

**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  
«Основы конструирования криогенных систем»  
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 **«Основы конструирования криогенных систем»** 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 «**Основы конструирования криогенных систем**» 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 проектирования криогенной техники.

### **Задачи дисциплины:**

- 1) ознакомление обучающихся с основными понятиями, позволяющими оценивать достоинства и недостатки методов проектирования машин, аппаратов и установок криогенной техники и учитывать конкретные условия эксплуатации этих машин и установок в промышленных агрегатах;
- 2) формирование навыков самостоятельно приобретать и применять полученные знания.

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

Обучающийся должен **знать**: основные методы, уравнения, зависимости, подходы, алгоритмы для тепловых, прочностных, динамических и иного видов расчетов, используемых при проектировании машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники;

Обучающийся должен **уметь**: рассчитывать процессы, протекающие в машинах и аппаратах низкотемпературных систем и установок; применять существующие общие методики и проектирования компрессорного и теплообменного оборудования низкотемпературной техники к конкретным конструктивным особенностям низкотемпературных систем и установок; давать технико-экономическую оценку применения того или иного типа машин и аппаратов низкотемпературных систем и установок при проектировании технологических схем;

Обучающийся должен **владеть** навыками расчета и проектирования машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники.

**Содержание разделов дисциплины:**

Классификация и особенности аппаратов криогенных установок. Рекуперативные теплообменные аппараты, регенеративные теплообменные аппараты, ректификационные колонны, конденсаторы, испарители, конденсаторы-испарители, адсорбционные процессы и аппараты, системы транспортирования криожидкостей, поршневые криогенные и низкотемпературные детандеры, криогенные турбодетандеры: основные методики расчета, анализ эффективности, перспективы развития конструкций.

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

**Формы отчетности:**

**Очная форма обучения:** Семестр 7 – зачет, РГР.

**Заочная форма обучения:** Курс 5 – зачет.

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

Процесс изучения дисциплины «Проектирование криогенной техники» 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 «Основы конструирования криогенных систем»**

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции
1.	ОПК-6	Способностью 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 «Основы конструирования криогенных систем»**

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	<p><b>Знать:</b> основные алгоритмы для тепловых, прочностных, динамических и иного видов расчетов, используемых при проектировании машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники;</p> <p><b>Уметь:</b> рассчитывать процессы, протекающие в машинах и аппаратах низкотемпературных систем и установок; применять существующие общие методики и проектирования компрессорного и теплообменного оборудования низкотемпературной техники к конкретным конструктивным особенностям низкотемпературных систем и установок; давать технико-экономическую оценку применения того или иного типа машин и аппаратов низкотемпературных систем и установок при проектировании технологических схем.</p> <p><b>Обладать:</b> навыками расчета и проектирования машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники.</p>
2	ПК-3	Компоненты компетенции частично соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется полностью	<p><b>Знать:</b> основные методы, уравнения, зависимости, подходы, алгоритмы для тепловых, прочностных, динамических расчетов, используемых при проектировании машин, аппаратов и установок криогенной техники;</p> <p><b>Уметь:</b> применять существующие общие методики проектирования компрессорного и теплообменного оборудования низкотемпературной техники к конкретным конструктивным особенностям низкотемпературных систем и установок.</p> <p><b>Обладать:</b> навыками проектирования машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения</p>
3	ПК-10	Компоненты компетенции частично соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется полностью	<p><b>Знать:</b> основные методы, уравнения, зависимости, подходы, алгоритмы для тепловых, прочностных, динамических расчетов, используемых при проектировании машин, аппаратов и установок криогенной техники;</p> <p><b>Уметь:</b> рассчитывать процессы, протекающие в машинах и аппаратах низкотемпературных систем и установок; <b>Обладать:</b> навыками проектирования машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения</p>

**Целью** настоящих **методических указаний** являются рекомендации, которыми обучающийся может воспользоваться при подготовке к сдаче форм контроля по дисциплине «**Основы конструирования криогенных систем**», при подготовке к зачету и для самостоятельного углубления знаний по данной дисциплине.

## Введение

Дисциплина «**Основы конструирования криогенных систем**» состоит из трех модулей. Обучающийся должен изучить теоретические сведения по темам модуля, выполнить практические работы для усвоения теории и завершить изучение дисциплины сдачей зачета с оценкой.

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	Количество часов, выделяемых на виды
---------------------	--------------------------------------

(модулей), тем дисциплины	учебной работы по формам обучения							
	Очная				Заочная			
	Л	ЛР	П Р	СР	Л	ЛР	П Р	СР
<b>Модуль 1.</b> <i>Тема 1.</i> Задачи проектирования. Виды работ при проектировании. Состав проектной разработки. Классификация и особенности аппаратов криогенных установок. Теплообменные аппараты. Ректификационные колонны. Адсорберы. Абсорберы. Вспомогательные аппараты.	3	0	0	1 2	0,3	0	0	17
<i>Тема 2.</i> Рекуперативные теплообменные аппараты. Основные методики расчета и проектирования. Конструкции теплообменников. Методы расчета теплообменников. Особенности расчета многопоточных теплообменников. Анализ работоспособности многопоточных рекуперативных теплообменников.	3	0	16	1 2	0,3	0	0	17
<i>Тема 3.</i> Регенеративные теплообменные аппараты. Основные методики расчета и проектирования, перспективы развития конструкций.	2	0	0	1 2	0,2	0	0	17
<b>Модуль 2.</b> <i>Тема 4.</i> Ректификационные колонны. Основные методики расчета и проектирования, анализ эффективности, перспективы развития конструкций. Конструкции колонн и тарелок. Гидравлический расчет тарелки.	2	0	0	1 2	0,3	0	0	17
<i>Тема 5.</i> Конденсаторы, испарители, конденсаторы-испарители ВРУ. Основные методики расчета и проектирования.	2	0	0	1 2	0,2	0	0	17
<b>Модуль 3.</b> <i>Тема 6.</i> Адсорбционные процессы и аппараты. Основные методики расчета, проектирования адсорбционных аппаратов.	2	0	0	1 2	0,3	0	0	17
<i>Тема 7.</i> Жидкостные криогенные системы. Системы транспортирования криожидкостей. Емкостное оборудование. Основные методики расчета и проектирования.	2	0	4	1 2	0,2	0	2	17
<i>Тема 8.</i> Поршневые криогенные и низкотемпературные детандеры, криогенные турбодетандеры. Основные методики расчета и проектирования.	2	0	8	1 8	0,2	0	0	17
Подготовка к промежуточной аттестации								4
<b>Итого:</b>	18	0	28	10 2	2	0	2	136

## Таблица 6. - Перечень лабораторных работ

Не предусмотрены.

## Таблица 7. - Перечень практических работ

№ п\п	Темы практических работ	Количество часов	
		Очная	Заочная
1	Расчет рефрижераторного устройства, включающего соединенные регенераторные детандерный и дроссельный газовые холодильные циклы	4	
2	Расчет витого двухпоточного теплообменника из гладких труб	4	
3	Расчет витого двухпоточного теплообменника из трубок, оребренных проволокой	4	
4	Расчет термодинамического коэффициента полезного действия детандера	4	2
5	Режимы течения в вакуумных системах	4	
6	Цикл с циркуляцией воздуха под давлением	4	
7	Цикл среднего давления для ожижения воздуха при расширении его с отдачей внешней работы в детандере	4	
	<b>Итого:</b>	28	2

## 5. Перечень примерных тем курсовой работы /проекта

Не предусмотрены.

**РГР.** Основные методики расчета, проектирования адсорбционных аппаратов.

## 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**

### **Модуль 1.**

*Тема 1. Задачи проектирования. Виды работ при проектировании. Состав проектной разработки. Классификация и особенности аппаратов криогенных установок. Теплообменные аппараты. Ректификационные колонны. Адсорберы. Абсорберы. Вспомогательные аппараты.*

*Тема 2. Рекуперативные теплообменные аппараты. Основные методики расчета и проектирования. Конструкции теплообменников. Методы расчета теплообменников. Особенности расчета многопоточных теплообменников. Анализ работоспособности многопоточных рекуперативных теплообменников.*

*Тема 3. Регенеративные теплообменные аппараты. Основные методики расчета и проектирования, перспективы развития конструкций.*

## **Модуль 2.**

*Тема 4. Ректификационные колонны. Основные методики расчета и проектирования, анализ эффективности, перспективы развития конструкций. Конструкции колонн и тарелок. Гидравлический расчет тарелки.*

*Тема 5. Конденсаторы, испарители, конденсаторы-испарители ВРУ. Основные методики расчета и проектирования.*

## **Модуль 3.**

*Тема 6. Адсорбционные процессы и аппараты. Основные методики расчета, проектирования адсорбционных аппаратов.*

*Тема 7. Жидкостные криогенные системы. Системы транспортирования криожидкостей. Емкостное оборудование. Основные методики расчета и проектирования.*

*Тема 8. Поршневые криогенные и низкотемпературные детандеры, криогенные турбодетандеры. Основные методики расчета и проектирования.*

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. В чем состоит проектная разработка криогенной техники?
2. Дайте описание конструктивных особенностей ректификационных колонн различного типа?
2. Перечислите основные методики расчета и проектирования регенеративных теплообменных аппаратов криогенных установок.

4. Перечислите основные методики расчета и проектирования конденсаторов криогенных установок.

5. Сформулируйте основные особенности жидкостных криогенных систем.

6. Сформулируйте основы технологий работы с жидкими криогенными продуктами.

7. Перечислите основные методики расчета и проектирования поршневых криогенных и низкотемпературных детандеров.

8. Перечислите основные методики расчета и проектирования криогенных турбодетандеров.

**После изучения теоретического материала необходимо выполнить практические работы и РГР.**