплины.

**Содержание разделов дисциплины (модуля), виды работы представлены в таблице 3.**

**Таблица 3**

Содержание разделов (модулей),	Количество часов, выделяемых на виды учебной работы

тем дисциплины	по формам обучения							
	Очная				Заочная			
	Л	ЛР	П Р	СР	Л	ЛР	ПР	СР
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Тема 1. Воздухоразделительные установки.</i> Воздух, продукты его разделения, их получение и использование. Классификация ВРУ. Общая характеристика, принципы построения, тенденции развития. Технология разделения воздуха. Холодопроизводительность и ее составляющие для ВРУ различных типов. Эффективность ВРУ. Термодинамическая и экономическая оптимизация, критерии оптимальности. Регулирование производительности ВРУ. Способы компенсации неравномерности потребления продуктов разделения воздуха. Адсорбционные воздухоразделительные установки. Мембранные газоразделительные установки.	4	0	4	1 7	0,4	0	0	22
<i>Тема 2. Криогенные водородные системы.</i> Водород. Области применения, методы получения, свойства. Ожижение водорода методом дросселирования, получение параводорода. Водородные ожижители. Другие типы водородных криогенных систем.	2	0	8	1 7	0,4	0	0	22
<i>Тема 3. Криогенные гелиевые установки.</i> Гелий: области применения. Ожижители гелия. Гелиевые рефрижераторы. Криостаты и рефрижераторы: использование свойств изотопов гелия. Гелиевые рефрижераторы для криостатирования.	2	0	8	1 7	0,3	0	0	22
<i>Тема 4. Адсорберы ВРУ.</i> Конденсаторы-испарители ВРУ. Ректификационные колонны ВРУ с ситчатыми тарелками. Ректификационные колонны ВРУ с регулярными насадками. Система азотоводяного охлаждения ВРУ. Атмосферные испарители-газификаторы.	2	0	0	1 7	0,3	0	0	22
<i>Тема 5. Жидкостные криогенные системы.</i> Основы технологии работы с жидкими криогенными продуктами. Процессы, происходящие в емкостях при хранении, охлаждении и выдаче жидких криогенных продуктов. Транспортирование жидких криогенных продуктов по магистралям. Неустановившиеся процессы в жидкостных криогенных системах. Емкостное оборудование. Магистрали криогенных систем.	2	0	4	1 7	0,3	0	4	22
<i>Тема 6. Автономные криогенные системы и микрорефрижераторы.</i> Дроссельные микрокриогенные системы. Адаптирующие дроссельные микрокриогенные системы. Системы с криогенно-газовыми машинами. Системы с использованием теплоты испарения криоагента.	2	4	4	1 7	0,3	0	0	26

Подготовка к промежуточной аттестации								4
<b>Итого:</b>	18	0	28	10	2	0	4	13 6

**Таблица 4. - Перечень лабораторных работ**  
Не предусмотрены.

**Таблица 5. - Перечень практических работ**

№ п/п	Темы практических работ	Количество часов	
		Очная	Заочная
1	Эффект Джоуля-Томсона	4	
2	Расчет установки ожижения водорода	4	
3	Расчет гелиевого ожижителя	4	
4	Регенеративный цикл для ожижения газов	4	
5	Изучение NTU-метода при анализе теплообменников	4	2
6	Изучение циклов газовых холодильных машин: цикл Стирлинга	4	
7	Изучение системы Клода	4	
	<b>Итого:</b>	28	2

**Перечень примерных тем курсовой работы /проекта**

Не предусмотрены.

**РГР.** Основы технологии работы с жидкими криогенными продуктами.

#### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жистин, Е.А. Основы проведения научных исследований [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Е.А. Жистин, В.А. Авроров. — Электрон. дан. — Пенза : ПензГТУ, 2010. — 28 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/62642>. — Загл. с экрана.
2. Шкляр, М.Ф. Криогенные системы и воздухоразделительные установки [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.Ф. Шкляр. — Электрон. дан. — Москва : Дашков и К, 2017. — 208 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93545>. — Загл. с экрана.
3. Маюрникова, Л.А. Криогенные системы и воздухоразделительные установки в научно-технической сфере [Электронный ресурс] : учебное

пособие / Л.А. Маюрникова, С.В. Новоселов. — Электрон. дан. — Кемерово : КемГУ, 2009. — 123 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4842>. — Загл. с экрана.

4. Сафин, Р.Г. Криогенные системы и воздуходелительные установки. Организация и планирование эксперимента [Электронный ресурс] : учебное пособие / Р.Г. Сафин, А.И. Иванов, Н.Ф. Тимербаев. — Электрон. дан. — Казань : КНИТУ, 2013. — 156 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/73344>. — Загл. с экрана.

5. Прокофьев, Г.Ф. Основы прикладных научных исследований при создании новой техники [Электронный ресурс] : монография / Г.Ф. Прокофьев, Н.Ю. Микловцик. — Электрон. дан. — Архангельск : САФУ, 2014. — 171 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/96541>. — Загл. с экрана.

6. Рыжков, И.Б. Криогенные системы и воздуходелительные установки и изобретательства [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.Б. Рыжков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 224 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/30202>. — Загл. с экрана.

7. Сагдеев, Д.И. Криогенные системы и воздуходелительные установки, организация и планирование эксперимента [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.И. Сагдеев. — Электрон. дан. — Казань : КНИТУ, 2016. — 324 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/101880>. — Загл. с экрана.

8. Патентоведение и защита интеллектуальной собственности [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Л. Ткалич [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2015. — 171 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91532>. — Загл. с экрана.

9. Информационные аспекты интеллектуальной собственности [Электронный ресурс] : учебное пособие / О.В. Ахрамеева [и др.]. — Электрон. дан. — Ставрополь : СтГАУ, 2015. — 32 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/82217>. — Загл. с экрана.

## **СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ**

### *Тема 1. Воздухоразделительные установки*

Воздух, продукты его разделения, их получение и использование. Классификация ВРУ. Общая характеристика, принципы построения, тенденции развития. Технология разделения воздуха. Холодопроизводительность и ее составляющие для ВРУ различных типов. Эффективность ВРУ. Термодинамическая и экономическая оптимизация, критерии оптимальности. Регулирование производительности ВРУ. Способы



компенсации неравномерности потребления продуктов разделения воздуха. Адсорбционные воздуходелительные установки. Мембранные газоразделительные установки.

### *Тема 2. Криогенные водородные системы*

Водород. Области применения, методы получения, свойства. Ожижение водорода методом дросселирования, получение параводорода. Водородные ожижители. Другие типы водородных криогенных систем.

### *Тема 3. Криогенные гелиевые установки.*

Гелий: области применения. Ожижители гелия. Гелиевые рефрижераторы. Криостаты и рефрижераторы: использование свойств изотопов гелия. Гелиевые рефрижераторы для криостатирования.

### *Тема 4. Адсорберы ВРУ.*

Конденсаторы-испарители ВРУ. Ректификационные колонны ВРУ с ситчатыми тарелками. Ректификационные колонны ВРУ с регулярными насадками. Система азотоводяного охлаждения ВРУ. Атмосферные испарители-газификаторы.

### *Тема 5. Жидкостные криогенные системы.*

Основы технологии работы с жидкими криогенными продуктами. Процессы, происходящие в емкостях при хранении, охлаждении и выдаче жидких криогенных продуктов. Транспортирование жидких криогенных продуктов по магистралям. Неустановившиеся процессы в жидкостных криогенных системах. Емкостное оборудование. Магистральные криогенных систем.

### *Тема 6. Автономные криогенные системы и микрорефрижераторы.*

Дроссельные микрокриогенные системы. Адаптирующие дроссельные микрокриогенные системы. Системы с криогенно-газовыми машинами. Системы с использованием теплоты испарения криоагента.

### ***Вопросы для самоконтроля:***

1. Как классифицируются ВРУ?
2. Как можно регулировать производительность ВРУ?
2. Сформулируйте способы компенсации неравномерности потребления продуктов разделения воздуха?
4. Какие области применения криогенных водородных систем Вы можете назвать?

5. Какие области применения криогенных гелиевых установок Вы можете назвать?

6. Сформулируйте основы технологий работы с жидкими криогенными продуктами.

7. Перечислите особенности транспортирования жидких криогенных продуктов по магистралям.

8. Охарактеризуйте неустановившиеся процессы в жидкостных криогенных системах.

**После изучения теоретического материала необходимо выполнить, защитить лабораторные и расчетно-графическую работу.**