Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 10.08.2026 17:20:00
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b348

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет химической технологии и биотехнологии

УТВЕРЖДАЮ
Декан
_____ / А.С. Соколов /
«26» февраля 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Холодильные системы на перспективных хладагентах»

Направление подготовки
16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

Профиль «Перспективные холодильные системы»

Квалификация
Магистр

Форма обучения
Очная

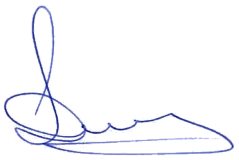
Москва, 2026

Разработчик(и):

доцент каф. «Техника низких температур»
им. П.Л. Капицы,
к.т.н.

 /М.А. Угольникова/

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Техника низких температур»
им. П.Л. Капицы,
к.т.н.

 / Д.А. Некрасов /

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине....4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы....4
3. Структура и содержание дисциплины....5
3.1 Виды учебной работы и трудоемкость....5
3.2 Тематический план изучения дисциплины....5
3.3 Содержание дисциплины....6
3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий....7
3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)....7
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение....7
4.1 Нормативные документы и ГОСТы....7
4.2 Основная литература....8
4.3 Дополнительная литература....8
4.4 Электронные образовательные ресурсы....8
4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение....8
4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы....8
5. Материально-техническое обеспечение....9
6. Методические рекомендации....9
6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения....9
6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 10
7. Фонд оценочных средств....11
7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения....11
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения....11
7.3 Оценочные средства....11

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Основной целью освоения дисциплины «**Холодильные системы на перспективных хладагентах**» является формирование компетенций в области проектирования, монтажа и технического обслуживания холодильного оборудования, работающего на аммиаке (R717), диоксиде углерода (R744) и углеводородах (R290, R1270, R600a), с учетом требований промышленной безопасности.

К **основным задачам** освоения дисциплины «**Холодильные системы на перспективных хладагентах**» следует отнести:

– изучение особенностей систем на перспективных хладагентах и общих требований к ним;

– изучение особенностей монтажа и сервиса систем на перспективных хладагентах.

Обучение по дисциплине «Холодильные системы на перспективных хладагентах» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1. Способен к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов в своей профессиональной деятельности;	ИОПК-1.1. Знает: основные виды современного научного, технологического оборудования и приборов, область его применения и основные правила эксплуатации. ИОПК-1.2. Умеет: осуществлять настройку научного и технологического оборудования и приборов, проводить грамотные измерения приборами ИОПК-1.3. Владеет: приемами проведения экспериментальных исследований с применением научного оборудования и измерительных приборов; способами наладки технологического оборудования

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части блока Б1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина «Холодильные системы на перспективных хладагентах» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами ООП:

– «Рабочие вещества низкотемпературных систем»;

– «Проектирование и расчет элементов низкотемпературной техники».

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(е) единиц(ы) (108 часа (ов)).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

3.1.1. Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
			2
1	**Аудиторные занятия**	**32**	**32**
	В том числе:		
1.1	Лекции	12	12
1.2	Семинарские/практические занятия	20	20
2	**Самостоятельная работа**	**76**	**76**
	В том числе:		
2.1	Проработка лекционного материала	38	38
2.2	Подготовка к семинарам	38	38
3	**Промежуточная аттестация**		
	Зачет/диф.зачет/экзамен	**зачет**	**зачет**
	Итого	**108**	108

3.2 Тематический план изучения дисциплины

3.2.1. Очная форма обучения

№ п/п	Разделы / темы дисциплины	Трудоемкость, час				
		Всего	**Аудиторная работа**			**Самостоятельная работа**
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	
1	Современные тренды в холодильной технике. Понятие природных хладагентов, их роль в выполнении Кигалийской поправки. Физико-химические свойства и диаграммы состояния: аммиак (токсичность, взрывопожароопасность), диоксид углерода (высокое давление, тройная точка), углеводороды (взрывопожароопасность). Масла, совместимые с природными хладагентами (PAG, POE, минеральные).	**16**	2	2		12
2	Материалы и соединения. Требования к материалам трубопроводов для различных хладагентов. Специфика пайки и сварки: пайка медь-медь для углеводородов и CO2 (низкое давление), аргонодуговая сварка для сталей (аммиак, высокая сторона CO2). Монтаж арматуры под высокое давление (CO2	**18**	2	4		12

	транскритические системы). Очистка и обезжиривание (системы на R290 и R1270).					
3	Специфика компрессорных цехов. Компоновка оборудования. Открытые компрессоры (аммиак), полугерметичные компрессоры (CO2/углеводороды). Системы осушки и фильтрации. Монтаж систем фреонопроводов (для каскадов), обеспечение возврата масла.	**16**	2	2		12
4	Ввод в эксплуатацию. Этапы: опрессовка инертным газом (азот), вакуумирование (глубокий вакуум для абсорбции влаги в POE маслах), разрушение вакуума и заправка хладагента. Особенности заправки CO2 (из баллонов под давлением, опасность сухого льда) и углеводородов (строгий контроль массы).	**18**	2	4		12
5	Диагностика неисправностей. Типовые отказы в аммиачных системах (гидраты, коррозия), в CO2-системах (забивка осушителя, пробки сухого льда), в углеводородных (прорыв нагнетательного клапана из-за высокой температуры нагнетания). Методы поиска утечек: электронные течеискатели для R290, химический анализ для аммиака.	**18**	2	4		12
6	Промышленная безопасность. Расчет зарядной емкости по массе. Требования к вентиляции машинных отделений. Сигнализаторы загазованности: аварийная вентиляция, светозвуковая сигнализация для NH3, CO2, R290. СИЗ органов дыхания при работе с аммиаком и углеводородами. Транскритические и субкритические CO2-системы. Каскадные системы (NH3/CO2, R290/CO2) – лидеры энергоэффективности.	**22**	2	4		16
	Итого	**108**	**12**	**20**		**76**

3.3 Содержание дисциплины

Модуль 1 — Введение в природные хладагенты

Современные тренды в холодильной технике. Понятие природных хладагентов, их роль в выполнении Кигалийской поправки. Физико-химические свойства и диаграммы состояния: аммиак (токсичность, взрывопожароопасность), диоксид углерода (высокое давление, тройная точка), углеводороды (взрывопожароопасность). Масла, совместимые с природными хладагентами (PAG, POE, минеральные).

Модуль 2 — Особенности монтажа

Материалы и соединения. Требования к материалам трубопроводов для различных хладагентов. Специфика пайки и сварки: пайка медь-медь для углеводородов и CO2 (низкое давление), аргонодуговая сварка для сталей (аммиак, высокая сторона CO2). Монтаж арматуры под высокое давление (CO2 транскритические системы). Очистка и обезжиривание (системы на R290 и R1270).

Специфика компрессорных цехов. Компоновка оборудования. Открытые компрессоры (аммиак), полугерметичные компрессоры (CO2/углеводороды). Системы осушки и фильтрации. Монтаж систем фреонопроводов (для каскадов), обеспечение возврата масла.

Модуль 3 — Пусконаладка и сервис

Ввод в эксплуатацию. Этапы: опрессовка инертным газом (азот), вакуумирование (глубокий вакуум для абсорбции влаги в POE маслах), разрушение вакуума и заправка хладагента. Особенности заправки CO2 (из баллонов под давлением, опасность сухого льда) и углеводородов (строгий контроль массы).

Диагностика неисправностей. Типовые отказы в аммиачных системах (гидраты, коррозия), в CO2-системах (забивка осушителя, пробки сухого льда), в углеводородных (прорыв нагнетательного клапана из-за высокой температуры нагнетания). Методы поиска утечек: электронные течеискатели для R290, химический анализ для аммиака.

Модуль 4 — Безопасность и современные тенденции

Промышленная безопасность. Расчет зарядной емкости по массе. Требования к вентиляции машинных отделений. Сигнализаторы загазованности: аварийная вентиляция, светозвуковая сигнализация для NH3, CO2, R290. СИЗ органов дыхания при работе с аммиаком и углеводородами. Транскритические и субкритические CO2-системы. Каскадные системы (NH3/CO2, R290/CO2) – лидеры энергоэффективности.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

Семинар 1 (2 ч): Анализ нормативной документации. Обзор требований: Промышленная безопасность (ФНиП в РФ), Правила устройства и безопасной эксплуатации аммиачных холодильных установок, европейские стандарты (EN 378, ISO 5149). Разбор классов взрывопожароопасности зон.

Семинар 2 (2 ч): Практический расчет трассировки трубопроводов. Компенсация температурных расширений (особенно для длинных трасс в "холодных" зонах CO2).

Семинар 3 (2 ч): Работа с инструментом: вальцовка под высокое давление, пресс-фитинги для CO2, torque-ключи при сборке фланцевых соединений на аммиаке.

Семинар 4 (2 ч): Монтаж испарителей и воздухоохладителей. Системы оттайки (электрическая, водяная, горячим газом). Особенности монтажа насосных агрегатов для аммиака и CO2.

Семинар 5 (2 ч): Расчет и подбор запорно-регулирующей арматуры. Настройка ТРВ и электронных РВ.

Семинар 6 (2 ч): Работа с контроллерами (Danfoss, Siemens, Carel). Чтение трендов, настройка ПИД-регуляторов для поддержания температуры.

Семинар 7 (2 ч): Сервисное обслуживание масляной системы. Замена масла, анализ кислотного числа. Обслуживание сепараторов масла.

Семинар 8 (2 ч): Ремонтные работы: Извлечение хладагента (особенно для углеводородов – запрет на выпуск в атмосферу), вскрытие системы, замена компрессора, повторная пайка, вакуумирование.

Семинар 9 (2 ч): Разработка Плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (ПМЛА) для гипотетического объекта с аммиаком.

Семинар 10 (2 ч): Круглый стол: "Будущее за природными хладагентами". Анализ коммерческих предложений, расчет совокупной стоимости владения (CAPEX + OPEX) для систем на R404A (озоноразрушающий/высокий ПГП) и альтернативных систем на R290/NH3.

3.4.2. Лабораторные занятия

Нет.

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Нет.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 32968-2014 Оборудование холодильное. Агенты холодильные. Требования по применению и извлечению. - М.: Стандартинформ, 2019.

2. ГОСТ 33662.1-2015 (ISO 5149-1:2014) Холодильные системы и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 1. Определения, классификация и критерии выбора. - М.: Стандартинформ, 2016.

3. ГОСТ 33662.4-2015 (ISO 5149-4:2014) Холодильные системы и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 4. Эксплуатация, техническое обслуживание, ремонт и восстановление. - Введ. 2017-07-01. - М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2016.

4.2 Основная литература

1. Усов, А. В. Актуальные проблемы и перспективы развития низкотемпературной техники : учебное пособие / А. В. Усов. — Кемерово : КемГУ, 2020. — 136 с. — ISBN 978-5-8353-2675-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/162592 (дата обращения: 24.02.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Основы трансформации теплоты : учебное пособие / составитель Л. П. Артамонова. — Ижевск : УдГАУ, 2021. — 128 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-

библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/209039(дата обращения: 20.08.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4.3 Дополнительная литература

1. Эксплуатация и обслуживание холодильного оборудования на предприятиях АПК / В. И. Трухачев, И. В. Атанов, И. В. Капустин, Д. И. Грицай. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 192 с. — ISBN 978-5-507-47247-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/346451 (дата обращения: 24.02.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Комарова, Н. А. Холодильные установки. Основы проектирования : учебное пособие / Н. А. Комарова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Кемерово : КемГУ, 2012. — 368 с. — ISBN 978-5-89289-727-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/4606 (дата обращения: 24.02.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4.4 Электронные образовательные ресурсы

Возможно частичное использование ЭОР «Рабочие вещества низкотемпературных систем»

https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=2163

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

нет

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс», бесплатный электронный фонд, в котором содержатся документы федерального и регионального законодательства, нормативная техническая документация и авторский справочный контент. — URL: docs.cntd.ru

5. Материально-техническое обеспечение

Лекционные и практические занятия и лабораторные работы проводятся в специализированных аудиториях кафедры Ав2214 и Ав2103, оснащенных соответствующим испытательным стендовым оборудованием, плакатами, натурными образцами узлов, деталей машин.

При кафедре работает консультационно-вычислительный класс Ав2209 для самостоятельной работы, оснащенный компьютерами с соответствующим расчетным и графическим программным обеспечением.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Основным требованием к преподаванию дисциплины является творческий, проблемно-диалоговый подход, позволяющий повысить интерес студентов к содержанию учебного материала.

Основная форма изучения и закрепления знаний по этой дисциплине – лекционная, лабораторная и практическая. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Основу учебных занятий по дисциплине составляют лекции. В процессе обучения студентов используются различные виды учебных занятий (аудиторных и внеаудиторных): лекции, семинарские занятия, лабораторные работы консультации и т.д. На первом занятии по данной учебной дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения, раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрыть содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических и лабораторных занятий - обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы. Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам, желанию у студентов поработать у доски при решении задач.

После каждого лекционного, лабораторного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа является одним из видов получения образования обучающимися и направлена на:

- изучение теоретического материала, подготовка к лекционным,семинарским (практическим) занятиям
- подготовка к тестированию с использованием СДО.

Самостоятельная работа студентов представляет собой важнейшее звено учебного процесса, без правильной организации которого обучающийся не может быть высококвалифицированным выпускником.

Студент должен помнить, что начинать самостоятельные занятия следует с первого семестра и проводить их регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

Важно полнее учесть обстоятельства своей работы, уяснить, что является главным на данном этапе, какую последовательность работы выбрать, чтобы выполнить ее лучше и с наименьшими затратами времени и энергии.

Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Студент должен помнить, что в процессе обучения важнейшую роль играет самостоятельная работа с книгой. Научиться работать с книгой – важнейшая задача студента. Без этого навыка будет чрезвычайно трудно изучать программный материал, и много времени будет потрачено нерационально. Работа с книгой складывается из умения подобрать необходимые книги, разобраться в них, законспектировать, выбрать главное, усвоить и применить на практике.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

До даты проведения промежуточной аттестации студент должен выполнить все работы, предусмотренные настоящей рабочей программой дисциплины.

Перечень обязательных работ, выполняемых в течение семестра

- Устный опрос, собеседование
- Тестирование
- Защита реферата

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Результаты обучения оцениваются по балльной шкале, баллы начисляются студенту по результатам выполнения обязательных работ.

Оценка	Количество баллов
отлично	от 81 до 100
хорошо	от 61 до 80
удовлетворительно	от 41 до 60
неудовлетворительно	40 и менее

7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

Темы для устных опросов

1. Сравнительный анализ термодинамических свойств R717, R744 и R290. Области применения.
2. Почему в системах на CO2 используются четырехступенчатые компрессоры и промежуточное охлаждение?
3. Технология пайки трубопроводов для пропана (R290). Требования к продувке инертным газом.
4. Алгоритм действий при обнаружении утечки аммиака в машинном отделении.
5. Особенности вакуумирования систем, работающих на синтетических маслах (POE), после ремонта.
6. Устройство и монтаж систем оттайки горячим газом в CO2-воздухоохладителях.
7. Категорийность помещений по взрывопожарной опасности при использовании R290 и R717.

8. Методика расчета диаметров трубопроводов для нагнетательного тракта аммиачной установки.

Пример тестового задания.

Вопрос 1. Что из перечисленного является ОБЩИМ для всех природных хладагентов (R717, R744, R290)?

Они все тяжелее воздуха.

+ Они все имеют нулевой потенциал разрушения озона (ODP=0).

Они все нетоксичны.

Они все относятся к группе взрывопожароопасных веществ (класс А3).

Они все требуют использования синтетических масел (POE).

Вопрос 2. Какой природный хладагент относится к группе безопасности А3 (высокотоксичные и/или взрывоопасные) по классификации ISO 5149?

Диоксид углерода (R744).

Аммиак (R717).

+ Пропан (R290).

Воздух (R729).

Вода (R718).

Вопрос 3. Какое вещество чаще всего используется для нейтрализации (дегазации) проливов аммиака?

Концентрированная серная кислота.

Пресная вода.

Водный раствор аммиачной селитры.

+ Поглотительный раствор (например, 10% раствор соляной или уксусной кислоты).

Сухой песок.

Вопрос 4. Почему в аммиачных холодильных установках преимущественно используются стальные трубопроводы, а не медные?

Медь дороже стали.

+ Аммиак химически взаимодействует с медью и медными сплавами (образует комплексные соединения).

Медь слишком мягкая и не выдержит давления аммиачной системы.

Сталь лучше проводит холод.

Медные трубы сложнее сваривать.

Вопрос 5. Главная особенность эксплуатации транскритических CO2-систем (R744), отличающая их от систем на обычных фреонах?

Очень низкое давление в конденсаторе (ниже атмосферного).

+ Чрезвычайно высокое рабочее давление (до 100–140 бар) и отсутствие фазового перехода «пар-жидкость» в газоохладителе выше критической точки.

Необходимость постоянной дозаправки маслом из-за его растворения в CO2.

Полное отсутствие жидкой фазы во всем контуре.

Высокая температура кипения при атмосферном давлении (-10°C).

Вопрос 6. Какое физическое явление создает главную проблему при заправке баллона с жидким CO2 в систему и требует особой осторожности?

Вскипание и резкое повышение уровня жидкости в баллоне (гидроудар).

+ Образование «сухого льда» (твердой фазы) при падении давления ниже тройной точки.

Самовоспламенение CO2 при контакте с воздухом.

Выделение гремучего газа.

Интенсивное пенообразование масла.

Вопрос 7. Какое главное требование предъявляется ко всем элементам электрической цепи (компрессор, вентилятор, автоматика) внутри холодильного агрегата, работающего на пропане (R290)?

Степень защиты IP54 (защита от пыли и брызг).

Наличие маркировки «только для R290».

+ Отсутствие искрящих контактов (взрывозащищенное или герметичное исполнение).

Питание только от постоянного тока (12/24V).

Обязательное наличие частотного преобразователя.

7.3.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

Примерные вопросы к зачету

1. Объясните явление «тройной точки» для диоксида углерода (R744). Какие проблемы возникают при монтаже и эксплуатации, если температура испарения опускается ниже -56°C? Методы борьбы с образованием «сухого льда».
2. Почему аммиак (R717) обладает наилучшими термодинамическими свойствами среди массовых хладагентов, но при этом имеет ограничения по применению?
3. Объясните понятие «температура нагнетания» для аммиачных компрессоров и её влияние на ресурс.

4. Сравните пропан (R290) и пропилен (R1270) как хладагенты. В каких типах систем (промышленные/коммерческие/бытовые) предпочтительнее использовать каждый из них и почему?
5. Критерии выбора холодильного масла для систем на CO2 (R744) в транскритическом цикле.
6. Почему важно использовать масла с низкой вязкостью при низких температурах?
7. Являются ли природные хладагенты чистыми веществами или азеотропными смесями?
8. Чем отличается утечка аммиака от утечки синтетического фреона (например, R404A) с точки зрения изменения состава и свойств остатка в системе?
9. Влияние растворимости воды в аммиаке на коррозионные процессы. Почему в аммиачных системах предъявляются менее жесткие требования к осушке, чем в системах на R290, но более жесткие — к очистке от масел?
10. Обоснуйте выбор материала трубопроводов (медь, сталь углеродистая, нержавеющая сталь) для следующих участков одной установки: Жидкостная линия аммиака (-10°C).
11. Обоснуйте выбор материала трубопроводов (медь, сталь углеродистая, нержавеющая сталь) для следующих участков одной установки: Нагнетательный трубопровод CO2 (транскритический, +100°C, 80 бар).
12. Обоснуйте выбор материала трубопроводов (медь, сталь углеродистая, нержавеющая сталь) для следующих участков одной установки: Всасывающая линия R290 (-40°C).
13. Сварка и пайка: Технология выполнения паяного соединения «медь-медь» для систем на пропане (R290). Какие припои (твердые/мягкие) допустимы? Зачем нужна продувка азотом ВНУТРИ трубы во время пайки?
14. Арматура высокого давления: Конструктивные особенности запорной арматуры (вентилей, шаровых кранов), применяемой на стороне высокого давления в транскритических CO2-установках (рабочее давление до 120-140 бар). Отличие от стандартной арматуры для R404A.
15. Требования к устройству фундаментов и виброизоляции поршневых компрессоров открытого типа (аммиак) по сравнению с полугерметичными винтовыми (CO2/углеводороды).
16. Особенности монтажа кожухотрубных испарителей затопленного типа в аммиачных насосных схемах.
17. Обеспечение слива масла и дренажа хладагента.
18. Сравните эффективность и особенности монтажа систем оттайки горячим газом для аммиачных и CO2-воздухоохладителей. Почему для CO2 часто применяют газ из ресивера высокого давления?
19. Классификация взрывозащиты электрооборудования (компрессоров, вентиляторов, светильников) для помещений, где возможно присутствие R290 и R717. Маркировка взрывозащиты.
20. Как проводятся испытания на прочность и плотность (опрессовка) для систем, работающих под высоким давлением (CO2)? Почему нельзя использовать кислород?
21. Расчет необходимого времени вакуумирования и критерии его окончания (глубина вакуума, скорость нарастания давления) для системы большого объема на R290. Почему недостаточный вакуум критичен для POE-масел?

22. Технология заправки транскритической CO2-системы. Почему заправка ведется по массе, а не по давлению и температуре? Какие меры предосторожности нужны, чтобы не заморозить «сухой лед» в баллоне?
23. Поиск утечек: Методы обнаружения микроутечек в системах с углеводородами (R290). Допустимо ли применение галогенных течеискателей (работающих по захвату ионов хлора)? Какие существуют альтернативы?
24. Диагностика: Компрессор "не качает". Составьте алгоритм действий для определения причины неисправности: механический износ, прогар клапанной пластины или закупорка всасывающего фильтра (на примере аммиачной установки).
25. Состав и правила применения индивидуальных средств защиты (СИЗ) при аварийной утечке аммиака. Отличие фильтрующих противогазов (марка КД) от изолирующих дыхательных аппаратов.
26. Расчет кратности воздухообмена аварийной вентиляции для машинного отделения с пропаном (R290) и для отделения с аммиаком. Сравните требования.
27. Порядок действий при выводе из эксплуатации оборудования на углеводородах (R290).
28. Технология извлечения хладагента, его очистка и возможность повторного использования (рециклинг). Экологические аспекты.
29. Опишите принцип работы каскадной холодильной установки на базе пары «R290 / CO2». Какие функции выполняет верхний каскад (пропановый), а какие — нижний (CO2)? Где такие схемы применяются наиболее часто?
30. Эжекторные циклы в транскритических CO2-системах. Для чего нужен эжектор и как он повышает энергоэффективность установки?

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Холодильные системы на перспективных хладагентах».

Шкала оценивания	**Описание**
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков

	по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.