



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЭиАС  
В.Р. Храмшиев

10.02.2023 г

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***ХОЛОДИЛЬНЫЕ И КРИОГЕННЫЕ УСТАНОВКИ***

Направление подготовки (специальность)  
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Направленность (профиль/специализация) программы  
Энергообеспечение предприятий

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Теплотехнических и энергетических систем
Курс	4
Семестр	8

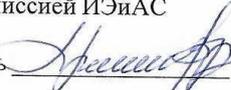
Магнитогорск  
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 143)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем  
17.01.2023 г. протокол № 5

Зав. кафедрой  Е.Г. Нешпоренко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС  
10.02.2023 г. протокол № 7

Председатель  В.Р. Храмшин

Рабочая программа составлена:  
доцент кафедры ТиЭС, канд. техн. наук

 Ю.К. Демин

Рецензент:  
Зам. начальника ЦЭСТ ПАО "ММК",  
канд. техн. наук

 В.Н. Михайловский

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Е.Г. Нешпоренко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Е.Г. Нешпоренко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Е.Г. Нешпоренко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Е.Г. Нешпоренко

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

Целями освоения дисциплины (модуля) Холодильные и криогенные установки являются: формирование у студентов представлений о системах и комплексах низкотемпературных технологий, низкотемпературных технологиях, тепловых насосах, вспомогательном теплотехническом оборудовании комплексов низкотемпературных технологий, технологических жидкостях, газах и парах, как теплоносителях и рабочих телах

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Холодильные и криогенные установки входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Гидрогазодинамика

Физика

Математика

Тепломассообмен

Техническая термодинамика

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Энергосбережение и вторичные энергоресурсы

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Холодильные и криогенные установки» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-3	Способен к сбору, обработке, анализу и обобщению результатов экспериментов и исследований в соответствующей области знаний
ПК-3.1	Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение результатов экспериментов и исследований
ПК-3.2	Подготавливает предложения для составления планов и методических программ экспериментальных исследований и разработок, практических рекомендаций по исполнению их результатов

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 33,65 акад. часов;
- аудиторная – 33 акад. часов;
- внеаудиторная – 0,65 акад. часов;
- самостоятельная работа – 74,35 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Раздел 1. Введение								
1.1 Назначение, область использования и классификация низкотемпературных энергетических установок.	8	1			10	Самостоятельное изучение литературы. Изучение соответствующих вопросов из прил. 1. Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Конспект лекций.	ПК-3.1, ПК-3.2
1.2 Холодильные циклы. Термодинамические основы получения глубокого холода.		1		4	6	Самостоятельное изучение литературы. Изучение соответствующих вопросов из прил. 1. Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Конспект лекций.	ПК-3.1, ПК-3.2

Итого по разделу		2		4	16			
2. Раздел 2. Парожидкостные компрессионные низкотемпературные энергетические установки.								
2.1 Термодинамические основы работы парожидкостных низкотемпературных энергетических установок.	8	1		4	6	Самостоятельное изучение литературы. Изучение соответствующих вопросов из прил. 1. Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Конспект лекций.	ПК-3.1, ПК-3.2
2.2 Применение парожидкостных низкотемпературных энергетических установок. в промышленности.		1		2	6	Самостоятельное изучение литературы. Изучение соответствующих вопросов из прил. 1. Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Конспект лекций.	ПК-3.1, ПК-3.2
Итого по разделу		2		6	12			
3. Раздел 3. Абсорбционные низкотемпературные энергетические установки.								
3.1 Термодинамические основы работы абсорбционных низкотемпературных энергетических установок.	8	1		4	6	Самостоятельное изучение литературы. Изучение соответствующих вопросов из прил. 1. Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Конспект лекций.	ПК-3.1, ПК-3.2

3.2	Применение абсорбционных низкотемпературных энергетических установок. в промышленно		1		2	6	Самостоятельное изучение литературы. Изучение соответствующих вопросов из прил. 1. Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Конспект лекций.	ПК-3.1, ПК-3.2
Итого по разделу			2		6	12			
4. Раздел 4. Ожижение и низкотемпературная ректификация воздуха.									
4.1	Термодинамические основы ожижения и ректификации воздуха.	8	1		2	6	Самостоятельное изучение литературы. Изучение соответствующих вопросов из прил. 1. Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Конспект лекций.	ПК-3.1, ПК-3.2
4.2	Схемы воздухоразделительных установок.		1		4	6	Самостоятельное изучение литературы. Изучение соответствующих вопросов из прил. 1. Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Конспект лекций.	ПК-3.1, ПК-3.2
Итого по разделу			2		6	12			

5. Раздел 5. Низкотемпературные энергетические установки основанные на использовании электрических и магнитных полей.								
5.1 Термоэлектрические и термомагнитоэлектрические низкотемпературные энергетические установки.	8	1			6	Самостоятельное изучение литературы. Изучение соответствующих вопросов из прил. 1. Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Конспект лекций.	ПК-3.1, ПК-3.2
5.2 Магнитокалорические и электрокалорические низкотемпературные энергетические установки.		1			6	Самостоятельное изучение литературы. Изучение соответствующих вопросов из прил. 1. Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Конспект лекций.	ПК-3.1, ПК-3.2
Итого по разделу		2			12			
6. Раздел 6. Повышение энергетической эффективности теплоэнергетических систем за счет применения низкотемпературных энергетических установок.								

6.1	Использования вторичных энергетических ресурсов для генерации холода.	8	1		10,35	Самостоятельное изучение литературы. Изучение соответствующих вопросов из прил. 1. Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Конспект лекций.	ПК-3.1, ПК-3.2
Итого по разделу		1			10,35			
Итого за семестр		11		22	74,35		зачёт	
Итого по дисциплине		11		22	74,35		зачет	

## **5 Образовательные технологии**

Для решения предусмотренных видов учебной работы при изучении дисциплины «Холодильные и криогенные установки» в качестве образовательных технологий используются как традиционные, так и технологии проектного обучения.

Информационная лекция – последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя). Также используются информационно – коммуникационные технологии. Практическое занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму.

Передача необходимых теоретических знаний и формирование представлений по курсу происходит с применением мультимедийного оборудования. Лекционный материал закрепляется на практических занятиях, где применяется совместная деятельность студентов в группе, направленная на решение общей задачи путем сложения результатов индивидуальной работы членов группы. Для развития и совершенствования коммуникативных способностей студентов организуются практические занятия в виде дискуссий, анализа реальных проблемных ситуаций и междисциплинарных связей из различных областей в контексте решаемой задачи. Самостоятельная работа стимулирует студентов к самостоятельной проработке тем в процессе написания рефератов подготовки к дискуссиям, к контрольным работам и тестированию. При организации самостоятельной работы студентов используются электронные версии курса лекций.

Студенты также выполняют творческий проект, который, как правило, не имеет детально проработанной структуры; учебно-познавательная деятельность студентов осуществляется в рамках рамочного задания, подчиняясь логике и интересам участников проекта, жанру конечного результата - информационного доклада.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) Основная литература:**

1. Степанов, О. А. Основы трансформации теплоты : учебник / О. А. Степанов, С. О. Захаренко. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 128 с. — ISBN 978-5-8114-3722-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/122152> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Агапитов, Е. Б. Теплоэнергетика криогенных и холодильных систем промышленных предприятий. Конспект лекций : учебное пособие / Е. Б. Агапитов, А. В. Тихонов. - Магнитогорск : МГТУ, 2013. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=910.pdf&show=dcatalogues/1/1118887/910.pdf&view=true> - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

### **б) Дополнительная литература:**

1. Осколков, С. В. Тепломассообменное оборудование предприятий : методические указания по выполнению курсового проекта для студентов направления подготовки 140100 "Теплоэнергетика" / С. В. Осколков, Л. В. Николаев ; МГТУ, Каф. теплотехнических и энергетических систем. - Магнитогорск : МГТУ, 2012. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=1547.pdf&show=dcatalogues/1/1124>

.- Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

2. Ляшков, В. И. Нагнетатели, тепловые двигатели и термотрансформаторы в системах энергообеспечения предприятий : учеб. пособие / В.И. Ляшков. — Москва : ИНФРА-М, 2018. — 218 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org/10.12737/22122](http://www.dx.doi.org/10.12737/22122). - ISBN 978-5-16-012314-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/942815> – Режим доступа: по подписке.

3. Ляшков, В. И. Теоретические основы теплотехники: Учеб. пособие для вузов / В.И. Ляшков, 2-е изд., испр. и доп. - М.: КУРС: ИНФРА-М, 2019. -с: ил. - ISBN 978-5-905554-85-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1002345> – Режим доступа: по подписке.

#### **в) Методические указания:**

1. Агапитов, Е. Б. Теплоэнергетика криогенных и холодильных систем промышленных предприятий. Конспект лекций : учебное пособие / Е. Б. Агапитов, А. В. Тихонов. - Магнитогорск : МГТУ, 2013. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsistema.ru/uploader/fileUpload?name=910.pdf&show=dcatalogues/1/1118887/910.pdf&view=true> (дата обращения: 14.05.2020). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

2. Климова, Т. А. Холодильное оборудование : учебное пособие [для СПО] / Т. А. Климова ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsistema.ru/uploader/fileUpload?name=1468.pdf&show=dcatalogues/1/1123993/1468.pdf&view=true> (дата обращения: 14.05.2020). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

#### **г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

##### **Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
MathCAD v.15 Education University Edition	Д-1662-13 от 22.11.2013	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое	бессрочно
Linux Calculate	свободно распространяемое	бессрочно

##### **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Международная база полнотекстовых журналов Springer Journals	<a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a>

#### **9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации. Учебные аудитории для проведения практических, лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Доска, мультимедийный проектор, экран. Учебные аудитории для выполнения курсового проектирования, помещения для самостоятельной работы обучающихся. Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

### Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

1. Какие требования предъявляются к качеству продуктов разделения воздуха.
2. Какие графики потребления продуктов разделения воздуха вы знаете.
3. Как классифицируются трансформаторы теплоты.
4. Каскадные и регенеративные трансформаторы теплоты.
5. Общая характеристика хладагентов и криоагентов.
6. Абсорбционные трансформаторы теплоты.
7. Струйные трансформаторы теплоты.
8. Газожидкостные трансформаторы теплоты.
9. Криорефрижераторы с дроссельной системой окончательного охлаждения.
10. Криорефрижераторы с детандерной системой окончательного охлаждения.
11. Особенности систем ожижения, замораживания и низкотемпературного разделения.
12. Какова роль низкотемпературной техники в развитии экономики страны?
13. Основные потребители продуктов разделения воздуха
14. Свойства низкотемпературной изоляции.
15. Классификация криогенных установок и циклов.
16. Реальные циклы криогенных установок. Цикл Гейландта, Клода и Капицы.
17. Холодопроизводительность, потери, эффективность реальных циклов.
18. Понятие бинарной смеси. Законы разделения бинарных смесей.
19. Процессы кипения и конденсации бинарной смеси.
20. Процесс ректификации бинарной смеси.
21. Схемы ректификационных колонн для разделения бинарной смеси.
22. Блочная схема воздуходелительной установки.
23. Классификация ВРУ.
24. Общая характеристика ВРУ, принципы построения.
25. Тенденции развития ВРУ. Энергетические показатели.
26. Технология разделения воздуха.
27. Холодопроизводительность и ее составляющие для ВРУ различных типов.
28. Регулирование производительности ВРУ.
29. Способы компенсации неравномерности потребления продуктов разделения ВРУ
30. Схемы снабжения предприятия газообразными продуктами разделения воздуха.
31. Классификация трубопроводов для транспорта продуктов разделения воздуха.
32. Проектирование трубопроводов для транспорта продуктов разделения воздуха.
33. Жидкостные криогенные системы.
34. Материалы труб, арматура.

Оценочные средства проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства																																													
<b>ПК-3 - Способен к сбору, обработке, анализу и обобщению результатов экспериментов и исследований в соответствующей области знаний</b>																																															
ПК-3.1	Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение результатов экспериментов и исследований	<p style="text-align: center;"><i>Примеры практических заданий:</i></p> <p>Произвести сопоставительные расчеты энергозатрат двух холодильных установок холодопроизводительностью 100 кВт, работающих на аммиаке и хладоне R-123. Сопоставить холодильные коэффициенты. Оцените эффективность применения теплового насоса на хладоне R-123 и электроотопительного котла для задачи отопления здания площадью 200 м<sup>2</sup>.</p>																																													
ПК-3.2	Подготавливает предложения для составления планов и методических программ экспериментальных исследований и разработок, практических рекомендаций по исполнению их результатов	<p style="text-align: center;"><i>Задания на решение задач из профессиональной области, комплексные задания</i></p> <p>Произвести комплексный расчет воздухоразделительной установки на основе экспериментальных данных, предназначенной для одновременного получения технического кислорода высокого давления (до 20 МПа) в количестве 280 нм<sup>3</sup>/ч концентрацией 99,8% O<sub>2</sub> и газообразного азота особой чистоты в количестве 1650 нм<sup>3</sup>/ч концентрацией 99,999% N<sub>2</sub>.</p> <table border="1" data-bbox="808 1062 1928 1442"> <thead> <tr> <th></th> <th>G, нм<sup>3</sup> /ч</th> <th>Конц. O<sub>2</sub>,%</th> <th>Конц. N<sub>2</sub></th> <th>Расход N<sub>2</sub> нм<sup>3</sup> /ч</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>280</td> <td>99.8</td> <td>99.87</td> <td>1800</td> </tr> <tr> <td></td> <td>300</td> <td>99.5</td> <td>99.999</td> <td>1900</td> </tr> <tr> <td></td> <td>340</td> <td>99.7</td> <td>99.85</td> <td>1670</td> </tr> <tr> <td></td> <td>310</td> <td>99.8</td> <td>99.92</td> <td>1650</td> </tr> <tr> <td></td> <td>270</td> <td>99.5</td> <td>99.999</td> <td>1680</td> </tr> <tr> <td></td> <td>300</td> <td>99.7</td> <td>99.85</td> <td>1900</td> </tr> <tr> <td></td> <td>340</td> <td>99.8</td> <td>99.92</td> <td>1670</td> </tr> <tr> <td></td> <td>310</td> <td>99.7</td> <td>99.999</td> <td>1650</td> </tr> </tbody> </table>		G, нм <sup>3</sup> /ч	Конц. O <sub>2</sub> ,%	Конц. N <sub>2</sub>	Расход N <sub>2</sub> нм <sup>3</sup> /ч		280	99.8	99.87	1800		300	99.5	99.999	1900		340	99.7	99.85	1670		310	99.8	99.92	1650		270	99.5	99.999	1680		300	99.7	99.85	1900		340	99.8	99.92	1670		310	99.7	99.999	1650
	G, нм <sup>3</sup> /ч	Конц. O <sub>2</sub> ,%	Конц. N <sub>2</sub>	Расход N <sub>2</sub> нм <sup>3</sup> /ч																																											
	280	99.8	99.87	1800																																											
	300	99.5	99.999	1900																																											
	340	99.7	99.85	1670																																											
	310	99.8	99.92	1650																																											
	270	99.5	99.999	1680																																											
	300	99.7	99.85	1900																																											
	340	99.8	99.92	1670																																											
	310	99.7	99.999	1650																																											

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства				
			270	99.8	99.85	1680
	300	99.6	99.92	1690		
	0					

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания (зачет).**

Критерии оценки (в соответствии с формируемыми компетенциями и планируемыми результатами обучения):

- на оценку «**зачтено**» – обучающийся демонстрирует от высокого до порогового уровня сформированности компетенций:
- обучающийся должен показать уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений
- выполнена контрольная работа, в которой были решены задачи по расчету состава различных анализируемых масс органического топлива, определения его теплотворной способности и определения состава и объема продуктов сгорания.
- на оценку «**незачтено**» – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.