

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 29.09.2023 12:03:38
Уникальный прогамный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем»

Направление подготовки

16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

Профиль **«Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»**

Квалификация (степень) выпускника

Магистр

Форма обучения

Очная

Москва 2022 г.

Разработчик(и):

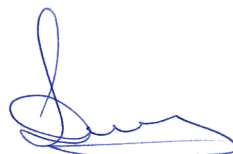
доцент, к.т.н.



/ А.Е. Ермолаев /

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Техника низких температур»,
к.т.н.



/ Д.А. Некрасов /

1. Цели освоения дисциплины.

К **основным целям** освоения дисциплины «**Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем**» следует отнести:

- формирование знаний по основным современным проблемам, методам и уравнениям термодинамики для процессов, происходящих в машинах и аппаратах низкотемпературной техники.

К **основным задачам** освоения дисциплины «**Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем**» следует отнести:

- привитие навыков и выработка умения применять современные методы термодинамического, энтропийно-статистического анализа процессов в агрегатах, узлах и системах низкотемпературной техники при их разработке, проектировании и оценке характеристик.

2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры.

Дисциплина «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем» относится к числу профессиональных учебных дисциплин обязательной части блока 1 основной образовательной программы магистратуры.

Дисциплина «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- «Рабочие вещества низкотемпературных систем»;
- «Проектирование и расчет машин, аппаратов и установок низкотемпературной техники».

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
-----------------	---	---

ОПК-6	Способен осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов;	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные современные проблемы, методы и уравнения термодинамики для процессов в машинах и установках холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения; <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • рационально использовать аналитические методы термодинамического анализа низкотемпературных установок для оценки эффективности существующих и создаваемых машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения; <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • современными методами термодинамического, энтропийно - статистического анализа низкотемпературных систем.
-------	--	---

4. Структура и содержание дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, т.е. 108 академических часов (из них 54 часа – самостоятельная работа студентов).

Разделы дисциплины «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем» изучаются на первом курсе, форма контроля – экзамен.

Структура и содержание дисциплины «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем» по срокам и видам работы отражены в приложении.

Содержание разделов дисциплины

Первый семестр

1. Введение. Термодинамические основы производства искусственного холода.
2. Основные дифференциальные уравнения термодинамики.
3. Энтропия как мера потерь и необратимости.
4. Диаграммы состояния.
5. Теорема Умова.
6. Эксергия.
7. Эксергетический КПД.
8. Критерии термодинамического совершенства низкотемпературных систем.
9. Термодинамика процессов ожижения газов.
10. Термодинамический анализ потерь в низкотемпературных установках.

5. Образовательные технологии.

Методика преподавания дисциплины «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем» и реализация компетентного подхода в изложении и вос-

приятии материала предусматривает использование модульного и интерактивного обучения:

- организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме опросов.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Текущий контроль успеваемости и промежуточной аттестации проводятся по следующим критериям;

- ответы студента на вопросы при проведении аудиторных занятий;
- решение кейс-задач по дисциплине

Образцы вопросов и заданий для проведения текущего контроля, экзаменационных билетов приведены в приложении.

6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю).

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать
ОПК-6	Способен осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов;

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

ОПК-6. Способен осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов;

Показатель	Критерии оценивания			
	2	3	4	5
знать: основные современные проблемы, методы и уравнения термодинамики для процессов в машинах и установках холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения;	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующим знаниям: основные современные проблемы, методы и уравнения термодинамики для процессов в машинах и установках холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения;	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующим знаниям: основные современные проблемы, методы и уравнения термодинамики для процессов в машинах и установках холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующим знаниям: основные современные проблемы, методы и уравнения термодинамики для процессов в машинах и установках холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующим знаниям: основные современные проблемы, методы и уравнения термодинамики для процессов в машинах и установках холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения, свободно оперирует приобретенными знаниями.
уметь: рационально использовать аналитические методы термодинамического анализа низкотемпературных установок для оценки эффективности существующих и создаваемых машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения;	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет рационально использовать аналитические методы термодинамического анализа низкотемпературных установок для оценки эффективности существующих и создаваемых машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующим умениям: рационально использовать аналитические методы термодинамического анализа низкотемпературных установок для оценки эффективности существующих и создаваемых машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умения-	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующим умениям: рационально использовать аналитические методы термодинамического анализа низкотемпературных установок для оценки эффективности существующих и создаваемых машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующим умениям: рационально использовать аналитические методы термодинамического анализа низкотемпературных установок для оценки эффективности существующих и создаваемых машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения.

		ми при их переносе на новые ситуации.		Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: современными методами термодинамического, энтропийно - статистического анализа низкотемпературных систем.	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет современными методами термодинамического, энтропийно - статистического анализа низкотемпературных систем.	Обучающийся владеет современными методами термодинамического, энтропийно - статистического анализа низкотемпературных систем, но допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет современными методами термодинамического, энтропийно - статистического анализа низкотемпературных систем, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет современными методами термодинамического, энтропийно - статистического анализа низкотемпературных систем, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

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 «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем» (указывается что именно – прошли промежуточный контроль, выполнили все работы, выступили с докладом и т.д.)

Шкала оценивания	Описание
Отлично	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.
Хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное, правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо если при этом были допущены 2-3 несущественные ошибки.
Удовлетворительно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.
Неудовлетворительно	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.

Фонды оценочных средств представлены в приложении 1 к рабочей программе.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) Основная литература:

1. Морозов, В. В. Техническая термодинамика : учебное пособие / В. В. Морозов, Н. М. Максимов. — Великие Луки : Великолукская ГСХА, 2022. — 172 с. — ISBN 978-5-8047-0063-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/261638> (дата обращения: 20.08.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература:

1. 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: 20.08.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

в) Программное обеспечение и интернет-ресурсы:

Программный пакет Coolpack – построение диаграмм состояния, холодильных циклов, i-d-диаграммы.

Программный пакет Solkane – построение диаграмм состояния.

<http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> - свойства рабочих веществ.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Лекционные и практические занятия проводятся в специализированной аудитории кафедры Ав2103, оснащенной учебными столами, стульями, аудиторной доской, рабочим местом преподавателя, оборудованием для выполнения лабораторных работ.

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

9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

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

- изучение теоретического материала, подготовка к лекционным, лабораторным, семинарским (практическим) занятиям;
- подготовка к тестированию с использованием общеобразовательного портала.

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.

10. Методические рекомендации для преподавателя

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 четко обозначив ее характер, тему и круг тех вопросов, которые в ее 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 вопросы и 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 категориальный 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 соб-

ственных 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.

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

Направление подготовки: 16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

ОП (профиль): «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»
Форма обучения: очная

Вид профессиональной деятельности:
расчетно-экспериментальная с элементами научно-исследовательской,

Кафедра: «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем

- Состав: 1. Паспорт фонда оценочных средств
2. Описание оценочных средств:

Составитель: Ермолаев А.Е.

Москва, 2022 год

ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем					
ФГОС ВО 16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»					
В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции:					
КОМПЕТЕНЦИИ		Перечень компонентов	Технология формирования компетенций	Форма оценочного средства**	Степени уровней освоения компетенций
ИН-ДЕКС	ФОРМУЛИРОВКА				
1	2	3	4	5	6
ОПК-6	Способен осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов;	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> основные современные проблемы, методы и уравнения термодинамики для процессов в машинах и установках холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения; <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> рационально использовать аналитические методы термодинамического анализа низкотемпературных установок для оценки эффективности существующих и создаваемых машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения; <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> современными методами термодинамического, энтропийно - статистического анализа низкотемпературных систем. 	лекции, семинары и практические занятия, самостоятельная работа	К-3	<p>Базовый уровень</p> <p>- способен формировать термодинамические показатели эффективности процессов, протекающих в системах низкотемпературной техники;</p> <p>Повышенный уровень</p> <p>- способен разрабатывать оборудование низкотемпературной техники, в котором целевая задача решается должным образом при минимальном потреблении ресурсов, в том числе энергетических, и при максимальной скорости процесса, действуя в рамках, предопределенных фундаментальными законами природы.</p>

** - Сокращения форм оценочных средств см. в приложении 2 к РП.

**Перечень оценочных средств по дисциплине «Специальные главы термодинамики
низкотемпературных систем»**

№ ОС	Наименование оценочного сред- ства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оце- ночного средства в ФОС
1	Кейс-задача (К-3)	Проблемное задание, в котором обучаю- щемуся предлагают осмыслить реальную профессионально - ориентированную си- туацию, необходимую для решения дан- ной проблемы.	Задания для решения кейс-задачи

ОПК-6. Способен осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов;					
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	Экзамен			
		Критерии оценивания			
		2	3	4	5
- готовность и способность формирования термодинамических показателей эффективности процессов, протекающих в системах низкотемпературной техники	1-10	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующим знаниям: готовность и способность формирования термодинамических показателей эффективности процессов, протекающих в системах низкотемпературной техники.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующим знаниям: готовность и способность формирования термодинамических показателей эффективности процессов, протекающих в системах низкотемпературной техники. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующим знаниям: готовность и способность формирования термодинамических показателей эффективности процессов, протекающих в системах низкотемпературной техники, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующим знаниям: : готовность и способность формирования термодинамических показателей эффективности процессов, протекающих в системах низкотемпературной техники, свободно оперирует приобретенными знаниями.

Вопросы к экзамену

по дисциплине «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем»

Вопросы для проверки уровня обученности ЗНАТЬ:

1. Аналитическое выражение первого начала термодинамики. Первое начало термодинамики для потока.
2. Изменение энтропии в необратимых процессах. Понятие эксергетического КПД.
3. Первая и вторая теоремы Карно. Обратный обратимый цикл Карно.
4. Эксергия теплоты.
5. Эксергия потока рабочего тела.
6. Аналитическое выражение и формулировки второго начала термодинамики.
7. Понятие теплоемкости. Виды теплоемкостей. Уравнение Майера.

Вопросы (задачи/задания) для проверки уровня обученности УМЕТЬ:

1. Изменение энтропии, энергетический баланс и удельная работа идеального газа в изотермическом процессе.
2. Изменение энтропии, энергетический баланс и удельная работа идеального газа в изохорном процессе.
3. Изменение энтропии, энергетический баланс и удельная работа идеального газа в изобарном процессе.
4. Сравнить потери эксергии при расширении газов от давления p_1 до давления p_2 без теплообмена с окружающей средой, имеющей температуру T_0 , с помощью дросселя и в детандере.

Вопросы (задачи/задания) для проверки уровня обученности ВЛАДЕТЬ:

1. Найти прирост энтропии и потерю эксергии при дросселировании идеального газа от давления p_1 до давления $p_2 < p_1$ при условии, что скорости газа до и после дросселя равны. Как изменится температура идеального газа после дросселя?
2. Найти минимальную удельную работу и потерю эксергии для перевода одного килограмма газа при температуре T_0 в жидкость с температурой T_2 .
3. Определить прирост энтропии и понятие эксергетического КПД для теплообменного аппарата.
4. Найти минимальную идеальную работу в изолированной системе для поддержания заданной температуры T_x при температуре окружающей среды T_0 .
5. Найти минимальное значение энергии, необходимое для непрерывной работы в течение одних суток изолированной холодильной системы холодопроизводительностью 10 кВт при температуре охлаждаемой среды -23°C и температуре окружающей среды 27°C .
6. Найти значение эксергетического КПД для теплообменного аппарата «вода-вода» при следующих значениях температур:
- температура охлаждаемой воды на входе в теплообменник 26°C , температура охлаждаемой воды на выходе из теплообменника 21°C ;

-температура охлаждающей воды на входе в теплообменник 7°C , температура охлаждающей воды на выходе из теплообменника 12°C .

Температуру окружающей среды принять равной 30°C .

7. Уравнение Ван-дер-Ваальса для 1-го моля газа имеет вид $\left(p + \frac{a}{V^2}\right) \cdot (V - b) = R_{\mu} \cdot T$. Записать это уравнение для произвольного числа n молей газа.

8. Найти выражение для расчета энтропии газа, подчиняющегося уравнению Ван-дер-Ваальса при условии, что теплоемкость газа C_v не зависит от температуры.

9. Какую максимальную работу можно получить из системы двух тел с температурами T_{10} и T_{20} ($T_{10} > T_{20}$), если эти тела используют в качестве соответственно нагревателя и холодильника в тепловой машине? Считать, что теплоемкости тел C_1 и C_2 не зависят от температуры. Найти окончательную температуру T обоих тел, когда между ними установится тепловое равновесие.

Форма экзаменационного билета

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

Факультет **Химической технологии и биотехнологии**

полное наименование факультета

Дисциплина по дисциплине «**Специальные
низкотемпературных систем**»

Кафедра «**Техника низких
температур**» им. П.Л. Капицы

сокращенное наименование кафедры

главы **термодинамики**

полное наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность) **16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и
системы жизнеобеспечения»**

код и наименование направления подготовки (специальности)

Курс **1** , группа _____, форма обучения **очная**

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1.

1. Аналитическое выражение первого начала термодинамики. Первое начало термодинамики для потока.
2. Изменение энтропии, энергетический баланс и удельная работа идеального газа в изотермическом процессе.
3. Найти прирост энтропии и потерю эксергии при дросселировании идеального газа от давления p_1 до давления $p_2 < p_1$ при условии, что скорости газа до и после дросселя равны. Как изменится температура идеального газа после дросселя?

Утверждено на заседании кафедры « ___ » _____ 2022 г., протокол № ___.

Зав. кафедрой _____ / Д.А. Некрасов /
подпись *расшифровка*

К комплекту экзаменационных билетов прилагаются разработанные преподавателем и утвержденные на заседании кафедры критерии оценивания по дисциплине.

ОПК-6. Способен осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов					
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	Экзамен			
		Критерии оценивания			
		2	3	4	5
- готовность и способность формирования термодинамических показателей эффективности процессов, протекающих в системах низкотемпературной техники	1-10	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующим знаниям: готовность и способность формирования термодинамических показателей эффективности процессов, протекающих в системах низкотемпературной техники.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующим знаниям: готовность и способность формирования термодинамических показателей эффективности процессов, протекающих в системах низкотемпературной техники. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующим знаниям: готовность и способность формирования термодинамических показателей эффективности процессов, протекающих в системах низкотемпературной техники, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующим знаниям: : готовность и способность формирования термодинамических показателей эффективности процессов, протекающих в системах низкотемпературной техники, свободно оперирует приобретенными знаниями.

Кейс-задачи

по дисциплине «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем»

Задание (я):

Оценить термодинамическую эффективность перечисленных ниже схем и конструкций любым из принятых методов и определить наименее эффективный узел (устройство, процесс).

Задание 1. Аммиачная парокомпрессионная холодильная установка, схема которой представлена на рисунке.

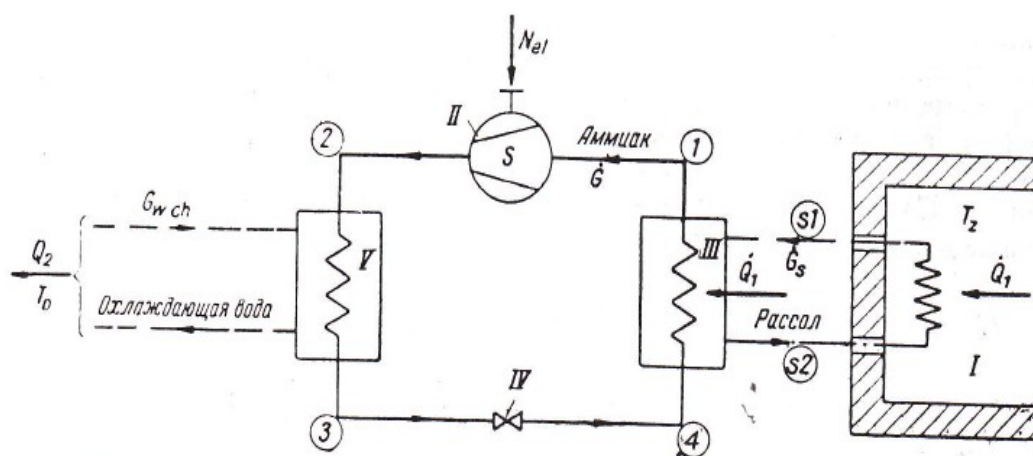


Схема компрессионной холодильной установки.
I — холодильная камера; II — компрессор; III — испаритель; IV — регулирующий вентиль; V — конденсатор.

Температура в камере $T_z=271\text{K}$, температура окружающей среды $T_0=293\text{K}$, холодопроизводительность установки по испарителю $Q_1=90\text{ кВт}$. Хладагент — аммиак.

Температура кипения хладагента в испарителе $T_p=261\text{K}$, температура пара на входе в компрессор $T_1=263\text{K}$, температура пара на выходе из компрессора $T_2=392\text{K}$, температура конденсации $T_k=301\text{K}$, температура жидкости на выходе из конденсатора $T_3=298\text{K}$.

Потерями давления в испарителе и конденсаторе и затратами энергии на привод насоса хладагента пренебречь.

Механический КПД компрессора $\eta_m=0,83$, КПД приводного электродвигателя компрессора $\eta_{эл}=0,9$.

Температура хладоносителя на входе в испаритель $T_{s1}=268\text{K}$, температура хладоносителя на выходе из испарителя $T_{s2}=266\text{K}$, удельная теплоемкость хладоносителя $c_s=2,85\text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$, перепад температур по охлаждающей воде на конденсаторе $\Delta T=7\text{K}$.

Задание 2. Водоаммиачная абсорбционная холодильная установка, схема которой представлена на рисунке.

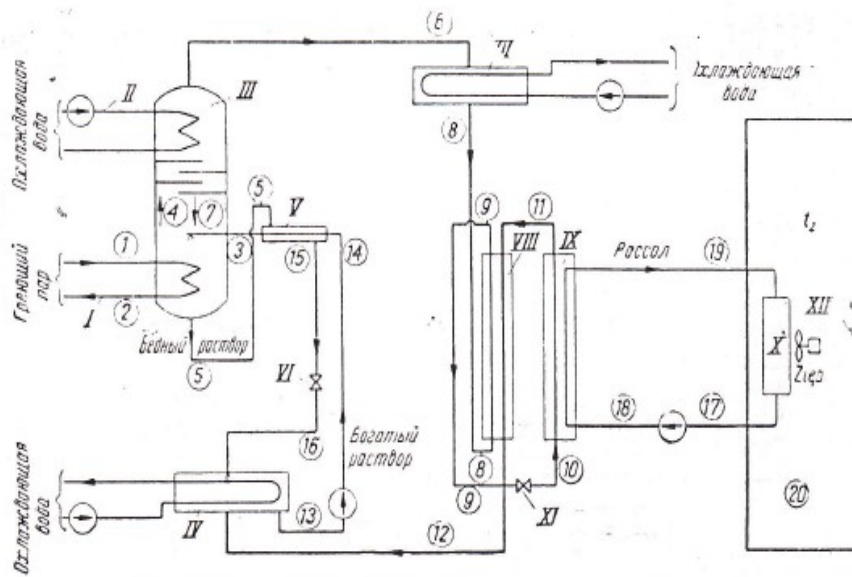


Схема одноступенчатой абсорбционной холодильной установки.
 I — генератор; II — дефлегматор; III — ректификатор; IV — абсорбер; V — теплообменник; VI — дроссельный вентиль раствора; VII — конденсатор; VIII — охладитель; IX — испаритель; X — нагреватель рассола; XI — дроссельный вентиль хладагента; XII — холодильная камера.

Расчетная холодопроизводительность установки $Q_z=1000$ кВт, температура в холодильной камере $t_z=-1^{\circ}\text{C}$, температура окружающей среды $t_0=20^{\circ}\text{C}$.

Для подогрева используют насыщенный водяной пар (степень сухости $x=1$) с абсолютным давлением 5,88 бар. Конденсат пара, выходящий из холодильной установки, имеет температуру насыщения, соответствующую давлению 5,88 бар (степень сухости $x=0$).

Вода, используемая для охлаждения дефлегматора, абсорбера и конденсатора, имеет температуру $t_w=20^{\circ}\text{C}$. Остальные параметры рабочих тел в отдельных точках в соответствии со схемой, обозначения и характеристики насосов приведены в таблицах (см. стр. 2).

Указание: для расчетов рекомендуется использовать диаграммы состояния водоаммиачной смеси «энтальпия-концентрация» и «энтропия-концентрация»

Для расчета приращения удельной эксергии хладоносителя (рассола) принять значение температуры начала отсчета $t_b=-5^{\circ}\text{C}$. Удельная теплоемкость хладоносителя $c=3,35$ кДж/кг·К.

Параметры рабочих тел для абсорбционной холодильной установки

Номер точки на рис.	Вещество	Давление, бар	Температура, °С	Массовые доли NH ₃ в растворе	Расход, кг/ч
1	Горячий пар	5,88	158	—	4,36
2	Конденсат	5,88	158	—	4,36
3	Обогащенный раствор для генератора	11,8	120	0,25	25,81
4	Пары раствора	11,8	123	0,84	3,92
5	Слабый раствор из десорбера	11,8	144	0,15	22,64
6	Пар, идущий к конденсатору	11,8	82	0,97	3,15
7	Сток из ректификатора	11,8	105	0,32	0,788
8	Конденсированный агент	11,8	28	0,97	3,15
9	Охлажденный агент	11,8	-2	0,97	3,15
10	Дросселированный агент	0,98	-33	0,97	3,15
11	Пар из испарителя	0,98	-10	0,97	3,15
12	Пар из охладителя	0,98	20	0,97	3,15
13	Крепкий раствор	0,98	30	0,25	25,81
14	Крепкий раствор после насоса	15,68	30	0,25	25,81
15	Слабый раствор из теплообменника	11,8	40	0,15	22,64
16	Слабый дросселированный раствор	0,98	40	0,15	22,64
17	Рассол из холодильной камеры	0,98	-5	—	565,9
18	Рассол к испарителю	2,98	-5	—	565,9
19	Охлажденный рассол	2,98	-7	—	565,9
20	Холодильная камера	—	-1	—	—

Обозначения на рис.

Элемент установки	Обозначение	Элемент установки	Обозначение
Генератор	<i>N</i>	Насос	<i>LP</i>
Ректификатор	<i>R</i>	Дроссельный вентиль раствора	<i>RA</i>
Конденсатор	<i>S</i>		
Охладитель	<i>D</i>		
Испаритель	<i>P</i>	Дроссельный вентиль хладагента	<i>RP</i>
Абсорбер	<i>A</i>		
Рекуператор	<i>RK</i>		

Перекачиваемый агент	$\rho, \text{ кг/м}^3$, жидкого агента $\gamma, \text{ кг/м}^3$	Общий к. п. л. насоса, $\eta, \%$	Перепад давления в насосе $\Delta p, \text{ бар}$	Гидравлическое сопротивление $\Delta p, \text{ бар}$	Температура перекачиваемого агента $T_p, \text{ }^\circ\text{K}$	Мощность электродвигателя $N_{эл}, \text{ кВт}$
Крепкий раствор	88	56,8	14,7	3,9	303	22
Рассол	86	51,5	2	2	268	61
Вода, охлаждающая абсорбер	90	62,3	2	2	293	32
Вода, охлаждающая дефлегматор и конденсатор	90	62,3	3,9	3,9	293	40

Задание 3. Пароэжекторная холодильная установка, схема которой представлена на рисунке.

Расчетная холодопроизводительность установки $Q_z=348,8$ кВт, для ее работы используют водяной пар с абсолютным давлением 0,686 МПа и расходом 0,71 кг/с. Температура воды, поступающей от потребителей холода в холодильную установку, равна 8°С. После ее охлаждения в испарителе за счет кипения при абсолютном давлении 784 Па охлажденную воду возвращают потребителям холода с температурой 4°С. Для конденсации пара подводят охлаждающую воду, которая нагревается от температуры 28°С до температуры 34,5°С при расходе 78,85 кг/с.

Указание: при расчетах удельной эксергии тела рекомендуется в качестве начала отсчета принять состояние жидкой воды при температуре 20°С и давлении 0,098 МПа. Во избежание отрицательных значений эксергии ко всем получаемым в процессе расчета значениям эксергии следует добавлять постоянную величину, равную 138,14 кДж/кг.

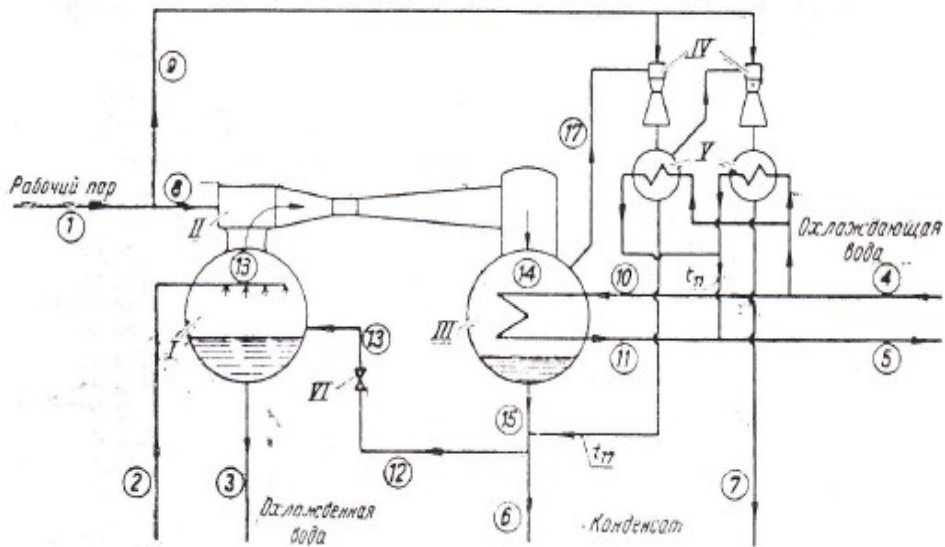


Схема парожеторной холодильной установки.

I — испаритель; II — основной эжектор; III — основной конденсатор; IV — вспомогательные эжекторы; V — вспомогательные конденсаторы; VI — дроссельный вентиль.

Параметры рабочего тела в парожеторной холодильной установке (см. рисунок).

Номер точки на рис.	Расход \dot{G} , кг/ч	Давление p , бар	Температура t , °C
1	2 552	6,86	—
2	75 000	0,98	8
3	75 000	0,00784	4
4	283 850	2,94	28
5	283 850	2,94	34,5
6	2 404	0,0627	37,3
7	148	1,029	90
8	2 400	6,86	—
9	152	6,86	—
10	266 500	2,94	28
11	266 500	2,94	34,5
12	576	0,0627	37,3
13	576	0,00784	4
14	2 926	0,0627	—
15	2 926	0,0627	37,3
16	576	0,00784	—
17	50	0,0627	—

Задание 4. Кондиционер, схема которого представлена на рисунке, при его работе в режиме обогрева (зимнее время).

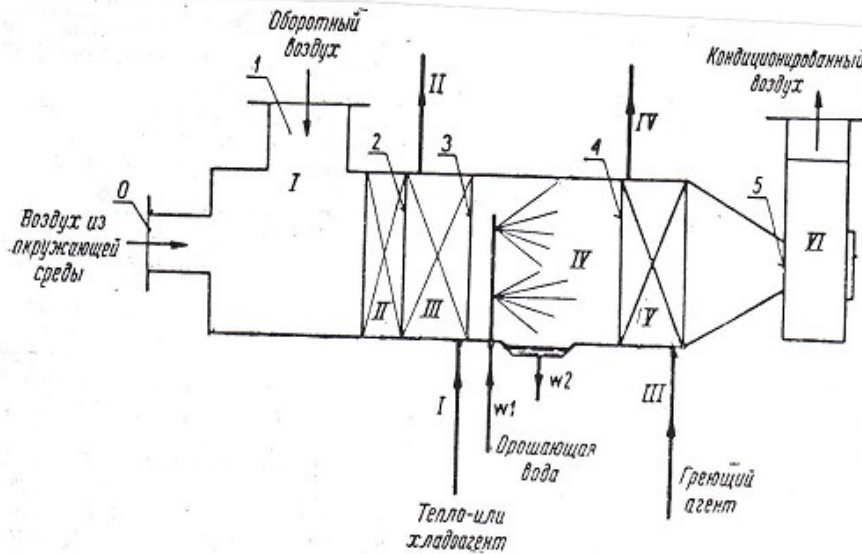


Схема кондиционирующего оборудования.
 I — смешивательная камера; II — фильтр; III — предварительный теплообменник; IV — камера орошения; V — концевой теплообменник; VI — вентилятор.

Параметры воздуха в точках согласно рисунку: $t_0 = -13^\circ\text{C}$, $\phi_0 = 50\%$, $p_0 = 0,098 \text{ МПа}$; $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $\phi_1 = 55\%$; $t_5 = 21^\circ\text{C}$, $\phi_5 = 50\%$; температура греющей среды (вода) $t_I = t_{III} = 60^\circ\text{C}$; температура воды на выходе из теплообменников: $t_{II} = 40^\circ\text{C}$, $t_{IV} = 45^\circ\text{C}$. Температура орошающей воды $t_{w1} = t_{w2} = 8^\circ\text{C}$. Отношение расхода оборотного воздуха G_1 к расходу свежего воздуха G_0 равно 1,38. Потерями в окружающую среду и мощностью приводного двигателя вентилятора пренебречь, процесс увлажнения считать изохалпным.

Задание 5. Кондиционер, схема которого представлена на рисунке, при его работе в режиме охлаждения (летнее время).

Параметры воздуха в точках согласно рисунку: $t_0=30^{\circ}\text{C}$, $\phi_0=50\%$, $p_0=0,098\text{ МПа}$; $t_1=22^{\circ}\text{C}$, $\phi_1=55\%$; $t_5=23^{\circ}\text{C}$, $\phi_5=50\%$; температура охлаждающей среды (вода) $t_{II}=t_{III}=7^{\circ}\text{C}$; температура воды на выходе из теплообменников: $t_{IV}=12^{\circ}\text{C}$, $t_{V}=10^{\circ}\text{C}$. Температура орошающей воды $t_{w1}=t_{w2}=8^{\circ}\text{C}$. Отношение расхода оборотного воздуха G_1 к расходу свежего воздуха G_2 равно 1,38. Потерями в окружающую среду и мощностью приводного двигателя вентилятора пренебречь, процесс увлажнения считать изоэнтальпным.

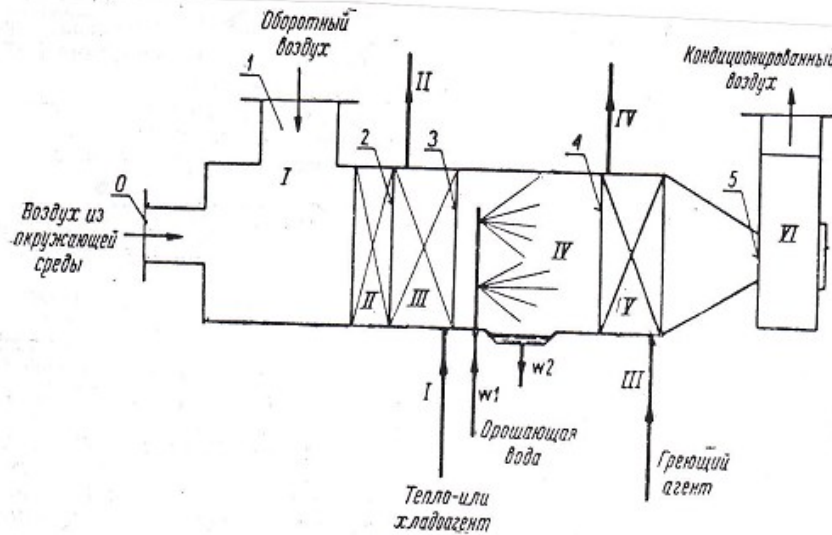


Схема кондиционирующего оборудования.
I — смешивательная камера; II — фильтр; III — предварительный теплообменник; IV — камера орошения; V — конечный теплообменник; VI — вентилятор.

Задание 6. Градирня, схема которой представлена на рисунке.

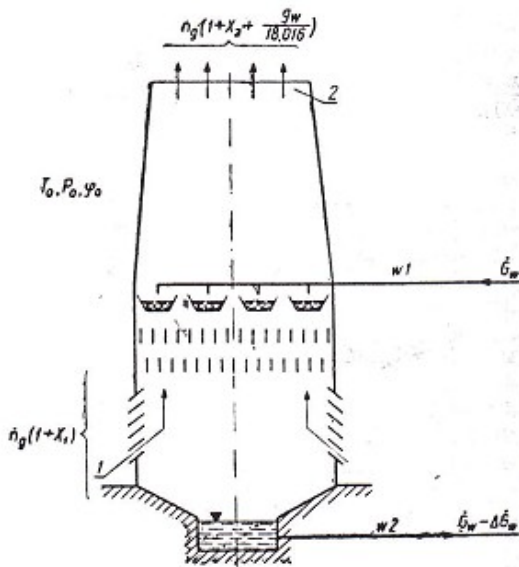


Схема градирни.

Параметры влажного воздуха в градирне

Номер точки на рис	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Давление, бар	Относительная влажность, %	Степень влажности X_2 кмоль H_2O /кмоль сухого воздуха
1	15	0,986	60	0,01045
2	25	0,986	97	0,03211

Расход воды через градирню $G_w=2150 \cdot 10^3\text{ кг/час}$, температура воды на входе в градирню $t_{w1}=34^{\circ}\text{C}$, на выходе $t_{w2}=26^{\circ}\text{C}$, параметры воздуха, поступающего в градирню и покидающего ее (точки 1 и 2 соответственно) приведены в таблице. Воздух, выходящий из градирни, содержит капельки воды в количестве $g_w=0,176\text{ кг/кмоль}$ сухого воздуха. Расход воздуха $n_g=57683\text{ кг/кмоль}$ сухого воздуха в час при указанном расходе охлаждаемой воды. Потери воды ΔG_w в результате ее испарения и уноса капель составляют 32660 кг/час .

Параметры окружающего воздуха: $t_0=15^{\circ}\text{C}$, $\varphi_0=60\%$, $p_0=0,0986$ МПа. При расчете эксергии влажного воздуха и воды в качестве состояния отсчета принять состояние сухого воздуха в окружающей среде и водяного пара, содержащегося в окружающей среде. Удельная теплоемкость воды $c_w=4,186$ кДж/кг.

Задание 7. Аммиачная парокompрессионная холодильная установка, схема которой представлена на рисунке.

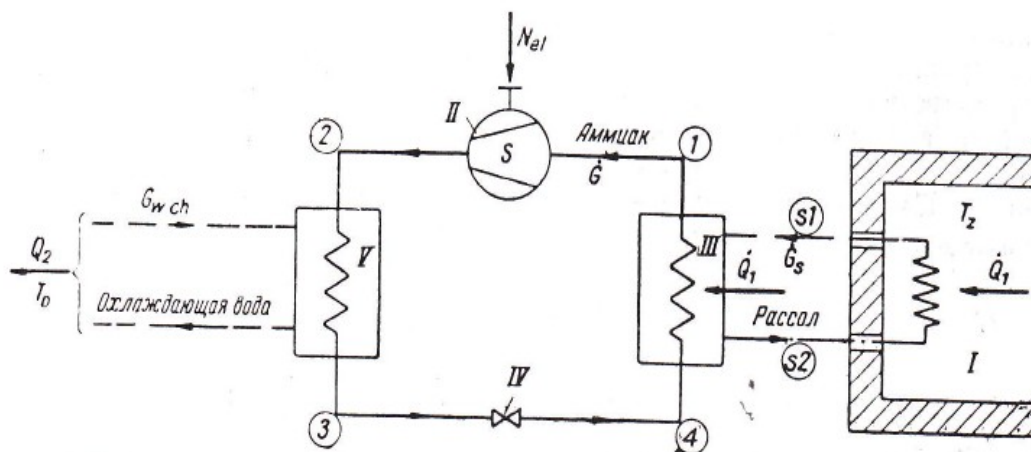


Схема компрессионной холодильной установки.
 I — холодильная камера; II — компрессор; III — испаритель; IV — регулирующий вентиль; V — кон-денсатор.

Температура в камере $T_z=260\text{K}$, температура окружающей среды $T_0=293\text{K}$, холодопроизводительность установки по испарителю $Q_1=90$ кВт. Хладагент — аммиак.

Температура кипения хладагента в испарителе $T_p=249\text{K}$, температура пара на входе в компрессор $T_1=253\text{K}$, температура пара на выходе из компрессора $T_2=402\text{K}$, температура конденсации $T_k=301\text{K}$, температура жидкости на выходе из конденсатора $T_3=298\text{K}$.

Потерями давления в испарителе и конденсаторе и затратами энергии на привод насоса хладоносителя пренебречь.

Механический КПД компрессора $\eta_m=0,83$, КПД приводного электродвигателя компрессора $\eta_{эл}=0,9$.

Температура хладоносителя на входе в испаритель $T_{s1}=258\text{K}$, температура хладоносителя на выходе из испарителя $T_{s2}=253\text{K}$, удельная теплоемкость хладоносителя $c_s=2,85$ кДж/кг·К, перепад температур по охлаждающей воде на конденсаторе $\Delta T=7\text{K}$.

Задание 8. Цикл ожижения воздуха однократным дросселированием, схема которого представлена на рисунке.

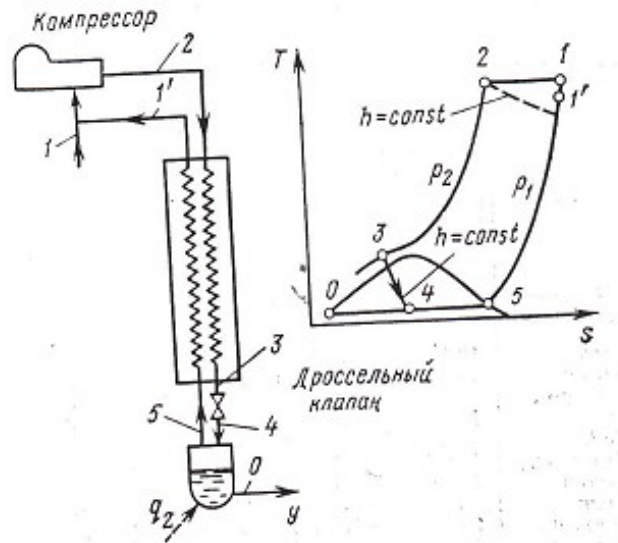


Рис. 8.4 Схема цикла с однократным дросселированием

Температура воздуха на входе в компрессор 303К, давление прямого потока 20 МПа, теплоприток из окружающей среды 8 кДж на 1 кг сжатого воздуха, недорекуперация 5К, доля жидкости после дросселирования $y=0,054$. Расчет провести на 1 кг жидкого воздуха с использованием диаграммы T-s. Гидравлическим сопротивлением трактов пренебречь.

Задание 9. Цикл ожижения воздуха с поршневым детандером, схема которого представлена на рисунке.

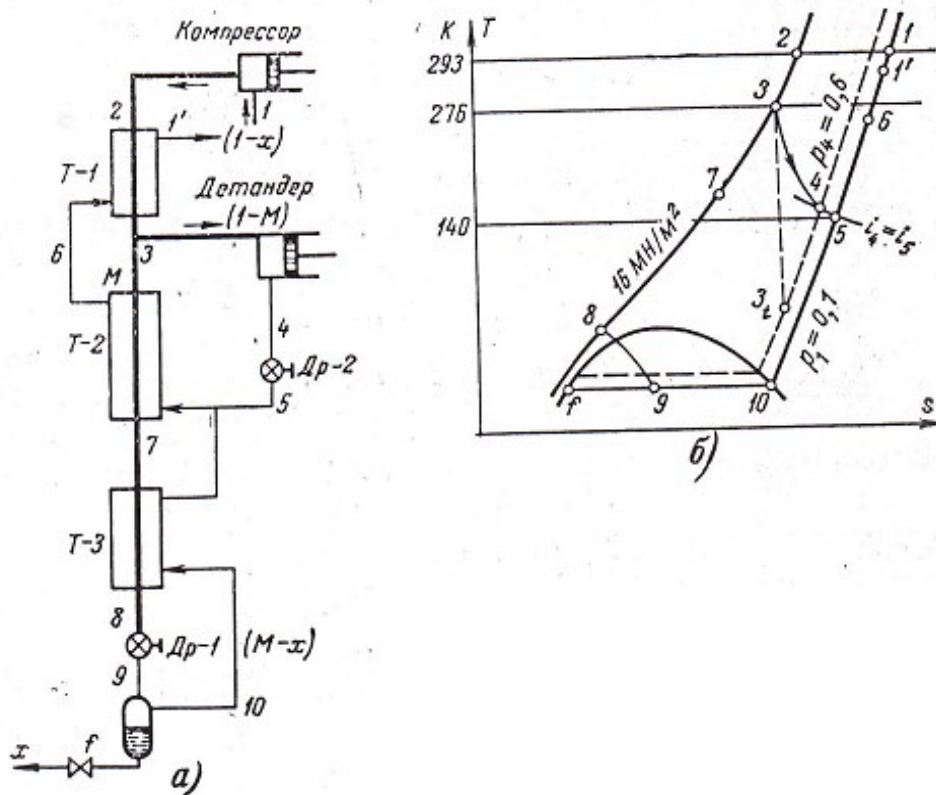


Схема цикла (а) и изображение процессов на диаграмме T-s (б).

Давление воздуха в цикле $p_2=16$ МПа. Воздух расширяют в детандере (КПД детандера $\eta_{ад}=0,7$) от 16 МПа до 0,6 МПа, после чего дросселируют до 0,1 МПа. Температура воздуха перед детандером $T_3=276$ К. Недорекуперация на теплом конце теплообменника $\Delta t_m=5$ К.

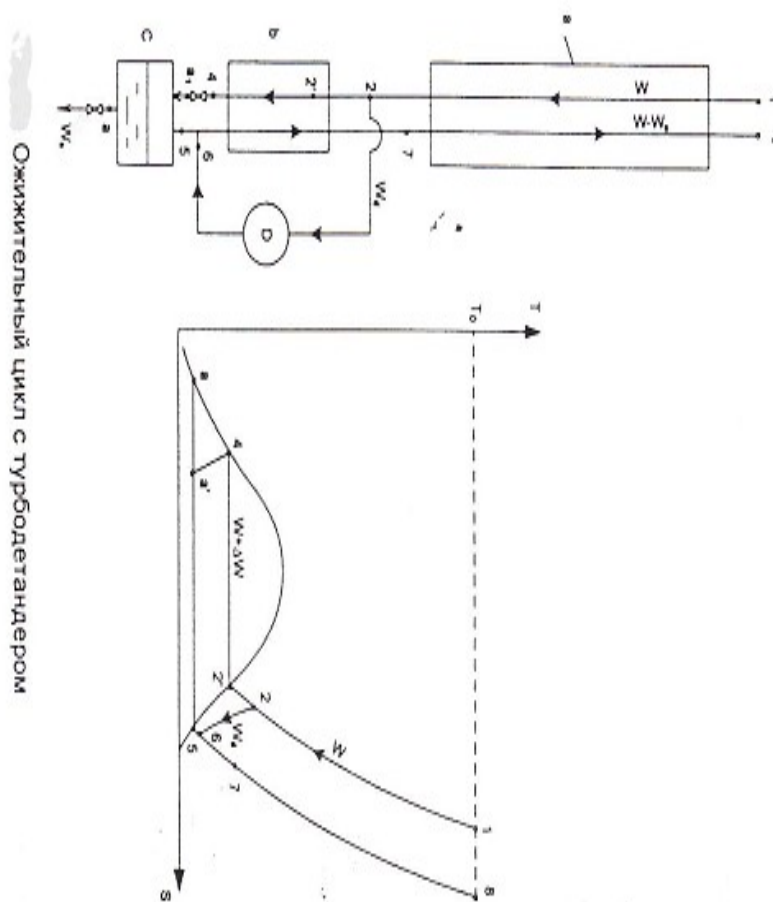
Потери холода в окружающую среду $q_3=182$ Дж/моль, из них:

- на теплообменнике Т-1 $q_3' = 0$ Дж/моль;
- на теплообменнике Т-2 $q_3'' = 122$ Дж/моль;
- на теплообменнике Т-3 $q_3''' = 60$ Дж/моль.

Температура $T_1 = 293\text{K}$.

При расчете рекомендуется задавать разность температур на холодном конце теплообменника Т-2 в диапазоне $\Delta t_{2x} = 5 \dots 12\text{K}$ с последующей проверкой действительной разности температур по всей длине теплообменника. Значение минимальной работы ожижения $l_{\text{ид}}$ для данного цикла принять равной $0,71\text{МДж/кг}$, КПД передаточных механизмов $\eta_{\text{п}} = 0,8$. Гидравлические потери в теплообменных аппаратах и трубах учитывать с помощью поправочного коэффициента $K_f = 1,1$ путем умножения на этот коэффициент отношения давлений (p_2/p_1) при вычислении удельного расхода энергии.

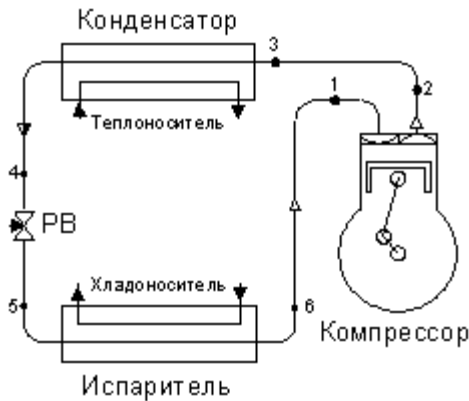
Задание 10. Цикл ожижения воздуха с турбодетандером, схема которого представлена на рисунке.



Работа установки определяется следующими параметрами: КПД компрессора $\eta_k = 0,6$; КПД детандера $\eta_m = 0,75$; недорекупация $\Delta T = 3\text{K}$; перепад давления на входящем потоке $\Delta p_1 = 0,025\text{МПа}$, на исходящем потоке $\Delta p_8 = 0,023\text{МПа}$; потери холода в окружающую среду $\Delta Q_x = 2,94$ Дж/час·кг. Давление на выходе из компрессора $p_1 = 0,5\text{МПа}$, температура жидкого воздуха на выходе из установки $T_a = 82,5\text{K}$, давление на выходе из детандера $p_5 = p_a = 0,123\text{МПа}$. Температура окружающей среды $T_0 = 300\text{K}$, абсолютное давление окружающей среды $p_0 = 0,1\text{МПа}$.

Указания: 1. При анализе считать, что все потери давления имеют место в теплообменнике а. 2. Потери холода в окружающую среду принимать для минимальной температуры в установке T_a .

Задание 11. Парокомпрессионная холодильная машины (ПКХМ), схема которой представлена на рисунке. Действительный цикл ПКХМ показать на диаграммах T-S и P-I



Исходные данные: хладагент R134a

Холодопроизводительность: 10 кВт

Температура кипения: -15°C

Температура конденсации: 40°C

Перегрев в испарителе: 5K

Переохлаждение в конденсаторе: 5K

Потери давления на всасывании 410 кПа

Потери давления на нагнетании 5830 кПа

Потери мощности на трение в компрессоре 0,596 кВт

Коэффициент подачи компрессора 0,631

Индикаторный КПД компрессора 0,726

КПД приводного электродвигателя компрессора 0,855

Конденсатор воздушного охлаждения. Температура воздуха на входе в конденсатор 30°C , на выходе из конденсатора 34°C . Хладоноситель: 35% раствор этиленгликоля в воде. Температура хладоносителя на входе в испаритель минус 7°C , на выходе из испарителя минус 12°C .

Задание 12. Воздухоразделительная установка, схема и цикл которой представлены на рисунке

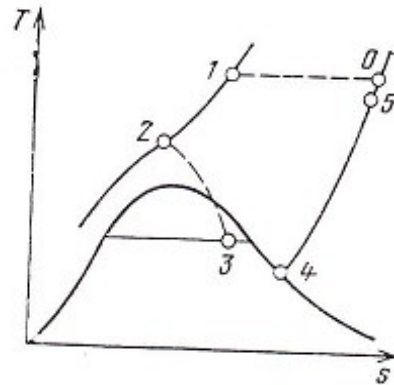
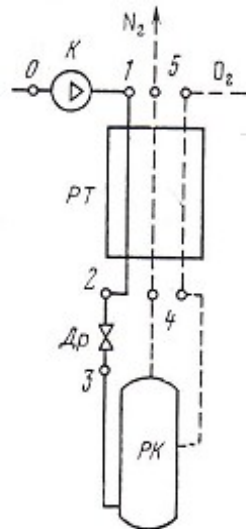


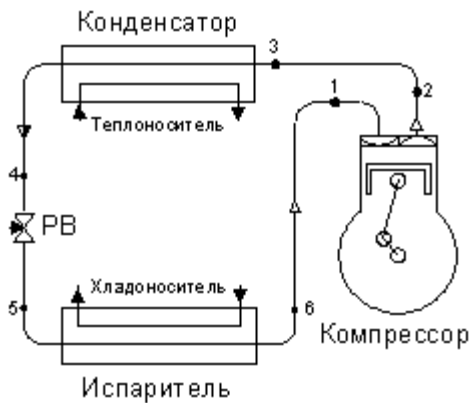
Схема простейшей ВРУ и ее цикл на диаграмме T-s:

0...5 – точки процесса; К – компрессор; РТ – рекуперативный теплообменник;

РК – разделительная колонна; Др – дроссель.

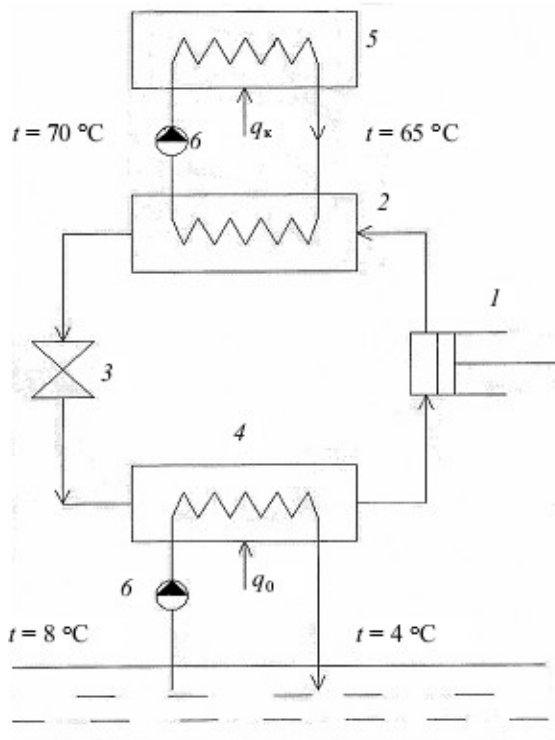
Параметры процесса: $p_0=0,1\text{МПа}$, $T_0=290\text{К}$, $p_1=10\text{МПа}$, $T_1= T_0=290\text{К}$. В процессе работы ВРУ воздух разделяют на кислород (массовая доля $g_{\text{O}_2}=23,2\%$) и азот (массовая доля $g_{\text{N}_2}=76,8\%$). Изотермический КПД компрессора принять равным 0,6.

Задание 13. Парокомпрессионная холодильная машины (ПКХМ), схема которой представлена на рисунке. Действительный цикл ПКХМ показать на диаграммах Т-S и P-I



Исходные данные: хладагент R134a
 Холодопроизводительность: 10 кВт
 Температура кипения: -15°C
 Температура конденсации: 40°C
 Перегрев в испарителе: 5K
 Переохлаждение в конденсаторе: 5K
 Потери давления на всасывании 410 кПа
 Потери давления на нагнетании 5830 кПа
 Потери мощности на трение в компрессоре 0,596 кВт
 Коэффициент подачи компрессора 0,631
 Индикаторный КПД компрессора 0,726
 КПД приводного электродвигателя компрессора 0,855

Задание 14. Парокомпрессионный тепловой насос (ПКТН), схема которого представлена на рисунке. Действительный цикл ПКТН показать на диаграммах Т-S и P-I



Принципиальная схема парокомпрессионного теплового насоса (ПКТН):

- 1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – дроссельный вентиль;
- 4 – испаритель; 5 – отапливаемое помещенье; 6 – насосы.

Исходные данные:

Хладагент RC318 (октафторциклобутан), температура кипения в испарителе 2°C , температура конденсации 75°C , массовый расход 0,2 кг/с. Теплоноситель вода.

Полный КПД компрессора $\eta_{\text{ком}}=0,65$, КПД приводного электродвигателя компрессора $\eta_{\text{эл}}=0,9$. Механический КПД каждого из насосов $\eta_{\text{м}}=0,8$, КПД каждого из приводных электродвигателей насосов $\eta_{\text{эл}}=0,9$.

Потерями давления в водяных трубопроводах и трубопроводах холодильного контур, а также теплообменом между трубопроводами и окружающей средой пренебречь.

Задание 15. Парокомпрессионный тепловой насос с промежуточным теплообменником (ПКТН с ПТ), схема которого представлена на рисунке (подогрев пола в жилом помещении). Действительный цикл ПКТН с ПТ показать на диаграммах T-S и P-I



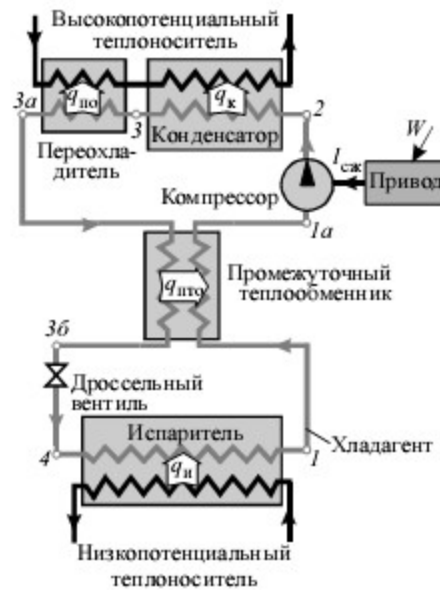
Исходные данные: хладагент R125 (пентафторэтан), низкопотенциальный теплоноситель 24% водный раствор этиленгликоля.

- тепловая нагрузка $Q_{тн}=3$ кВт;
- температура низкопотенциального теплоносителя на входе в испаритель теплового насоса 5°C ;
- температура низкопотенциального теплоносителя на выходе из испарителя теплового насоса минус 2°C ;
- температура высокопотенциального теплоносителя (воды) на входе в конденсатор теплового насоса 35°C
- температура высокопотенциального теплоносителя (воды) на выходе из конденсатора теплового насоса 42°C
- температура окружающей среды t_0 минус 10°C ;
- температура кипения хладагента в испарителе минус 5°C ;
- температура конденсации хладагента в конденсаторе 45°C ;
- температура хладагента на выходе из испарителя минус 5°C ;
- перегрев пара хладагента на выходе из ПТ 5K ;
- температура хладагента на выходе из конденсатора 42°C ;
- температура хладагента на выходе из ПТ 38°C .

Полный КПД компрессора $\eta_{ком}=0,65$, КПД приводного электродвигателя компрессора $\eta_{эл}=0,9$. Механический КПД каждого из насосов теплоносителей $\eta_{н}=0,8$, КПД каждого из приводных электродвигателей насосов $\eta_{эл}=0,9$.

Потерями давления в трубопроводах теплоносителей и трубопроводах холодильного контур, а также теплообменом между трубопроводами и окружающей средой пренебречь.

Задание 16. Парокомпрессионный тепловой насос с промежуточным теплообменником и переохладителем (ПКТН с ПТ и ПО), схема которого представлена на рисунке (отопление жилого помещения). Действительный цикл ПКТН с ПТ и ПО показать на диаграммах T-S и P-I



Исходные данные: хладагент RC318 (октафторциклобутан), низкопотенциальный теплоноситель вода.

- тепловая нагрузка $Q_{тн} = 20$ кВт;
- температура низкопотенциального теплоносителя на входе в испаритель теплового насоса 8°C ;
- температура низкопотенциального теплоносителя на выходе из испарителя теплового насоса 3°C ;
- температура высокопотенциального теплоносителя (воды) на входе в переохладитель теплового насоса 45°C
- температура высокопотенциального теплоносителя (воды) на выходе из конденсатора теплового насоса 60°C
 - температура окружающей среды $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$;
- температура кипения хладагента в испарителе 2°C ;
- температура конденсации хладагента в конденсаторе 65°C ;
- температура хладагента на выходе из испарителя 2°C ;
- перегрев пара хладагента на выходе из ПТ 5K ;
- температура хладагента на выходе из конденсатора 65°C ;
- температура хладагента на выходе из ПО 62°C
- температура хладагента на выходе из ПТ 58°C .

Полный КПД компрессора $\eta_{ком} = 0,65$, КПД приводного электродвигателя компрессора $\eta_{эл} = 0,9$. Механический КПД каждого из насосов теплоносителей $\eta_m = 0,8$, КПД каждого из приводных электродвигателей насосов $\eta_{эл} = 0,9$.

Потерями давления в трубопроводах теплоносителей и трубопроводах холодильного контура, а также теплообменом между трубопроводами и окружающей средой пренебречь.

Задание 17. Воздушная холодильная установка (см. рис.).

Задано: холодопроизводительность $Q_{2i}=10$ кВт, температура рабочего тела на выходе из холодильной камеры $t_{хг}=-10$ °С, а на выходе из охладителя $t_{oc}=20$ °С, степень повышения давления воздуха в компрессоре $\epsilon=4$, адиабатный коэффициент компрессора $\eta_k=0,82$, а внутренний относительный КПД детандера $\eta_d=0,84$.

Свойства рабочего тела ВХУ принять соответствующими двухатомному идеальному воздуху с $p=\text{const}$

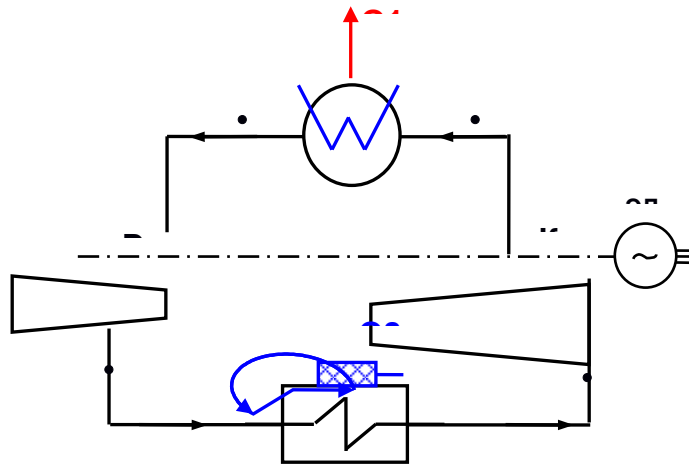
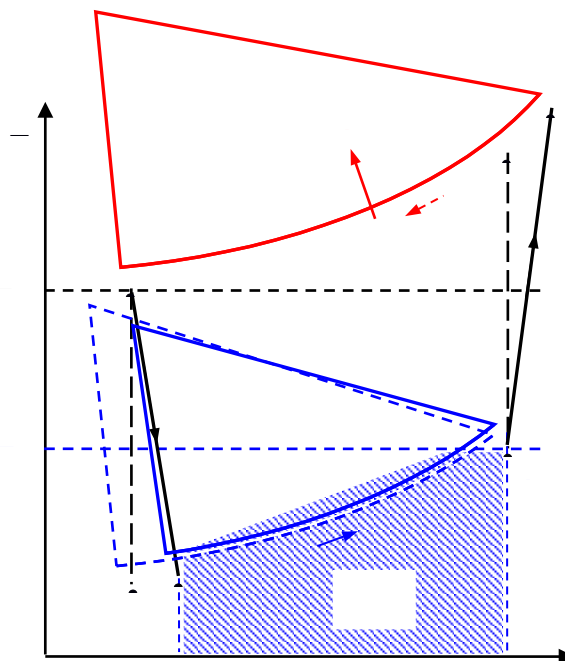


Схема воздушной холодильной установки: К – компрессор; ОХЛ – охладитель; D – детандер; ХК – холодильная камера; ЭД – электродвигатель; G – расход воздуха



Задание 18. Парокомпрессионная холодильная установка (см. рис.). Хладагент – R22.

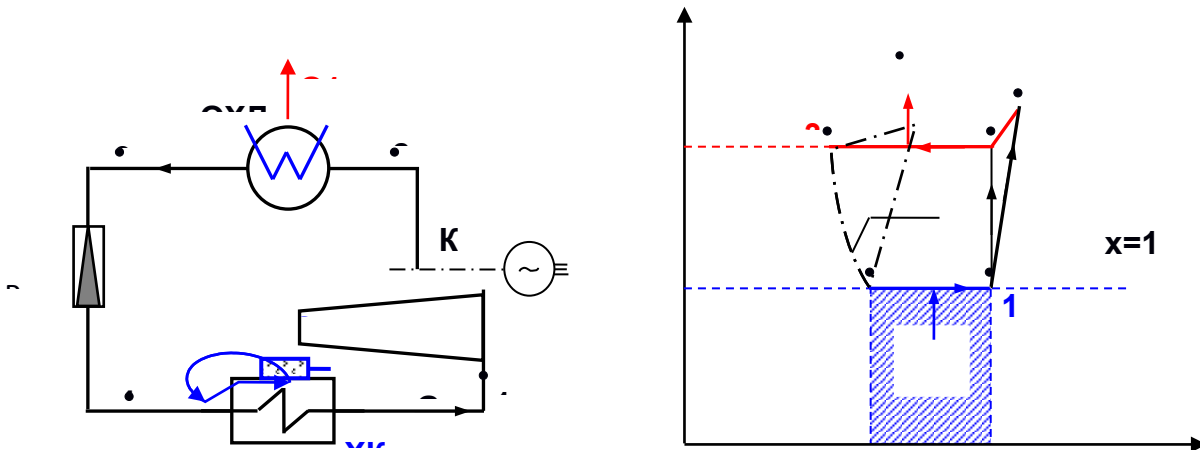


Рис. Парокомпрессионная холодильная установка

Температура конденсации $t_3=35^\circ\text{C}$, $t_{\text{ос}}=20^\circ\text{C}$, температура в холодильной камере $t_{\text{хк}}=-20^\circ\text{C}$, температура кипения $t_{\text{хт}}=-27^\circ\text{C}$, степень сухости фреона на выходе из компрессора $x_2=1$. Необратимый процесс в компрессоре характеризуется адиабатным коэффициентом $\mu_k=0,85$.

Задание 19. Парокомпрессионная холодильная установка (см. рис.). Хладагент – аммиак.

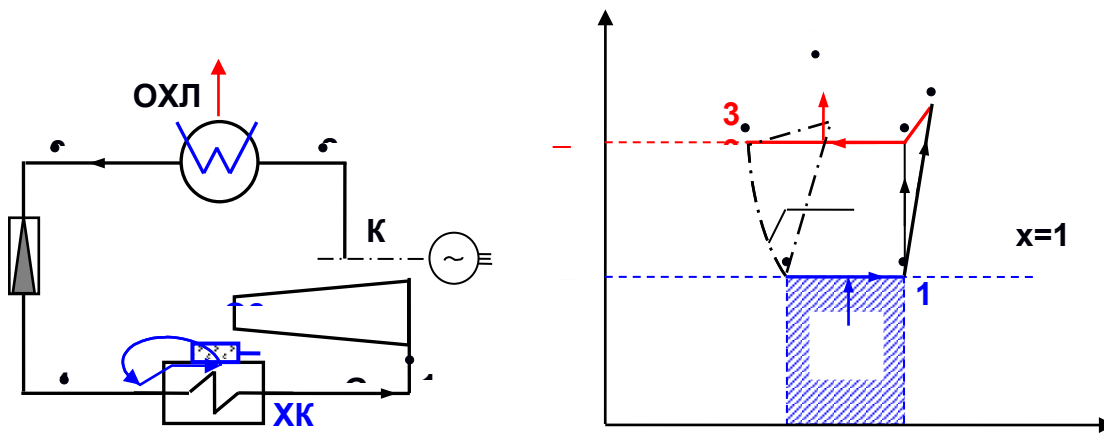


Рис. Парокомпрессионная холодильная установка

Температура рабочего тела на выходе из холодильной камеры $t_{\text{хт}}=-23^\circ\text{C}$, степень сухости аммиака на входе в компрессор $x_1=0,92$, степень повышения давления в компрессоре $\mu=6,42$, адиабатный коэффициент компрессора $\eta_k=0,83$. Холодопроизводительность ПКХУ $Q_{2i}=1$ кВт.

Задание 20. Парокомпрессионная холодильная установка (см. рис.). Хладагент – двуокись углерода CO_2 .

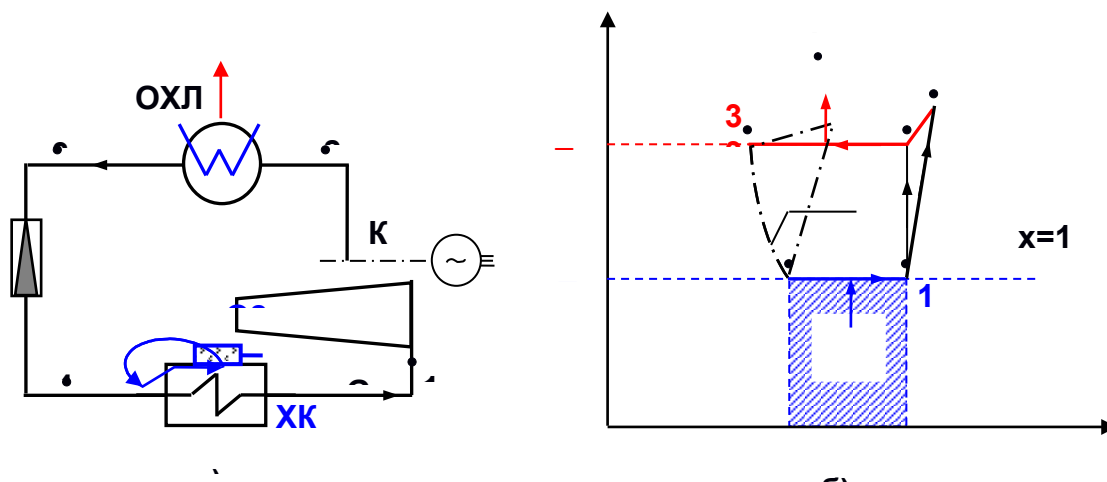


Рис. Парокомпрессионная холодильная установка:

Температура рабочего тела на выходе из холодильной камеры $t_{хт} = -23\text{ }^\circ\text{C}$, температура CO_2 на выходе из компрессора в обратимом процессе адиабатного сжатия $t_2 = 27\text{ }^\circ\text{C}$, степень повышения давления в компрессоре $\bullet = p_2/p_1 = 3,36$, адиабатный коэффициент компрессора $\eta_k = 0,83$. Холодопроизводительность ПКХУ $Q_{21} = 1\text{ кВт}$.

Задание 21. Парокомпрессионная холодильная установка с сепаратором-отделителем жидкости (см. рис.). Хладагент – R22.

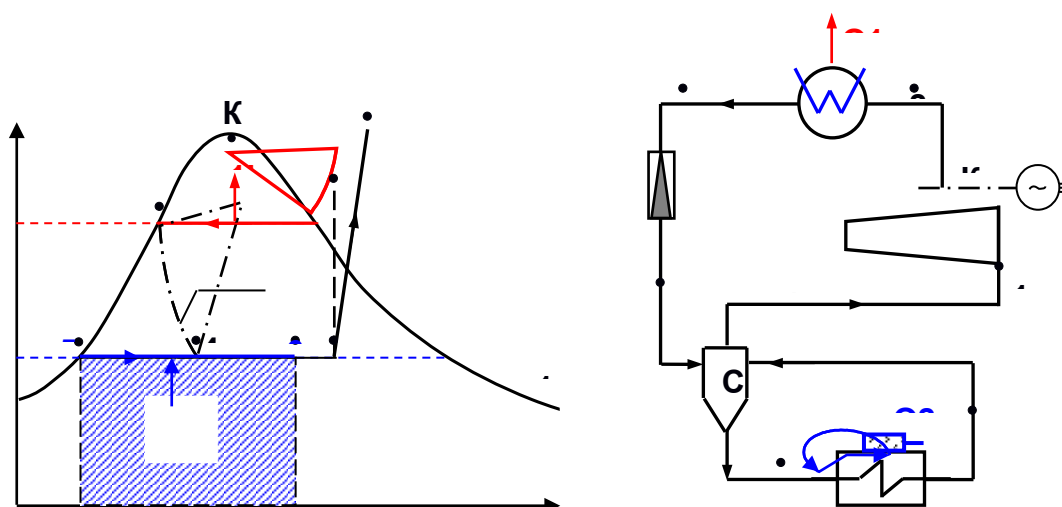


Рис. Парокомпрессионная холодильная установка с сепаратором:

а – цикл в Т s- диаграмме; б – схема

Холодопроизводительность установки $Q_2=50$ кВт. Температура конденсации фреона в охладителе $t_3=t_{oc}=20$ °С, температура в холодильной камере $t_{хт}=-20$ °С, степень сухости фреона на входе в компрессор $x_1=0,933$, а на выходе из холодильной камеры $x_6=0,85$. Адиабатный коэффициент компрессора $\mu_k=0,85$.

Задание 22. Парокомпрессионная холодильная установка с регенеративным теплообменником (см. рис.). Хладагент – R22.

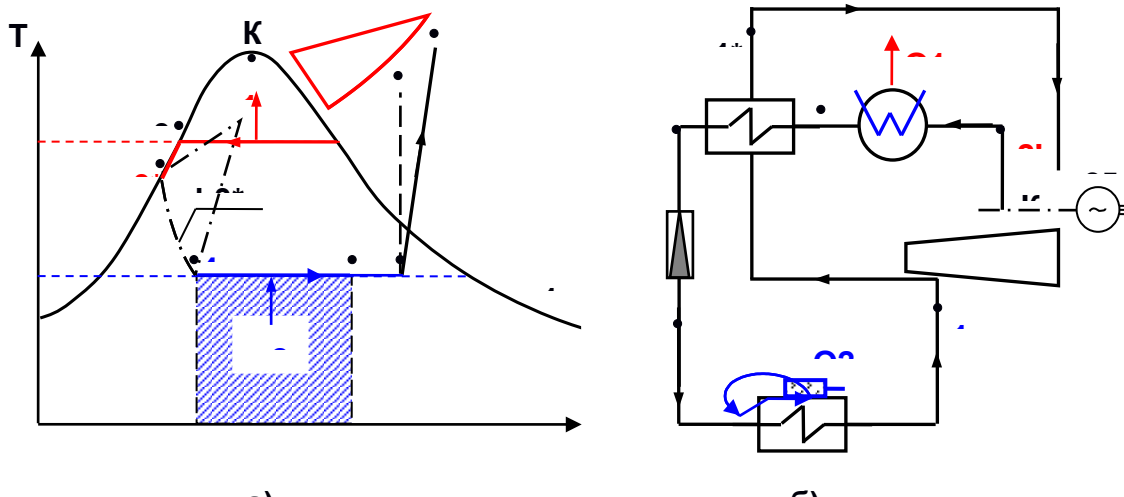


Рис. Парокомпрессионная холодильная установка с регенерацией:

а – цикл в T s- диаграмме; б – схема

Холодопроизводительность установки $Q_2=50$ кВт. Температура конденсации пара в охладителе $t_3=35$ °С, $t_{oc}=20$ °С, температура в холодильной камере - $t_{хт}=-20$ °С, степень сухости фреона на выходе из холодильной камеры $x_1=0,933$. Охлаждение жидкого фреона в регенераторе $t_3-t_3^*=10$ К. Адиабатный коэффициент компрессора $\mu_k=0,85$.

Задание 23. Парокомпрессионный тепловой насос (см. рис.), рабочее тело – аммиак.

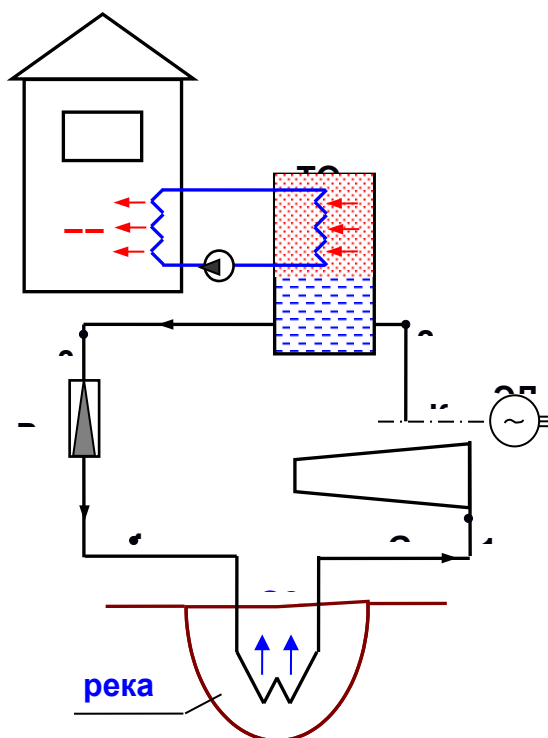
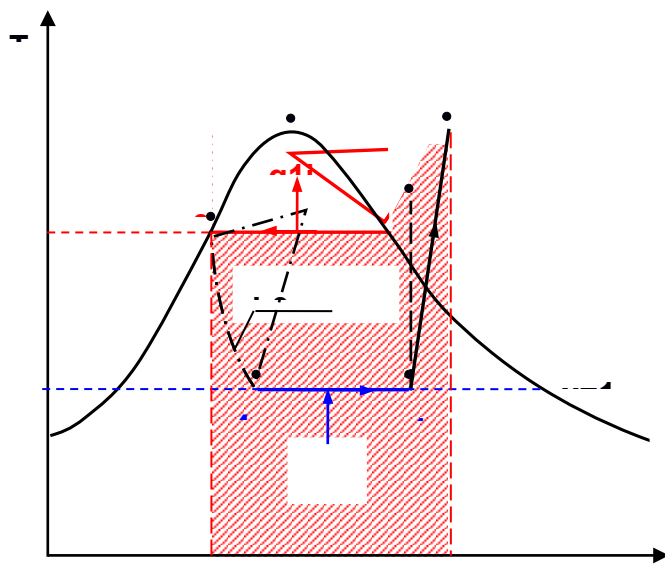


Схема парокомпрессионной установки теплового насоса:

К – компрессор; ТО – теплообменник; ТП – тепловой потребитель;
 Ру – расширительное устройство; ЭД – электродвигатель;

Тепловой насос обеспечивает технологического потребителя теплотой $Q_{ТН}=10$ МВт при температуре окружающей среды $t_{oc}=17$ °С. Аммиачный пар на выходе из испарителя (на входе в компрессор) имеет степень сухости $x_1=0,9$. Степень повышения давления в компрессоре $\bullet = p_2/p_1=6,45$, адиабатный коэффициент компрессора $\eta_k=0,87$.



Цикл парокompрессионного теплового насоса
теплового насоса в T s - диаграмме

Задание 24. Парокompрессионная холодильная установка с регенеративным теплообменником (см. рис.). Хладагент – R134a.

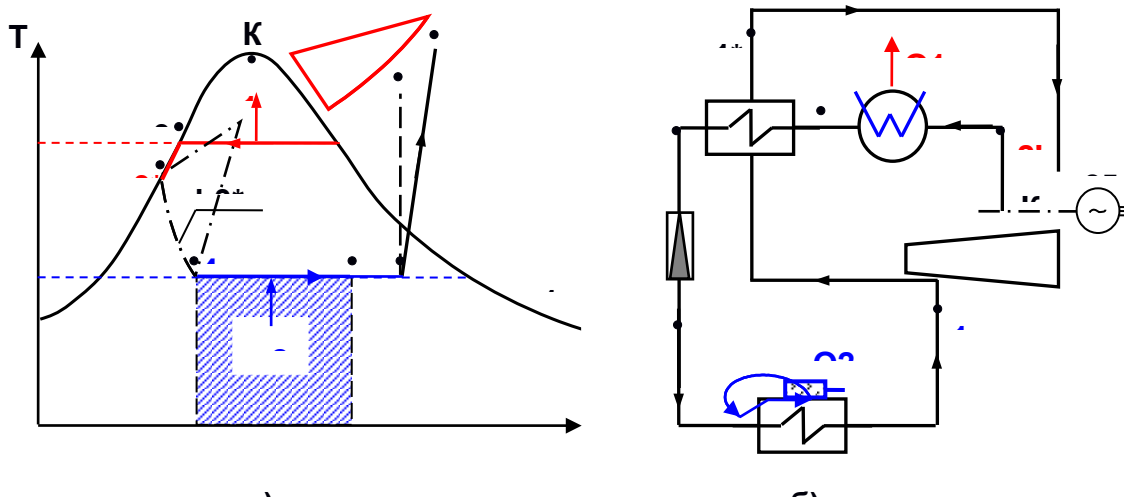


Рис. Парокompрессионная холодильная установка с регенерацией:
а – цикл в T s - диаграмме; б – схема

Холодопроизводительность установки $Q_2=25$ кВт. Температура конденсации пара в охладителе $t_3=35^\circ\text{C}$, $t_{oc}=20^\circ\text{C}$, температура в холодильной камере - $t_{хт}=2^\circ\text{C}$, степень сухости фреона на выходе из холодильной камеры $x_1=0,933$. Охлаждение жидкого фреона в регенераторе $t_3-t_{3^*}=10\text{K}$. Адиабатный коэффициент компрессора $\kappa_k=0,85$.