Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 03.07.2025 13:24:14
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735885bc03

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 /
« 27 » февраля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем»

Направление подготовки
16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

Профиль **«Криогенные технологии индустрии водорода и систем сжиженного газа»**

Квалификация
Магистр

Форма обучения
Очная

Москва, 2025 г.

Разработчик(и):

доцент, к.т.н. / А.Е. Ермолаев /

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Техника низких температур»,
к.т.н. / Д.А. Некрасов /

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 5
3. Структура и содержание дисциплины 5
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 7
5. Материально-техническое обеспечение 8
6. Методические рекомендации 8
7. Фонд оценочных средств 10

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

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.

Обучение по дисциплине «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4. Способен вскрывать физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе осуществления профессиональной деятельности, проводить их качественный и количественный анализ;	ИОПК-4.1. Знает: физико-математический аппарат, применяемый для решения задач профессиональной деятельности ИОПК-4.2. Умеет: выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат ИОПК-4.3. Владеет: физико-математическим аппаратом и методами проведения качественного и количественного анализа полученных результатов
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;	ИОПК-6.1. Знает: Знать современные информационные технологии, стандартные пакеты прикладных программ, используемые при выполнении научных исследований и разработок в профессиональной деятельности ИОПК-6.2. Умеет: Уметь разрабатывать алгоритмы процесса вычислений при проведении исследований. Разрабатывать рекомендации по использованию полученных результатов ИОПК-6.3. Владеет: навыками применения современных физико-математических методов и методов искусственного интеллекта для решения профессиональных задач

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

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

– «Рабочие вещества низкотемпературных систем»;

– «Проектирование и расчет машин, аппаратов и установок низкотемпературной техники».

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(е) единиц(ы) (144 часа (ов)).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость
(по формам обучения)

3.1.1. Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры	
			1	
1	**Аудиторные занятия**	**48**	**48**	
	В том числе:			
1.1	Лекции	16	16	
1.2	Семинарские/практические занятия	32	32	
1.3	Лабораторные занятия			
2	**Самостоятельная работа**	**96**	**96**	
	В том числе:			
2.1	Проработка лекционного материала	48	48	
2.2	Подготовка к семинарам	48	48	
2.3	Подготовка к лабораторным работам			
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет/диф.зачет/экзамен	**экзамен**		
	Итого	**144**	144	

3.2 Тематический план изучения дисциплины
(по формам обучения)

3.2.1. Очная форма обучения

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.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	Введение. Термодинамические основы производства искусственного холода.	**14**	2	4			8
2	Основные дифференциальные уравнения термодинамики.	**10**	1	1			8
3	Энтропия как мера потерь и необратимости.	**10**	1	1			8
4	Диаграммы состояния.	**10**	1	1			8
5	Теорема Умова.	**10**	1	1			8
6	Эксергия. Эксергетический КПД.	**14**	2	4			8
7	Критерии термодинамического совершенства низкотемпературных систем.	**22**	2	4			16
8	Термодинамика процессов ожижения газов.	**30**	4	10			16
9	Термодинамический анализ потерь в низкотемпературных установках.	**24**	2	6			16
Итого		**144**	**16**	**32**			**96**

3.3 Содержание дисциплины

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.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

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.

3.4.2. Лабораторные занятия

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

нет

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. 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 [Текст]. - Введ. 2017-07-01. - М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2016.

4.2 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: 20.08.2023). — 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

нет

4.4 Электронные образовательные ресурсы

1. Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем

https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=3568

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

нет

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

нет

Ссылки на ресурсы должны содержать актуальный электронный адрес и быть доступными для перехода с любого компьютера.

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 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.

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
- Решение кейс-задач

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. 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.

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 p1 до давления p2 без теплообмена с окружающей средой, имеющей температуру T0, с помощью дросселя и в детандере.

1.Найти прирост энтропии и потерю эксергии при дросселировании идеального газа от давления p1 до давления p2 < p1 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 T0 в жидкость с температурой T2.

3.Определить прирост энтропии и понятие эксергетического КПД для теплообменного аппарата.

4. Найти минимальную идеальную работу в изолированной системе для поддержания заданной температуры Tx при температуре окружающей среды T0.

5. Найти минимальное значение энергии, необходимое для непрерывной работы в течение одних суток изолированной холодильной системы холодопроизводительностью 10 кВт при температуре охлаждаемой среды -230С и температуре окружающей среды 270С.

6. Найти значение эксергетического КПД для теплообменного аппарата «вода-вода» при следующих значениях температур:

-температура охлаждаемой воды на входе в теплообменник 260С, температура охлаждаемой воды на выходе из теплообменника 210С;

-температура охлаждающей воды на входе в теплообменник 70С, температура охлаждающей воды на выходе из теплообменника 120С.

Температуру окружающей среды принять равной 300С.

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

9. Какую максимальную работу можно получить из системы двух тел с температурами T10 и T20 (T10 >T20), если эти тела используют в качестве соответственно нагревателя и холодильника в тепловой машине? Считать, что теплоемкости тел C1 и C2 не зависят от температуры. Найти окончательную температуру T обоих тел, когда между ними установится тепловое равновесие.

Пример тестового задания.

1. От каких параметров зависит холодильный коэффициент идеального цикла воздушной холодильной установки ?

=Количество отданного тепла

~Работа газа при сжатии

~Количество отнимаемого тепла

2. Какой процесс относится к положительному процессу?

=Нагрев камней в печке бани

~Работа кондиционера в офисе

~Заморозка мяса в морозилке

3. Какой из этих методов не учитывает величину всех потоков?

~Метод вычитания эксергетических потерь

=Метод эксергетических потоков

Кейс-задачи

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.

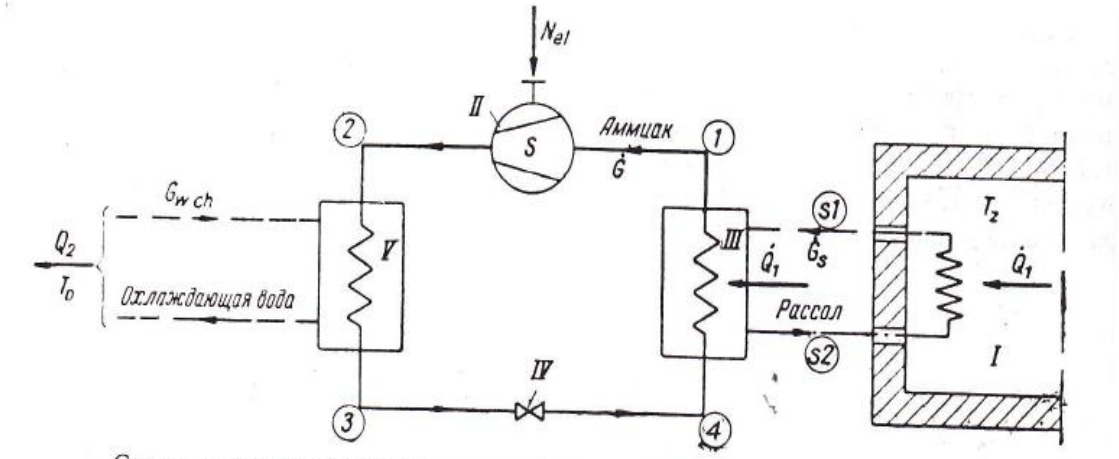


Схема компрессионной холодильной установки.
I — холодильная камера; *II* — компрессор; *III* — испаритель; *IV* — регулирующий вентиль; *V* — конденсатор.

Температура в камере T_z=271К, температура окружающей среды T_0=293К, холодопроизводительность установки по испарителю Q_1=90 кВт. Хладагент – аммиак.

Температура кипения хладагента в испарителе $T_р$=261К, температура пара на входе в компрессор T_1=263К, температура пара на выходе из компрессора T_2=392К, температура конденсации $T_к$=301К, температура жидкости на выходе из конденсатора T_3=298К.

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

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

Температура хладоносителя на входе в испаритель T_{s1}=268К, температура хладоносителя на выходе из испарителя T_{s2}=266К, удельная теплоемкость хладоносителя c_s=2,85 кДж/кг·К, перепад температур по охлаждающей воде на конденсаторе ΔТ=7К.

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

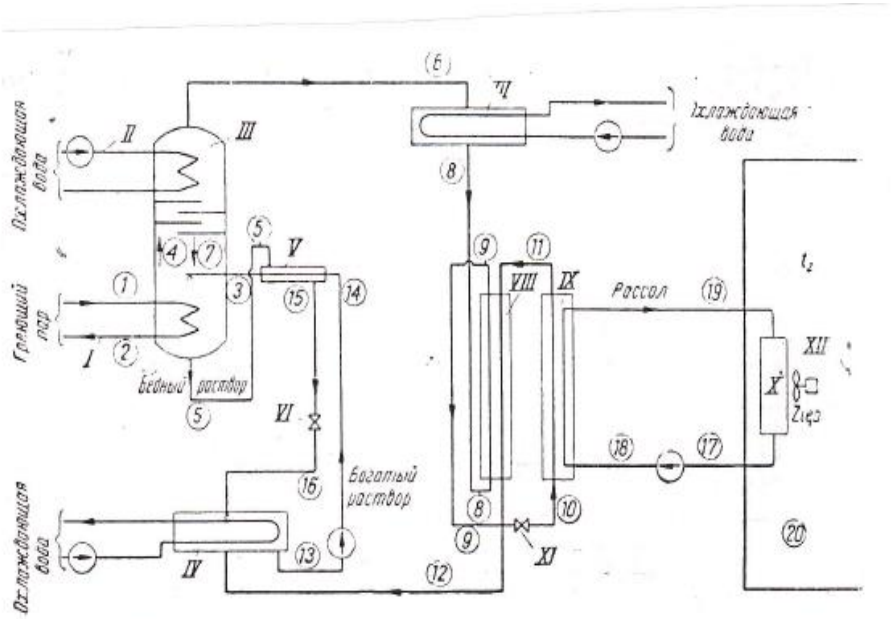


Схема одноступенчатой абсорбционной холодильной установки.

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 хладоагента; *XII* — холодильная камера.

Расчетная холодопроизводительность установки Q_z=1000 кВт, температура в холодильной камере t_z=-1^{0}C, температура окружающей среды t_0=20^{0}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^{0}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^{0}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	Массовое содержание NH_3 в растворе	Расход, кг/ч
1	Греющий 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.

Звено установки	Обозначение	Звено установки	Обозначение
Генератор	N	Насос	LP
Ректификатор	R	Дроссельный вентиль раствора	RA
Конденсатор	S		
Охладитель	D		
Испаритель	P	Дроссельный вентиль хладоагента	RP
Абсорбер	A		
Рекуператор	RK		

Перекачиваемый агент	К. п. д. электродвигателя $\eta_{эл}$, %	Общий к. п. д. насоса, $\eta_н$, %	Повышение давления в насосе Δp, бар	Гидравлические сопротивления $\nabla p = \Delta p'$, бар	Температура перекачиваемого агента T_p, °К	Мощность электродвигателя $N_{эл}$, вт
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 8^0С. После ее охлаждения в испарителе за счет кипения при абсолютном давлении 784 Па охлажденную воду возвращают потребителям холода с температурой 4^0С. Для конденсации пара подводят охлаждающую воду, которая нагревается от температуры 28^0С до температуры $34{,}5^0$С при расходе 78,85 кг/с.

Указание: при расчетах удельной эксергии тела рекомендуется в качестве начала отсчета принять состояние жидкой воды при температуре 20^0С 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.

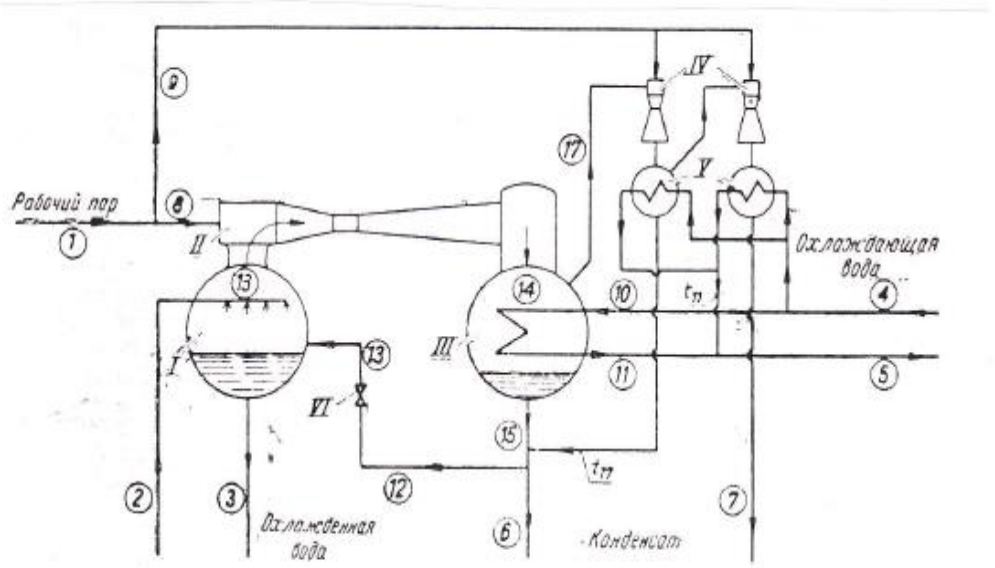


Схема пароэжекторной холодильной установки.
I — испаритель; *II* — основной эжектор; *III* — основной конденсатор; *IV* — вспомогательные эжекторы; *V* — вспомогательные конденсаторы; *VI* — дроссельный вентиль.

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

Номер точки на рис.	Расход $\dot{G}$, *кг/ч*	Давление *p*, *бар*	Температура *t*, °С
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).

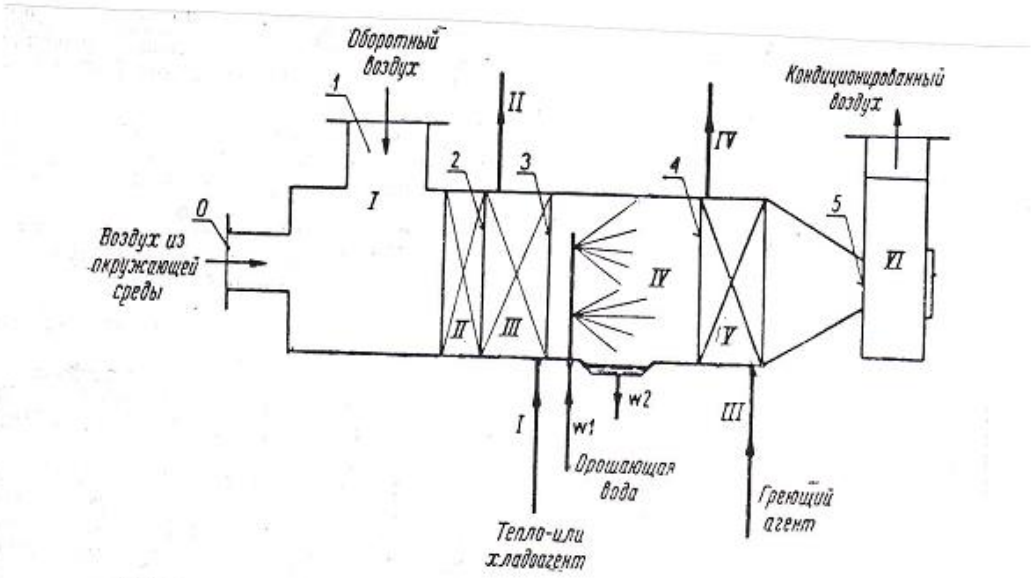


Схема кондиционирующего оборудования.
I — смесительная камера; *II* — фильтр; *III* — предварительный теплообменник; *IV* — камера орошения; *V* — концевой теплообменник; *VI* — вентилятор.

Параметры воздуха в точках согласно рисунку: t_0=-13^{0}C, φ_0=50%, p_0=0,098 МПа; t_1=20^{0}C, φ_1=55%; t_5=21^{0}C, φ_5=50%; температура греющей среды (вода) t_I= t_{III}=60^{0}C; температура воды на выходе из теплообменников: t_{II}=40^{0}C, t_{IV}=45^{0}C. Температура орошающей воды t_{w1}= t_{w2}=8^{0}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 изоэнтальпным.

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^{0}C, φ_0=50%, p_0=0,098 МПа; t_1=22^{0}C, φ_1=55%; t_5=23^{0}C, φ_5=50%; температура охлаждающей среды (вода) t_I= t_{III}=7^{0}C; температура воды на выходе из теплообменников: t_{II}=12^{0}C, t_{IV}=10^{0}C. Температура орошающей воды t_{w1}= t_{w2}=8^{0}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.

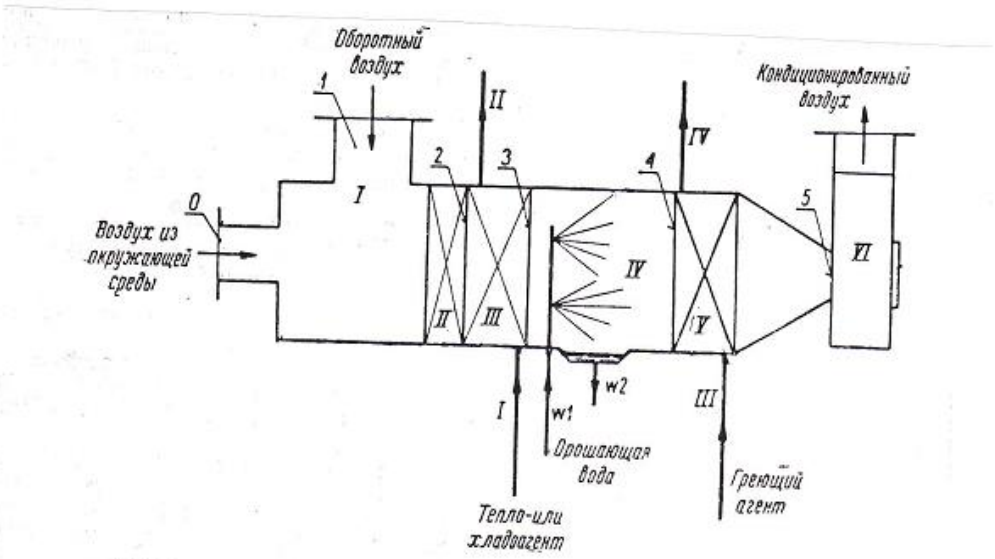


Схема кондиционирующего оборудования.
I — смесительная камера; *II* — фильтр; *III* — предварительный теплообменник; *IV* — камера орошения; *V* — концевой теплообменник; *VI* — вентилятор.

Задание 6. Градирня, схема которой представлена на рисунке.

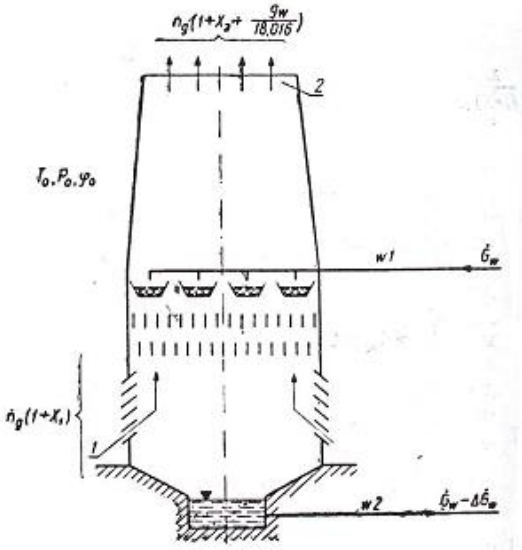


Схема градирни.

Параметры влажного воздуха в градирне

Номер точки на рис	Температура, °С	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 $G_w=2150\cdot10^3$ кг/час, температура воды на входе в градирню $t_{w1}=34^0$C, на выходе $t_{w2}=26^0$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 $g_w=0,176$ кг/кмоль сухого воздуха. Расход воздуха $n_g=57683$ кг/кмоль сухого воздуха в час при указанном расходе охлаждаемой воды. Потери водыΔG_w в результате ее испарения и уноса капель составляют 32660 кг/час.

Параметры окружающего воздуха: $t_0=15^0$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 парокомпрессионная холодильная установка, схема которой представлена на рисунке.

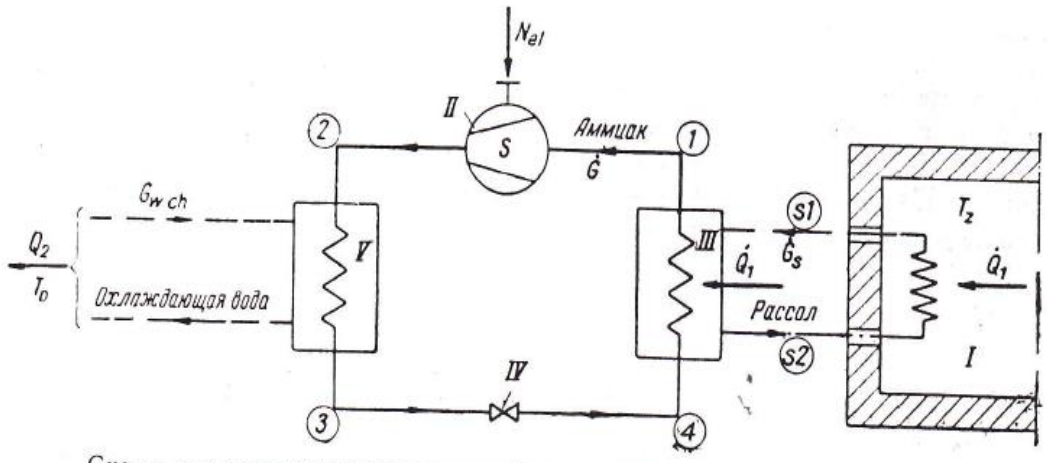


Схема компрессионной холодильной установки.
I — холодильная камера; *II* — компрессор; *III* — испаритель; *IV* — регулирующий вентиль; *V* — конденсатор.

Температура в камере T_z=260К, температура окружающей среды T_0=293К, холодопроизводительность установки по испарителю Q_1=90 кВт. Хладагент – аммиак.

Температура кипения хладагента в испарителе $T_р$=249К, температура пара на входе в компрессор T_1=253К, температура пара на выходе из компрессора T_2=402К, температура конденсации $T_к$=301К, температура жидкости на выходе из конденсатора T_3=298К.

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

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

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

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

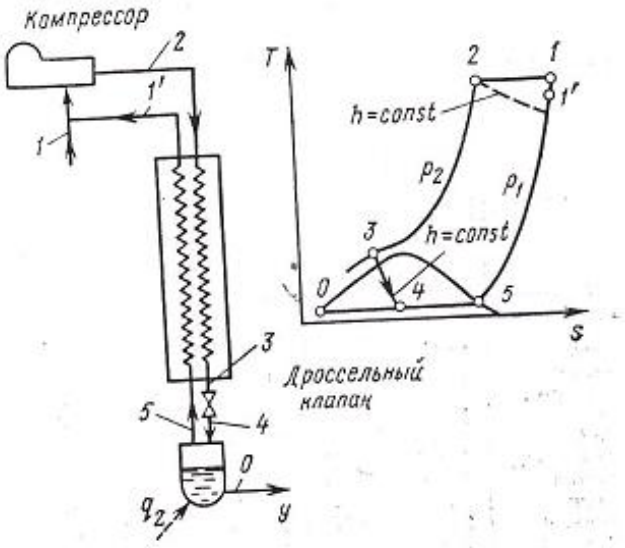


Схема цикла с однократным дросселированием

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.

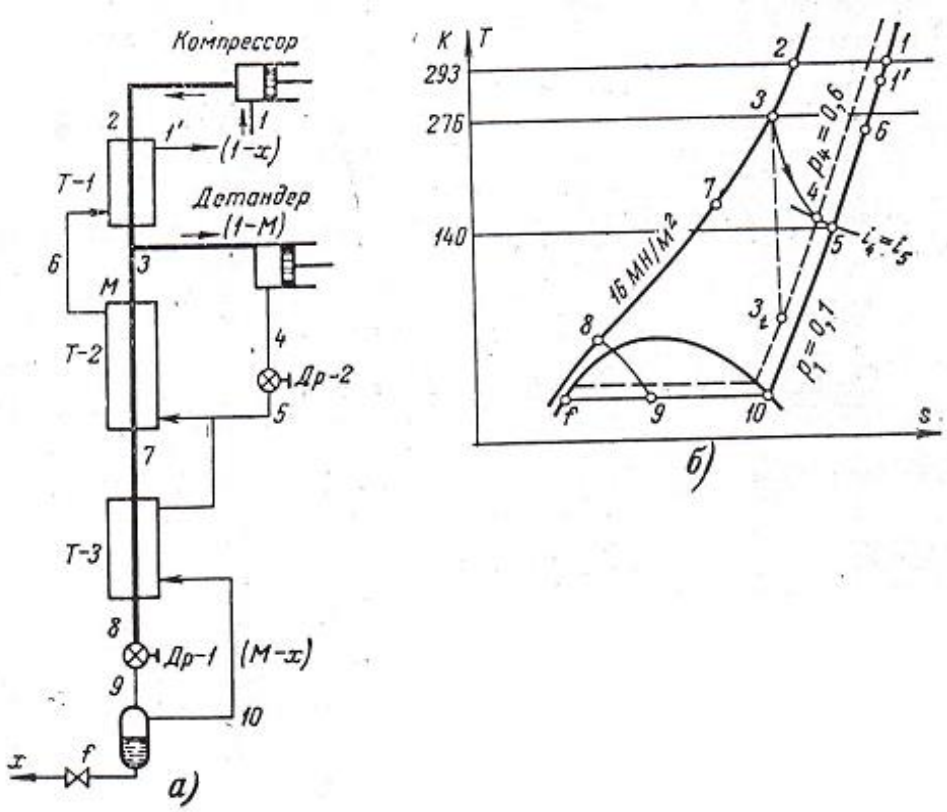


Схема цикла (а) и изображение процессов на диаграмме T-s (б).

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=276К. Недорекуперация на теплом конце теплообменника Δt_m=5К.

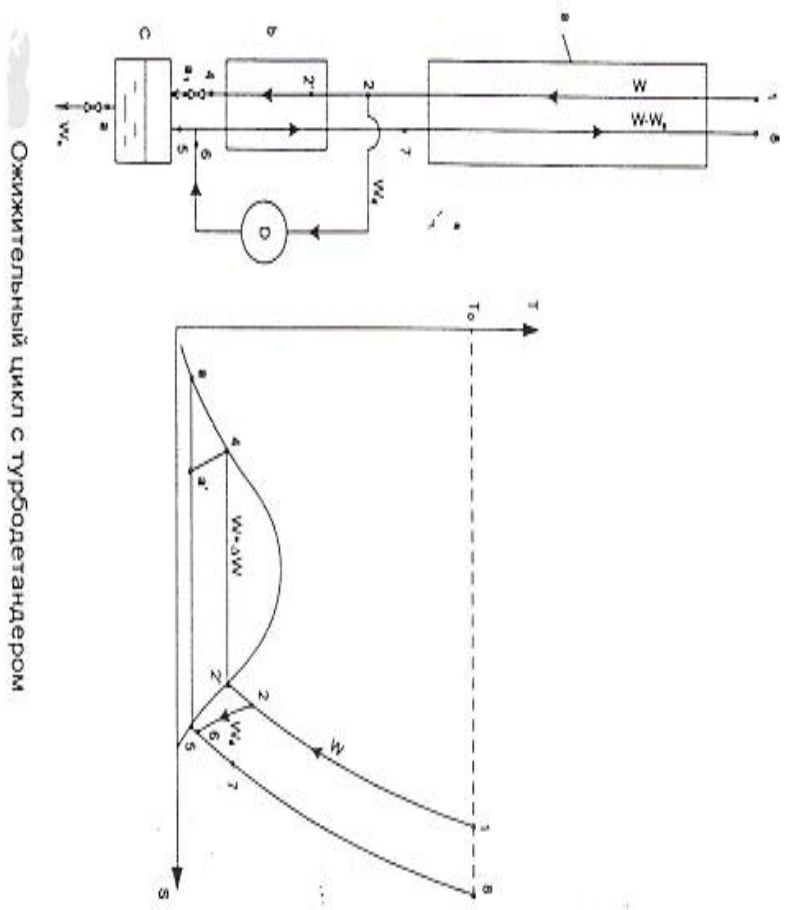
Потери холода в окружающую среду q_3=182 Дж/моль, из них:

- 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=293К.

При расчете рекомендуется задавать разность температур на холодном конце теплообменника Т-2 в диапазоне Δt_{2x}=5…12К с последующей проверкой действительной разности температур по всей длине теплообменника. Значение минимальной работы ожижения $l_{ид}$ для данного цикла принять равной 0,71МДж/кг, КПД передаточных механизмов $\eta_п$=0,8. Гидравлические потери в теплообменных аппаратах и трубах учитывать с помощью поправочного коэффициента $К_г$=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.



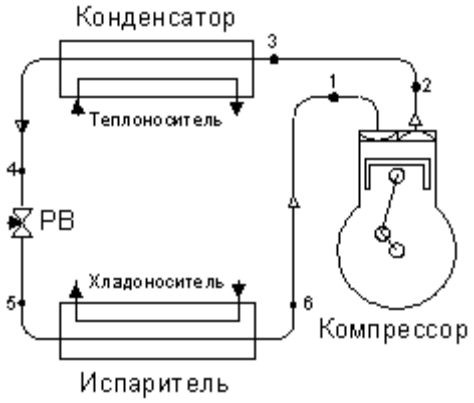
Работа установки определяется следующими параметрами: КПД компрессора $\eta_к$=0,6; КПД детандера η_m=0,75; недорекуперация ΔT=3К; перепад давления на входящем потоке Δp_1=0,025МПа, на исходящем потоке Δp_8=0,023МПа; потери холода в окружающую среду

ΔQ_x=2,94 Дж/час·кг. Давление на выходе из компрессора p_1=0,5МПа, температура жидкого воздуха на выходе из установки T_a=82,5К, давление на выходе из детандера $p_5=p_a$=0,123МПа. Температура окружающей среды T_0=300К, абсолютное давление окружающей среды p_0=0,1МПа.

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^{0}С
Температура конденсации: 40^{0}С
Перегрев в испарителе: 5К
Переохлаждение в конденсаторе: 5К
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^{0}С, на выходе из конденсатора 34^{0}С. Хладоноситель: 35% раствор этиленгликоля в воде. Температура хладоносителя на входе в испаритель минус 7^{0}С, на выходе из испарителя минус 12^{0}С.

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

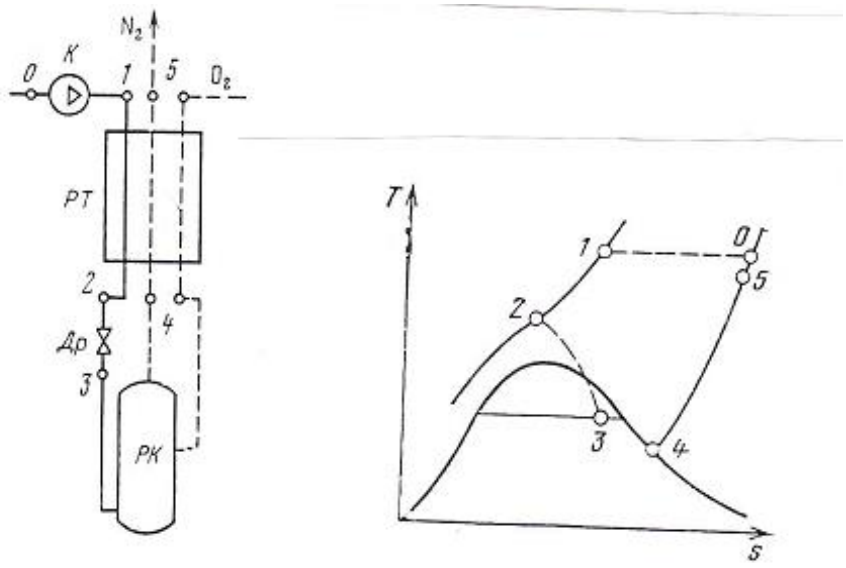
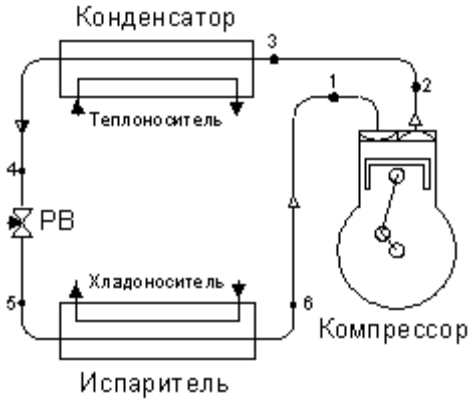


Схема простейшей ВРУ и ее цикл на диаграмме T-s:
0…5 – точки процесса; К – компрессор; РТ – рекуперативный теплообменник;
РК – разделительная колонна; Др – дроссель.

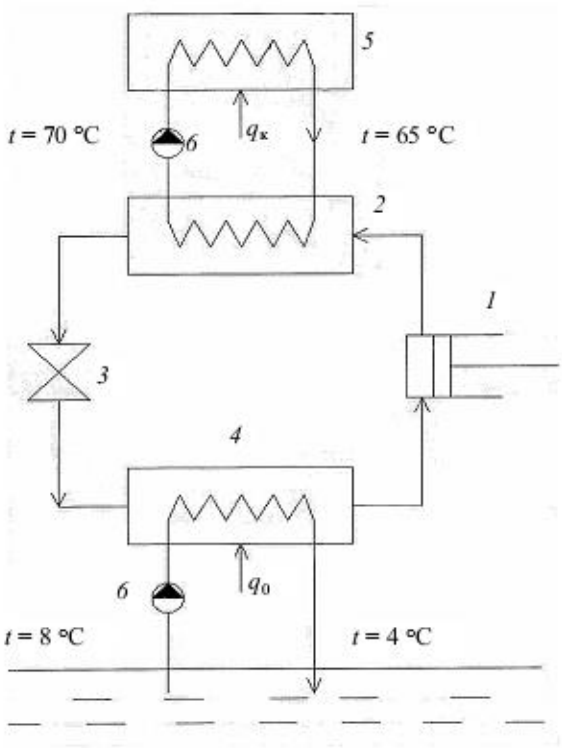
Параметры процесса: p_0=0,1МПа, T_0=290К, p_1=10МПа, T_1= T_0=290К. В процессе работы ВРУ воздух разделяют на кислород (массовая доля g_{O2}=23,2%) и азот (массовая доля g_{N2}=76,8%). Изотермический КПД компрессора принять равным 0,6.

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



Исходные данные: хладагент R134a
Холодопроизводительность: 10 кВт
Температура кипения: -15^{0}C
Температура конденсации: 40^{0}C
Перегрев в испарителе: 5К
Переохлаждение в конденсаторе: 5К
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 T-S и P-I



Принципиальная схема парокомпрессионного теплового насоса (ПКТН):
1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – дроссельный вентиль;
4 – испаритель; 5 – отапливаемое помещение; 6 – насосы.

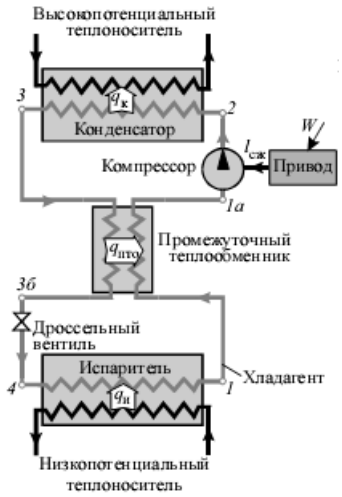
Исходные данные:

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

Полный КПД компрессора $\eta_{ком}$=0,65, КПД приводного электродвигателя компрессора $\eta_{эл}$=0,9. Механический КПД каждого из насосов $\eta_м$=0,8, КПД каждого из приводных электродвигателей насосов $\eta_{эл}$=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 5^0С;

- температура низкопотенциального теплоносителя на выходе из испарителя теплового насоса минус 2^0С;

– температура высокопотенциального теплоносителя (воды) на входе в конденсатор теплового насоса 35^0С

– температура высокопотенциального теплоносителя (воды) на выходе из конденсатора теплового насоса 42^0С

– температура окружающей среды t_0 минус 10^0С;

- температура кипения хладагента в испарителе минус 5^0С;

- температура конденсации хладагента в конденсаторе 45^0С;

- температура хладагента на выходе из испарителя минус 5^0С;

- перегрев пара хладагента на выходе из ПТ 5К;

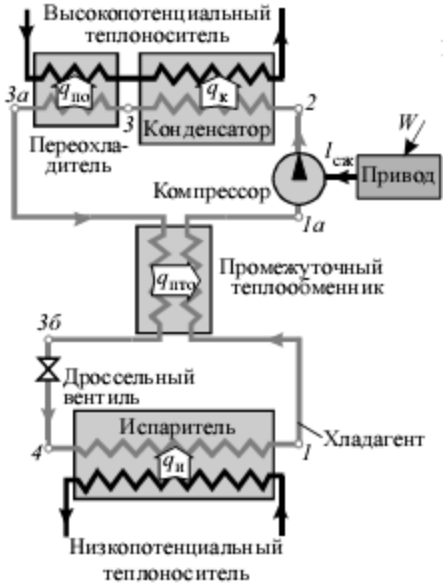
- температура хладагента на выходе из конденсатора 42^0С;

- температура хладагента на выходе из ПТ 38^0С.

Полный КПД компрессора $\eta_{ком}$=0,65, КПД приводного электродвигателя компрессора $\eta_{эл}$=0,9. Механический КПД каждого из насосов теплоносителей $\eta_м$=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 8^0C;

- температура низкопотенциального теплоносителя на выходе из испарителя теплового насоса 3^0C;

– температура высокопотенциального теплоносителя (воды) на входе в переохладитель теплового насоса 45^0C

– температура высокопотенциального теплоносителя (воды) на выходе из конденсатора теплового насоса 60^0C

– температура окружающей среды $t_0=0^0$C;

- температура кипения хладагента в испарителе 2^0C;

- температура конденсации хладагента в конденсаторе 65^0C;

- температура хладагента на выходе из испарителя 2^0C;

- перегрев пара хладагента на выходе из ПТ 5К;

- температура хладагента на выходе из конденсатора 65^0C;

- температура хладагента на выходе из ПО 62^0C

- температура хладагента на выходе из ПТ 58^0C.

Полный КПД компрессора $\eta_{ком}$=0,65, КПД приводного электродвигателя компрессора $\eta_{эл}$=0,9. Механический КПД каждого из насосов теплоносителей $\eta_м$=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 17. Воздушная холодильная установка (см. рис.).

Задано: холодопроизводительность Q_{2i}=10 кВт, температура рабочего тела на выходе из холодильной камеры $t_{хт}$=-10 ^{o}C, а на выходе из охладителя t_{oc}=20 ^{o}C, степень повышения давления воздуха в компрессоре π=4, адиабатный коэффициент компрессора $\eta_{к}$=0,82, а внутренний относительный КПД детандера $\eta_{д}$=0,84.

Свойства рабочего тела ВХУ принять соответствующими двухатомному идеальному воздуху с cp=const.

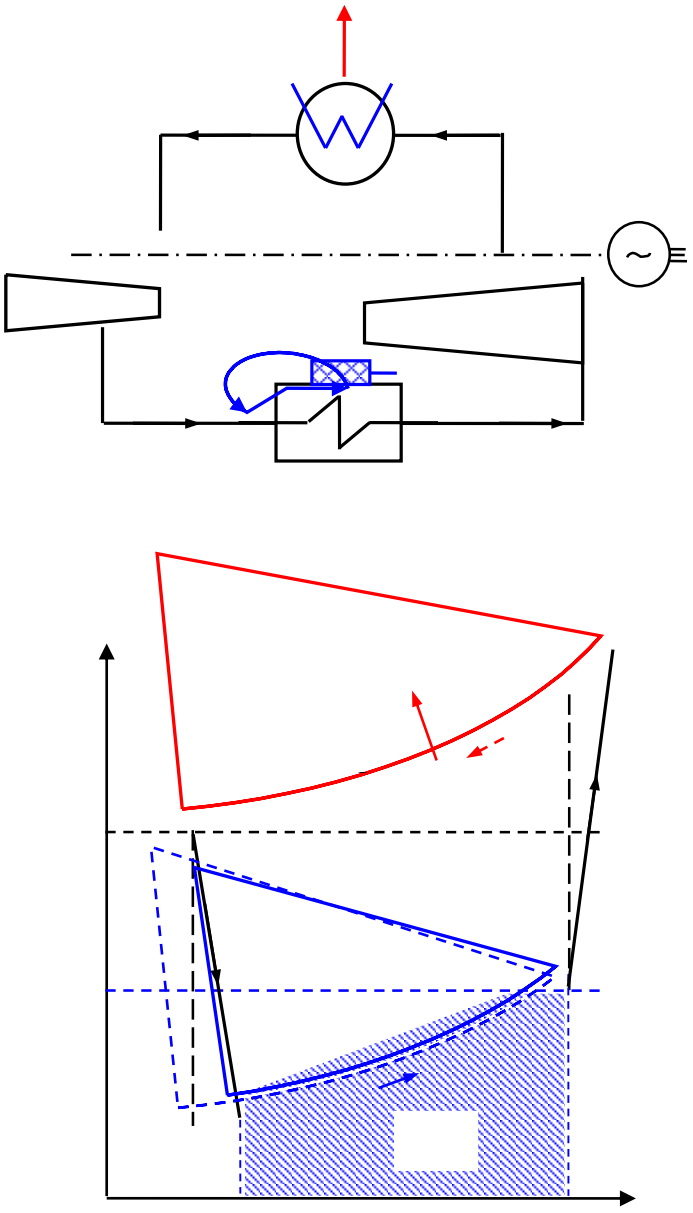


Схема воздушной холодильной установки: К – компрессор; ОХЛ – охладитель; D – детандер; ХК – холодильная камера; ЭД – электродвигатель; G – расход воздуха

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

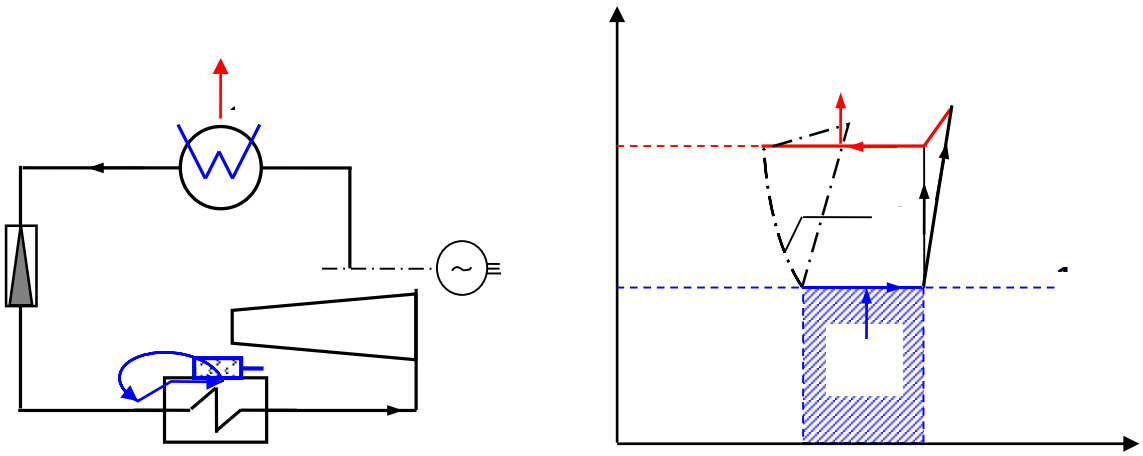


Рис. Парокомпрессионная холодильная установка

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

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

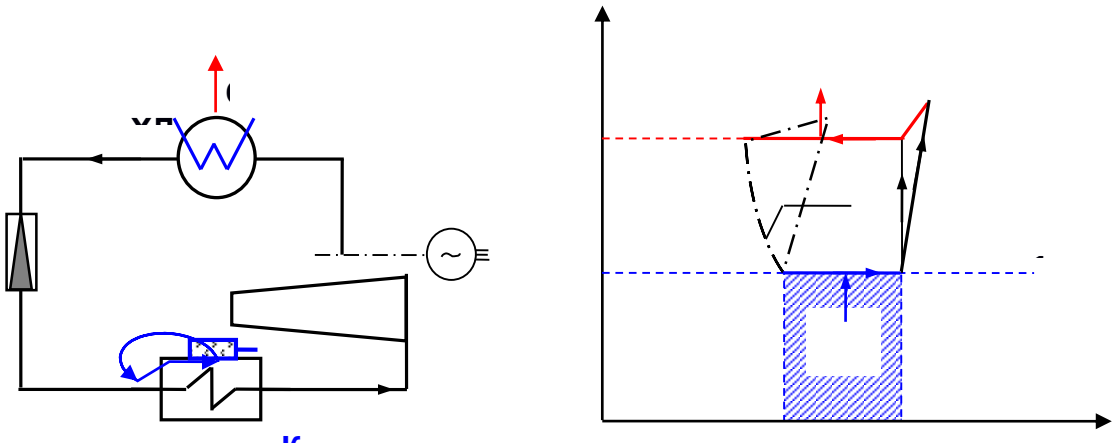


Рис. Парокомпрессионная холодильная установка:

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

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

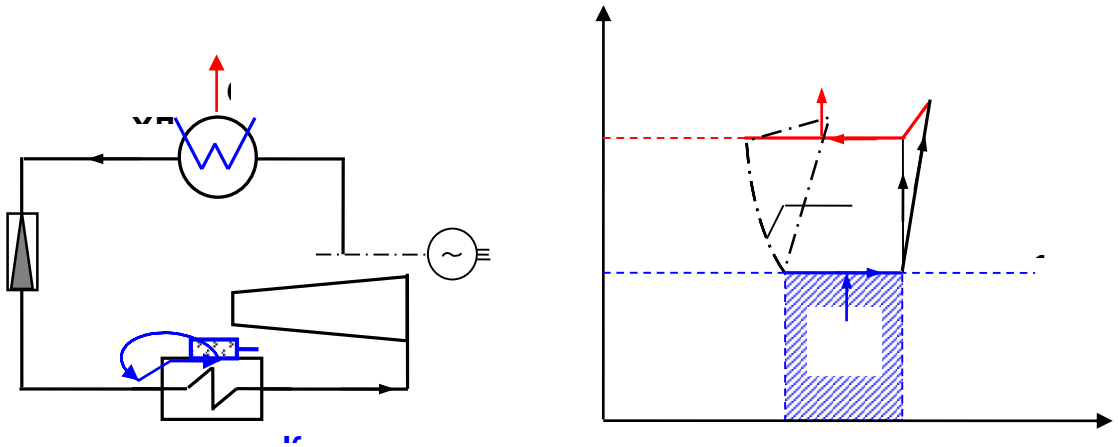


Рис. Парокомпрессионная холодильная установка:

Температура рабочего тела на выходе из холодильной камеры $t_{хт}$=-23 ^{o}C, температура CO_2 на выходе из компрессора в обратимом процессе адиабатного сжатия t_2=27^{o}C, степень повышения давления в компрессоре p_2/p_1=3,36, адиабатный коэффициент компрессора $\eta_к$=0,83. Холодопроизводительность ПКХУ Q_{2i}=1 кВт.

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

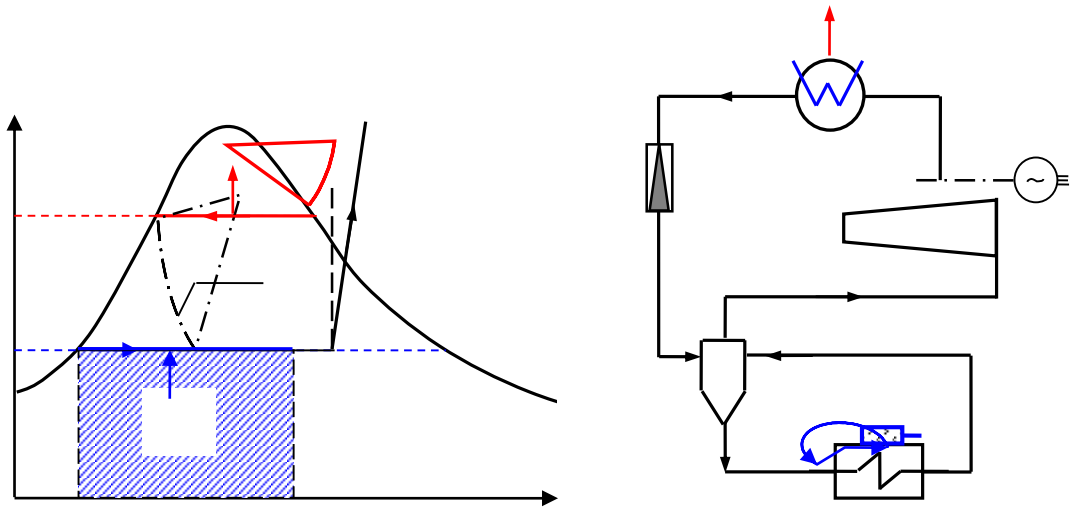


Рис. Парокомпрессионная холодильная установка с сепаратором:
а – цикл в T,s- диаграмме; б – схема

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

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

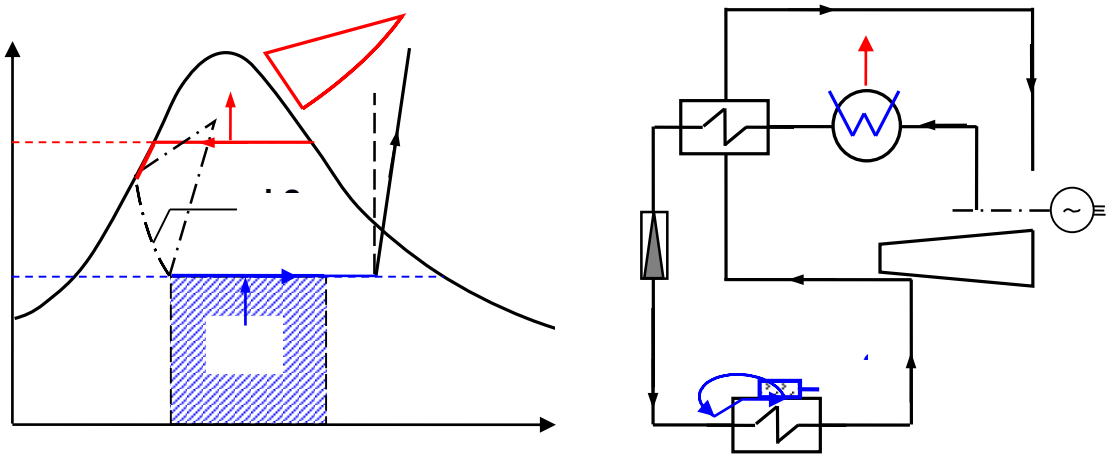


Рис. Парокомпрессионная холодильная установка с регенерацией:
а – цикл в T,s- диаграмме; б – схема

Холодопроизводительность установки Q_2=50 кВт. Температура конденсации пара в охладителе t_3=35^{0}C, $t_{ос}$=20 ^{o}C, температура в холодильной камере - $t_{хт}$=-20 ^{o}C, степень сухости фреона на выходе из холодильной камеры x_1=0,933. Охлаждение жидкого фреона в регенераторе t_3-t_{3*}=10К. Адиабатный коэффициент компрессора $\eta_к$=0,85.

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

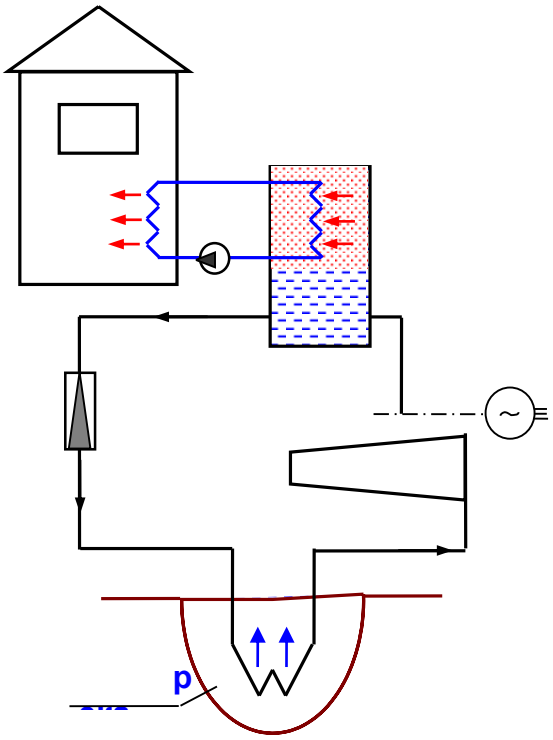
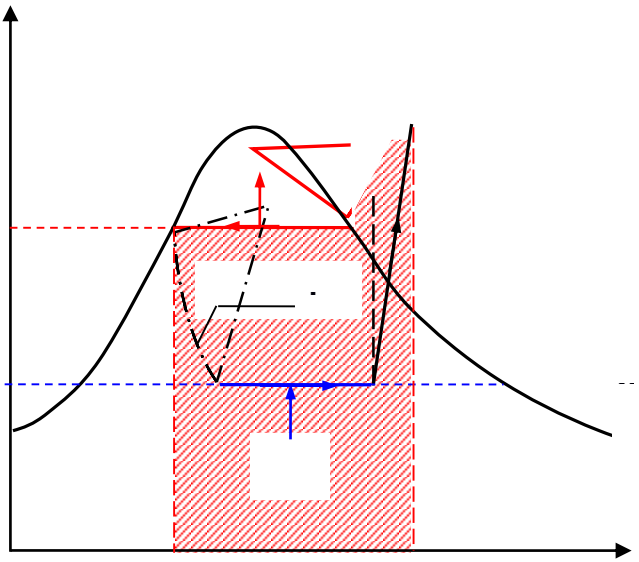


Схема парокомпрессионной установки теплового насоса:

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

G – расход рабочего тела

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



Цикл парокомпрессионного теплового насоса
теплового насоса в T,s - диаграмме

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

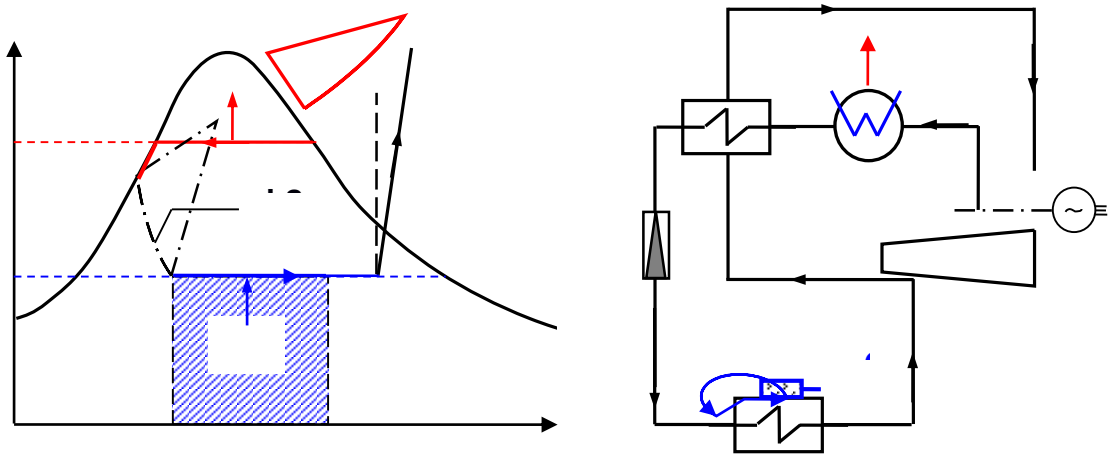


Рис. Парокомпрессионная холодильная установка с регенерацией:
а – цикл в T,s- диаграмме; б – схема

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

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

Примерные вопросы к экзамену

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 p1 до давления p2 без теплообмена с окружающей средой, имеющей температуру T0, 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 p1 до давления p2 < p1 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 T0 в жидкость с температурой T2.

3.Определить прирост энтропии и понятие эксэргетического КПД для теплообменного аппарата.

4. Найти минимальную идеальную работу в изолированной системе для поддержания заданной температуры Tx при температуре окружающей среды T0.

5. Найти минимальное значение энергии, необходимое для непрерывной работы в течение одних суток изолированной холодильной системы холодопроизводительностью 10 кВт при температуре охлаждаемой среды -230С и температуре окружающей среды 270С.

6. Найти значение эксергетического КПД для теплообменного аппарата «вода-вода» при следующих значениях температур:

-температура охлаждаемой воды на входе в теплообменник 260С, температура охлаждаемой воды на выходе из теплообменника 210С;

-температура охлаждающей воды на входе в теплообменник 70С, температура охлаждающей воды на выходе из теплообменника 120С.

Температуру окружающей среды принять равной 300С.

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 Cv не зависит от температуры.

9. Какую максимальную работу можно получить из системы двух тел с температурами Т10 и Т20 (Т10 >Т20), если эти тела используют в качестве соответственно нагревателя и холодильника в тепловой машине? Считать, что теплоемкости тел С1 и С2 не зависят от температуры. Найти окончательную температуру Т обоих тел, когда между ними установится тепловое равновесие.

Образец экзаменационного билета

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

Факультет **ХТиБ** Кафедра **Техника низких температур**
Дисциплина **Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем**
Направление **16.04.03**
Курс 1 группа **224-551,** 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 p1 до давления p2 < p1 при условии, что скорости газа до и после дросселя равны. Как изменится температура идеального газа после дросселя?

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Специальные главы термодинамики низкотемпературных систем».

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.
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.