

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра промышленной теплоэнергетики

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

_____ Е.И. Луковникова

«_____» _____ 201__ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ОСНОВЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕПЛА**

Б1.В.ДВ.10.01

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ

Промышленная теплоэнергетика

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ	
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	9
4.3 Лабораторные работы.....	23
4.4 Семинары / практические занятия.....	23
4.5. Контрольные мероприятия: курсовая работа	23
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	24
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....	25
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	25
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	26
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	26
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/ семинаров / практических работ	26
9.2 Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата	47
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	49
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	49
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	50
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	55
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	56

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель дисциплины

Получить материал необходимый для проектирования и эксплуатации современных трансформаторов тепла материал дает основу для дипломного проектирования.

Задачи дисциплины

Научить будущих бакалавров владеть и принимать участие в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции; проведением предварительного технико-экономического обоснования проектных решений; контролем соблюдения норм расхода топлива и всех видов энергии.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ПК-9	способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - правила экологической безопасности на производстве. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве. <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - способностью обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве.
ПК-10	готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - приборы и схемы для измерения теплоэнергетических величин; - типы и устройство промышленных теплоэнергетических установок. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - составить энергетический баланс конкретной теплоэнергетической установки; - провести поверочный или конструктивный расчёт теплообменного аппарата и другого оборудования; - оценить технико-экономические характеристики технологического процесса. <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - простейшими приемами решения типовых теплотехнических задач на применение основных физических законов и численных алгоритмов. - навыками чтения технических чертежей и технологических схем оборудования;

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.10.01 Основы трансформации тепла относится к вариативной части.

Дисциплина Основы трансформации тепла базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как: «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Источники и системы теплоснабжения», «Эксплуатация теплоэнергетических установок и систем», «Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха».

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Основы трансформации тепла представляет основу для Производственной (преддипломной) практики и Государственной итоговой аттестации.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Контрольная работа	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	4	8	144	48	24	12	12	60	кр	экзамен
Заочная	4	-	144	14	6	4	4	121	кр	экзамен
Заочная (ускоренное обучение)	2	-	144	12	6	2	4	123	кр	экзамен
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			8
1	2	3	4
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	48	16	48
Лекции (Лк)	24	10	24
Лабораторные работы (ЛР)	12	3	12
Практические занятия (ПЗ)	12	3	12
Контрольная работа (Кр)	+	-	+
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+

II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	60	-	60
Подготовка к лабораторным работам	13	-	13
Подготовка к экзамену в течение семестра	14	-	14
Подготовка к практическим занятиям	13	-	13
Выполнение контрольной работы	20	-	20
III. Промежуточная аттестация экзамен	36	-	36
Общая трудоемкость дисциплины	час.	144	144
	зач. ед.	4	4

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Назначение трансформаторов тепла	7	1	-	-	6
1.1	Назначение трансформаторов тепла. Область использования трансформаторов тепла. Классификация трансформаторов тепла.	7	1	-	-	6
2.	Термодинамические основы процессов трансформации тепла	16	4	4	-	8
2.1	Циклические, квазициклические и нециклические процессы в трансформаторах тепла. Каскадные и регенеративные трансформаторы тепла.	7	1	4	-	2
2.2	Эксергетический метод анализа систем трансформации тепла. Определение значения эксергии. Основные термодинамические зависимости.	3	1	-	-	2
2.3	Характерные энергетические зоны в низкотемпературной области. Характер изменения удельных эксергетических затрат.	3	1	-	-	2
2.4	Общая характеристика хладоагентов и криоагентов. Хладоносители.	3	1	-	-	2
3.	Одноступенчатые парокompрессионные трансформаторы тепла	25	4	8	4	9
3.1	Удельные энергозатраты и КПД компрессионных трансформаторов тепла.	5	1	2	-	2
3.2	Энергетический и эксергетический балансы компрессионных трансформаторов тепла.	5	1	2	-	2
3.3	Методика расчета одноступенчатых трансформаторов тепла.	10	1	2	4	3
3.4	Регенеративный теплообмен в парожидкостных трансформаторах тепла.	5	1	2	-	2
4.	Многоступенчатые холодильные установки	19	4	-	6	9
4.1	Многоступенчатые компрессионные трансформаторы тепла. Применение двухступенчатых тепло-насосных устано-	15	2	-	6	7

	вок в системах теплоснабжения.					
4.2	Каскадные рефрижераторные установки.	4	2	-	-	2
5.	Абсорбционные трансформаторы тепла	15	4	-	2	9
5.1	Принцип действия идеальных абсорбционных установок и удельный расход тепла в них.	3	1	-	-	2
5.2	Схема и процесс работы реальных абсорбционных трансформаторов тепла.	3	1	-	-	2
5.3	Методика расчета одноступенчатых абсорбционных трансформаторов тепла.	6	1	-	2	3
5.4	Зависимость удельного расхода энергии в абсорбционных установках от параметров генерации, испарения и охлаждения.	3	1	-	-	2
6.	Струйные трансформаторы тепла	13	4	-	-	9
6.1	Типы струйных трансформаторов тепла. Газодинамические функции. Принципиальная схема и КПД струйного компрессора.	13	4	-	-	9
7.	Газовые трансформаторы тепла	13	4	-	-	9
7.1	Особенности процессов в газовых трансформаторах тепла. Идеальные газовые циклы со стационарными процессами.	7	2	-	-	5
7.2	Реальные газовые циклы и квазициклы со стационарными процессами.	3	1	-	-	2
7.3	Газовые циклы и установки с нестационарными процессами.	3	1	-	-	2
	ИТОГО	108	24	12	12	60

- для заочной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Назначение трансформаторов тепла	7,5	0,5	-	-	7
1.1	Назначение трансформаторов тепла. Область использования трансформаторов тепла. Классификация трансформаторов тепла.	7,5	0,5	-	-	7
2.	Термодинамические основы процессов трансформации тепла	26	1	1	-	24
2.1	Циклические, квазициклические и нециклические процессы в трансформаторах тепла. Каскадные и регенеративные трансформаторы тепла.	6,5	0,5	1	-	5
2.2	Эксергетический метод анализа систем трансформации тепла. Определение значения эксэргии. Основные термодинамические зависимости.	7	-	-	-	7
2.3	Характерные энергетические зоны в низкотемпературной области. Характер изменения удельных эксергетических затрат.	7	-	-	-	7
2.4	Общая характеристика хладоагентов и криоагентов. Хладоносители.	5,5	0,5	-	-	5
3.	Одноступенчатые парокompрессионные трансформаторы тепла	30	2	3	1	24
3.1	Удельные энергозатраты и КПД компрес-	7,5	0,5	-	-	7

	сионных трансформаторов тепла.					
3.2	Энергетический и эксергетический балансы компрессионных трансформаторов тепла.	6,5	0,5	1	-	5
3.3	Методика расчета одноступенчатых трансформаторов тепла.	9	1	2	1	5
3.4	Регенеративный теплообмен в парожидкостных трансформаторах тепла.	7	-	-	-	7
4.	Многоступенчатые холодильные установки	15	1	-	2	12
4.1	Многоступенчатые компрессионные трансформаторы тепла. Применение двухступенчатых тепло-насосных установок в системах теплоснабжения.	8	1	-	2	5
4.2	Каскадные рефрижераторные установки.	7	-	-	-	7
5.	Абсорбционные трансформаторы тепла	28,5	1,5	-	1	26
5.1	Принцип действия идеальных абсорбционных установок и удельный расход тепла в них.	7,25	0,25	-	-	7
5.2	Схема и процесс работы реальных абсорбционных трансформаторов тепла.	7,25	0,25	-	-	7
5.3	Методика расчета одноступенчатых абсорбционных трансформаторов тепла.	7	1	-	1	5
5.4	Зависимость удельного расхода энергии в абсорбционных установках от параметров генерации, испарения и охлаждения.	7	-	-	-	7
6.	Струйные трансформаторы тепла	7	-	-	-	7
6.1	Типы струйных трансформаторов тепла. Газодинамические функции. Принципиальная схема и КПД струйного компрессора.	7	-	-	-	7
7.	Газовые трансформаторы тепла	21	-	-	-	21
7.1	Особенности процессов в газовых трансформаторах тепла. Идеальные газовые циклы со стационарными процессами.	7	-	-	-	7
7.2	Реальные газовые циклы и квазициклы со стационарными процессами.	7	-	-	-	7
7.3	Газовые циклы и установки с нестационарными процессами.	7	-	-	-	7
	ИТОГО	135	6	4	4	121

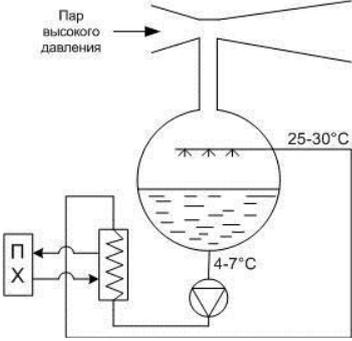
- для заочной формы (ускоренное обучение):

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Назначение трансформаторов тепла	7,5	0,5	-	-	7
1.1	Назначение трансформаторов тепла. Область использования трансформаторов тепла. Классификация трансформаторов тепла.	7,5	0,5	-	-	7
2.	Термодинамические основы процессов трансформации тепла	26	1	0,5	-	24,5
2.1	Циклические, квазициклические и нециклические процессы в трансформаторах тепла. Каскадные и регенеративные	6,5	0,5	0,5	-	5,5

	трансформаторы тепла.					
2.2	Эксергетический метод анализа систем трансформации тепла. Определение значения эксергии. Основные термодинамические зависимости.	7	-	-	-	7
2.3	Характерные энергетические зоны в низкотемпературной области. Характер изменения удельных эксергетических затрат.	7	-	-	-	7
2.4	Общая характеристика хладоагентов и криоагентов. Хладоносители.	5,5	0,5	-	-	5
3.	Одноступенчатые парокомпрессионные трансформаторы тепла	30	2	1,5	1	25,5
3.1	Удельные энергозатраты и КПД компрессионных трансформаторов тепла.	7,5	0,5	-	-	7
3.2	Энергетический и эксергетический балансы компрессионных трансформаторов тепла.	6,5	0,5	0,5	-	5,5
3.3	Методика расчета одноступенчатых трансформаторов тепла.	9	1	1	1	6
3.4	Регенеративный теплообмен в парожидкостных трансформаторах тепла.	7	-	-	-	7
4.	Многоступенчатые холодильные установки	15	1	-	2	12
4.1	Многоступенчатые компрессионные трансформаторы тепла. Применение двухступенчатых тепло-насосных установок в системах теплоснабжения.	8	1	-	2	5
4.2	Каскадные рефрижераторные установки.	7	-	-	-	7
5.	Абсорбционные трансформаторы тепла	28,5	1,5	-	1	26
5.1	Принцип действия идеальных абсорбционных установок и удельный расход тепла в них.	7,25	0,25	-	-	7
5.2	Схема и процесс работы реальных абсорбционных трансформаторов тепла.	7,25	0,25	-	-	7
5.3	Методика расчета одноступенчатых абсорбционных трансформаторов тепла.	7	1	-	1	5
5.4	Зависимость удельного расхода энергии в абсорбционных установках от параметров генерации, испарения и охлаждения.	7	-	-	-	7
6.	Струйные трансформаторы тепла	7	-	-	-	7
6.1	Типы струйных трансформаторов тепла. Газодинамические функции. Принципиальная схема и КПД струйного компрессора.	7	-	-	-	7
7.	Газовые трансформаторы тепла	21	-	-	-	21
7.1	Особенности процессов в газовых трансформаторах тепла. Идеальные газовые циклы со стационарными процессами.	7	-	-	-	7
7.2	Реальные газовые циклы и квазциклы со стационарными процессами.	7	-	-	-	7
7.3	Газовые циклы и установки с нестационарными процессами.	7	-	-	-	7
	ИТОГО	135	6	2	4	123

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

№ раздела и темы	Наименование раздела и темы дисциплины	Содержание лекционных занятий	Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)
1	2	3	4
1.	Назначение трансформаторов тепла		
1.1	Назначение трансформаторов тепла. Область использования трансформаторов тепла. Классификация трансформаторов тепла.	<p>Трансформаторами тепла (термотрансформаторами) называются технические системы, в которых осуществляется отвод тепловой энергии от объектов с относительной низкой температурой к приёмникам тепла с более высокой температурой. Такое преобразование (повышение потенциала тепла) не происходит самопроизвольно. Для этого необходимы затраты внешней энергии того или иного вида: электрической, механической, химической, кинематической энергии газа или пара и т.д.</p> <p>Процессы повышения потенциала тепла классифицируют в зависимости от положения температурных уровней: верхнего теплоприёмника ($T_{\text{в}}$) и нижнего теплоотдатчика ($T_{\text{н}}$) по отношению к температуре окружающей среды ($T_{\text{ос}} = 20^{\circ}\text{C}$).</p> <p>В том случае, когда температура теплоотдатчика ниже температуры окружающей среды $T_{\text{н}} < T_{\text{ос}}$, а теплоприёмника равна температуре окружающей среды $T_{\text{в}} = T_{\text{ос}}$, осуществляющая отвод тепла, система называется рефрижератором (R - охлаждение).</p> <p>При $T_{\text{н}} > T_{\text{ос}}$ и $T_{\text{в}} > T_{\text{ос}}$ соответствующий трансформатор тепла называется тепловым насосом.</p> <p>При температуре теплоотдатчика меньше температуры окружающей среды ($T_{\text{н}} < T_{\text{ос}}$) и температуре теплоприёмника больше температуры окружающей среды ($T_{\text{в}} > T_{\text{ос}}$), трансформатор тепла осуществляет обе функции - и рефрижератора и теплового насоса и является комбинированным.</p>	
2.	Термодинамические основы процессов трансформации тепла		
2.1	Циклические, квазициклические и нециклические процессы в трансформаторах тепла. Каскадные и регенеративные трансформаторы тепла.	<p>Трансформаторы ТТ классифицируются:</p> <ul style="list-style-type: none"> - по принципу организации работы теплового трансформатора; - по характеру протекающих в тепловом трансформаторе процессов; - по характеру протекания процессов во времени. <p>По <i>принципу организации работы</i>- тепловые трансформаторы бывают:</p> <ul style="list-style-type: none"> - термомеханические (наиболее распространены в промышленности); - магнитокалорические; - электрокалорические. <p><i>Термомеханические:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - компрессионные; - сорбционные; - струйные. <p>Компрессионные в зависимости от характера изменения состояния рабочего тела бывают:</p> <ul style="list-style-type: none"> - парожидкостные ПЖТТ(рабочее тело изменяет фазовое состояние пар-жидкость); - газожидкостные ГЖТТ (газ-жидкость); - газовые. <p><i>Сорбционные.</i> В этих установках давление рабочего тела изменяется в процессе сорбции (P уменьшается) и десорбции (P увеличивается). Эти установки бывают:</p> <ul style="list-style-type: none"> - абсорбционные; 	

		<p>- адсорбционные В абсорбционных машинах рабочее тело поглощается жидкостью. В адсорбционных – твердым телом. Процессы сорбции и десорбции сопровождаются подводом и отводом тепла. В качестве рабочих тел используются системы: $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ По характеру протекающих в тепловом трансформаторе процессов, они бывают:</p> <ul style="list-style-type: none"> - с повысительной трансформацией (когда подводится теплота низкого потенциала, а отводится высокого). К этому классу относятся: рефрижераторы, криогенные установки, тепловые насосы, кондиционеры. - расщепительной трансформацией (подводится теплота со средним потенциалом и делится на 2 потока: 1 с низким, 2 с повышенным потенциалом). Это – струйные трансформаторы – парожеткорные машины и вихревые трубы.  <p>По характеру протекания процессов во времени.</p> <ul style="list-style-type: none"> - циклические, когда процесс возвращается в исходную точку; - квазициклические процессы, рабочее тело после прохода цикла покидает этот цикл. Это компрессоры, турбины, двигатели, вентиляторы. - нециклические. Электромагнитные тепловые трансформаторы. Нет рабочего тела. 	
2.2	<p>Эксергетический метод анализа систем трансформации тепла. Определение значения эксергии. Основные термодинамические зависимости.</p>	<p>При анализе термодинамических систем необходимо учитывать, наряду с первым, второй закон термодинамики. Метод термодинамического анализа, учитывающий при анализе технологических систем как первый, так и второй закон термодинамики, называется эксергетическим. Этот метод термодинамического анализа основан на введении понятия термодинамических потенциалов. Обоснованно выбранные термодинамические потенциалы позволяют определить работоспособность потоков вещества и энергии в любой точке рассматриваемой системы. Большое значение при этом методе анализа приобретает окружающая техническая среда. Следует отметить, что все реальные технические процессы происходят в условиях взаимодействия с окружающей средой. Окружающая среда характеризуется тем, что ее параметры не зависят от параметров рассматриваемой системы и в большинстве задач могут считаться постоянными. Примерами такой среды могут быть атмосфера, морская вода, космическое пространство. Понятие энергии как общей меры движения материи в рассматриваемой системе недостаточно при решении технических задач. Техническая ценность энергии зависит не только от ее собственных параметров и формы, но и от параметров окружающей среды. Таким образом, не всякая энергия и не при всех условиях может быть целиком пригодна для практического использования. С этой точки зрения, во всех энергетических превращениях, обеспечивающих работу технических систем, может использоваться энергия двух видов: - энергия, полностью превратимая в любой другой вид энергии, независимо от параметров окружающей среды – «организованная» форма энергии. Это, например, механическая, электрическая или химическая энергия; - энергия, которая не может быть полностью превращена в другой вид энергии; ее превратимость определяется как собственными параметрами, так и параметрами окружающей среды – «неорганизованная» форма энергии. Например, энергия, передаваемая в виде теплового потока, энергия излучения и т.д.</p> <p>На основании изложенного возникла необходимость введения общей</p>	

		меры для всех видов энергии, характеризующей способность их преобразования в другие виды организованной энергии. Такая мера превратимости была названа эксергией системы.											
2.3	Характерные энергетические зоны в низко-температурной области. Характер изменения удельных эксергетических затрат.	<p>Эксергия системы в данном состоянии измеряется количеством механической или другой полностью превратимой энергии, которая может быть получена от системы в результате ее обратимого перехода из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой. Та часть энергии системы, которая не может быть превращена в организованную энергию, получила название анергии. Таким образом, при определении эксергии объектом рассмотрения являются, прежде всего, сама система, затем окружающая среда и, наконец, внешние объекты в окружающей среде, которые могут служить источниками или приемниками энергии. Эксергия, как и энергия системы, в каждом данном состоянии имеет фиксированное значение. Взаимодействие системы с окружающей средой может проходить как обратимо (идеальный процесс), так и необратимо (реальный процесс). В идеальном обратимом процессе будет получена работа, равная убыли эксергии. В реальном процессе работа будет меньше, чем убыль эксергии, так как часть эксергии исчезнет, будет потеряна. Таким образом, если взаимодействие системы и окружающей среды протекает необратимо с возрастанием энтропии, то эксергия системы уменьшается. Сопоставление свойств энергии и эксергии представлено в табл.1.1.</p> <p style="text-align: right;">Таблица 1.1 Энергия системы</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Энергия системы</th> <th>Эксергия системы</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Зависит только от параметров системы и не зависит от параметров окружающей среды</td> <td>Зависит как от параметров системы, так и от параметров окружающей среды</td> </tr> <tr> <td>Всегда имеет величину, отличную от нуля</td> <td>Может иметь величину, равную нулю (при полном равновесии параметров системы и окружающей среды)</td> </tr> <tr> <td>Подчиняется закону сохранения энергии в любых процессах и уничтожаться не может</td> <td>Подчиняется закону сохранения только при обратимых процессах; в реальных необратимых процессах уничтожается частично или полностью</td> </tr> <tr> <td>Преобразование одних форм в другие ограничено по условиям второго закона термодинамики для всех процессов, в том числе и обратимых</td> <td>Преобразование одних форм в другие не ограничено по условиям второго закона термодинамики для обратимых процессов</td> </tr> </tbody> </table>	Энергия системы	Эксергия системы	Зависит только от параметров системы и не зависит от параметров окружающей среды	Зависит как от параметров системы, так и от параметров окружающей среды	Всегда имеет величину, отличную от нуля	Может иметь величину, равную нулю (при полном равновесии параметров системы и окружающей среды)	Подчиняется закону сохранения энергии в любых процессах и уничтожаться не может	Подчиняется закону сохранения только при обратимых процессах; в реальных необратимых процессах уничтожается частично или полностью	Преобразование одних форм в другие ограничено по условиям второго закона термодинамики для всех процессов, в том числе и обратимых	Преобразование одних форм в другие не ограничено по условиям второго закона термодинамики для обратимых процессов	
Энергия системы	Эксергия системы												
Зависит только от параметров системы и не зависит от параметров окружающей среды	Зависит как от параметров системы, так и от параметров окружающей среды												
Всегда имеет величину, отличную от нуля	Может иметь величину, равную нулю (при полном равновесии параметров системы и окружающей среды)												
Подчиняется закону сохранения энергии в любых процессах и уничтожаться не может	Подчиняется закону сохранения только при обратимых процессах; в реальных необратимых процессах уничтожается частично или полностью												
Преобразование одних форм в другие ограничено по условиям второго закона термодинамики для всех процессов, в том числе и обратимых	Преобразование одних форм в другие не ограничено по условиям второго закона термодинамики для обратимых процессов												
2.4	Общая характеристика хладагентов и криоагентов. Хладоносители.	<p>Холодильный агент (хладагент) – это рабочее вещество, с помощью которого в холодильной машине совершается обратный круговой процесс, или цикл.</p> <p>В парокомпрессионной холодильной машине хладагент кипит при низкой температуре в испарителе, поглощает теплоту из охлаждаемой среды (воздуха в камере или жидкого хладоносителя) и отдает ее в конденсаторе охлаждающей среде (воде или окружающему воздуху), превращаясь из парообразного состояния в жидкое.</p> <p>В качестве хладагентов используют вещества, обладающие особыми термодинамическими, физико-химическими и физиологическими свойствами, которые должны обеспечивать безопасную и экономичную (с малыми энергозатратами) эксплуатацию холодильной машины.</p> <p>Термодинамические свойства характеризуют хладагент с точки зрения энергетической эффективности его использования, то есть обеспечения минимального расхода энергии на единицу холодопроизводительности.</p> <p>Величиной, представляющей отношение полученной холодопроизводительности Q_0 к единице затраченной мощности N, является холодильный коэффициент $\varepsilon = \frac{Q_0}{N}$. Обычно эту величину используют в холодильной технике как характеристику энергетической эффективности холодильной</p>	Лекция с текущим контролем (1 час)										

		<p>машины.</p> <p>Наиболее важным свойством хладагента, влияющим на холодопроизводительность и холодильный коэффициент, является скрытая теплота парообразования γ, кДж/кг. Если высокое значение γ сочетается с низким удельным объемом пара ν, м³/кг, то при малом расходе энергии будет требоваться также меньшая объемная производительность компрессора.</p> <p>Важнейшими эксплуатационными характеристиками являются давление и соответствующая им температура насыщения при кипении и конденсации хладагента.</p> <p>Принятые обозначения: P_0 и t_0 – давление и температура кипения, P_k и t_k – давление и температура конденсации.</p> <p>При эксплуатации холодильной машины желательно, чтобы P_0 было выше атмосферного. В этом случае исключается возможность попадания в систему машины воздуха из окружающей среды.</p> <p>От величины разности давлений ($P_k - P_0$) зависит толщина стенок сосудов (конденсаторов, ресиверов и др.), а следовательно, и металлоемкость машины.</p> <p>Важно также и отношение этих величин P_k/P_0, которое называют иногда «степень сжатия». Более правильно его называть «степень повышения давления».</p> <p>Желательно, чтобы эта величина была малой, так как с ее увеличением растет расход энергии, падает холодопроизводительность машины и ухудшаются объемные и энергетические характеристики компрессора.</p> <p>Крайне желательна низкая (адиабатная) температура конца сжатия пара в компрессоре. От ее значения зависят нагрев компрессора, надежность работы нагнетательных клапанов и возможный срок работы без ремонта. Во многом ее значение определяет конструкцию компрессора: необходимость устройства охлаждающей рубашки, использование встроенного электродвигателя и др.</p> <p>Температура замерзания хладагента t_3 – это тот нижний предел, который ограничивает возможность использования данного хладагента.</p> <p>Критические температура $t_{кр}$ и давление $P_{кр}$ указывают верхний предел области, в которой хладагент может быть в жидком состоянии. Выше критических параметров хладагент находится в газообразном состоянии, когда невозможны процессы кипения и конденсации.</p> <p>Теплофизические свойства хладагентов также очень важны для конструирования и правильной эксплуатации холодильных машин. Плотность хладагента ρ кг/м³ влияет на затраты энергии при его циркуляции в трубопроводах и на преодоление сопротивления в клапанах. Величина коэффициента теплопроводности хладагента λ, Вт/м × К влияет на теплоотдачу хладагента при его конденсации и кипении в аппаратах.</p> <p>Динамическая вязкость μ, Па·с также влияет на затрату энергии в клапанах компрессора.</p> <p>К основным физико-химическим свойствам хладагентов относят их электропроводность, растворимость в воде и масле и воздействие на конструкционные материалы. Аммиак хорошо растворяется в воде и практически нерастворим в масле. Фреоны – наоборот: хорошо растворяют масло, но нерастворимы в воде и не проводят электрический ток. Исключительную значимость для безопасной эксплуатации холодильных установок имеют токсичность и пожаро-взрывоопасность хладагентов. Эти свойства иногда называют физиологическими.</p>	
3.	Одноступенчатые пароконденционные трансформаторы тепла		
3.1	Удельные энергозатраты и КПД компрессионных трансформаторов тепла.	Для привода в абсорбционных трансформаторах используется внешняя энергия, передаваемая в форме тепла этим абсорбционные установки принципиально отличаются от компрессионных трансформаторов тепла, в которых для повышения потенциала тепла используется более ценный вид энергии — электрическая (механическая) энергия.	-
3.2	Энергетический и эксергетический балансы ком-	Эксергетический анализ представляет собой методику термодинамического исследования, основанную на втором законе термодинамики, которая обеспечивает сравнительный способ описания процессов и систем. С его помощью можно рассчитать значение эффективности, которое позволяет	-

	прессионных трансформаторов тепла.	<p>ответить на вопрос, насколько реальная система по своим возможностям приближается к идеальной, а также выделить причины и места расположения термодинамических потерь и тем самым способствовать улучшению системы.</p> <p>В отличие от эксергетического традиционный термодинамический анализ основан преимущественно на первом законе термодинамики, который, как известно, утверждает принцип сохранения энергии. Этот анализ, по сути, строится на расчете энергии на входе и на выходе систем. Энергия на входе представляется, как правило, энергией сырья, а на выходе энергией, которая может содержаться в продуктах и в отходах производства. Эффективность оценивается по отношению этих энергий и используются для описания и сравнения различных ХТС: реакторов, нагревателей, холодильников и многих других.</p> <p>Однако эффективность не дает ответа на ключевой вопрос, насколько система близка к идеальной, поскольку термодинамические потери, которые происходят в системе (т.е. те факторы, вызывающие отклонение ее производительности от эталона), точно не выявляются, а порой и не рассматриваются вовсе. Более того, результаты энергетического анализа могут указать на неправильное понимание причин снижения эффективности и месторасположение элементов, вносящих наибольший вклад в величину потерь.</p> <p>Эксергетический анализ позволяет преодолеть многие недостатки классического энергетического анализа.</p>	
3.3	Методика расчета одноступенчатых трансформаторов тепла.	<p>Задача теплового расчета трансформатора заключается:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) в определении перепадов температуры между обмотками и сердечником с одной стороны и маслом с другой; 2) подборе конструкции и размеров бака, обеспечивающих нормальную теплоотдачу всех потерь при температурах обмоток, сердечника и масла, не превышающих допустимых значений; 3) поверочном расчете превышающей температуры обмоток, сердечника и масла над температурой окружающего воздуха. <p>Тепловой расчет трансформатора проводится после электромагнитного и механического расчета обмоток и сердечника. При правильном выборе электромагнитных нагрузок и правильном распределении и выборе размеров охлаждающих масляных каналов внутренние перепады температуры в обмотках и сердечнике оказываются не выше обычно допускаемых величин. Вследствие этого тепловой расчет обмоток сводится к поверочному определению перепадов температуры внутри них и на поверхности для принятой конструкции и размеров обмотки.</p>	Лекция с текущим контролем (1 час)
3.4	Регенеративный теплообмен в парожидкостных трансформаторах тепла.	<p>1) Причинами изменения режима работы трансформатора теплоты могут быть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - изменение температуры хладоносителя (рассола), поступающего от потребителя холода в испаритель рефрижераторной установки, или источника низкопотенциальной теплоты, используемого в теплонасосной установке; - изменение температуры охлаждающей среды, поступающей в конденсатор установки; - изменение тепловой нагрузки трансформатора теплоты, связанное с необходимостью искусственного изменения температуры рассола после испарителя рефрижераторной установки или горячей воды после конденсатора теплонасосной установки. <p>Указанные причины могут действовать совместно или порознь.</p> <p>Возможны следующие методы регулирования производительности установок:</p> <ul style="list-style-type: none"> - изменение количества одновременно работающих агрегатов при работе нескольких; - изменение длительности работы установки путем ее периодического включения и выключения, когда в системе имеются аккумулирующие сосуды; - изменение производительности компрессора, чаще всего изменением частоты вращения; - изменение расхода рабочего агента в установке. 	

2) В некоторых случаях в парожидкостных компрессионных трансформаторах тепла включают регенеративный теплообменник между потоком жидкого агента, направляющимся из конденсатора в дроссельный вентиль, и потоком пара, движущимся из испарителя в компрессор. В этом случае увеличивается удельный подвод тепла в испарителе, но одновременно возрастает удельный расход работы в компрессоре.

В том случае, когда рабочий агент имеет повышенную удельную теплоемкость в жидкой фазе и в состоянии перегретого пара, а также - небольшую теплоту парообразования, такая схема дает некоторый энергетический выигрыш. В частности, по этой схеме обычно выполняются холодильные установки, работающие на фреоне Ф-12. Схема такой установки и процесс ее работы в T, s -диаграмме показаны на рис. 2.6.

Внутренняя удельная работа сжатия $l_i = (i_2 - i_1)$, определяется площадью 273861 ккал^2

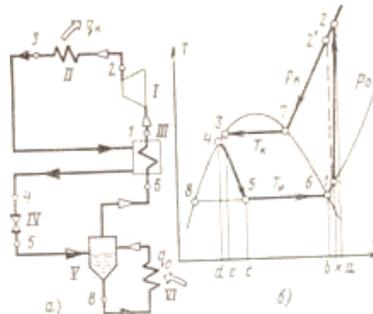


Рис. 2.6. Принципиальная схема (а) и процесс работы на T, s -диаграмме (б) одноступенчатой компрессионной холодильной установки с регенеративным охлаждением жидкого агента.

I — компрессор; II — конденсатор; III — регенеративный теплообменник; IV — дроссельный вентиль; V — сепаратор; VI — испаритель.

Холодопроизводительность единицы расхода рабочего агента $q_0 = (i_6 - i_5)$ определяется площадью $65сб6$.

Удельный отвод тепла в конденсаторе на единицу расхода рабочего агента $q_K = (i_2 - i_3)$ определяется площадью $3еа273$.

Удельная тепловая нагрузка регенеративного теплообменника $q_{рт} = (i_3 - i_4) = (i_1 - i_6)$ определяется площадью $4де34$, равной площади $16бк1$

Благодаря снижению температуры жидкого хладагента перед дроссельным вентилем IV с T_3 до T_4 удельная холодопроизводительность возрастает на $i_3 - i_4$ по сравнению с ее значением в установке без регенеративного теплообменника. Одновременно растет и удельная внутренняя работа компрессора, поскольку энтальпия пара перед компрессором повышается с i_6 до i_1 соответственно увеличивается и удельный объем пара V_0 перед компрессором [формула (2.8а)].

Преимуществами рассматриваемой схемы являются также уменьшение растворимости рабочего агента в масле и увеличение коэффициента подачи компрессора* благодаря повышению температуры пара перед ним.

Регенерация тепла в парожидкостных компрессионных установках имеет ограниченное применение. Это объясняется тем, что введение регенерации не меняет отношения давлений p_k/p_i , поскольку они однозначно определяются T_k и T_i . Тем самым исключается главное преимущество регенерации — уменьшение p_k/p_i , т. е. уменьшение степени повышения давлений в компрессоре при тех же T_k и T_i ; достигается только понижение температуры в точке 4.

4. Многоступенчатые холодильные установки

4.1

Многоступенчатые компрессионные трансформаторы тепла. Применение двухступенчатых теплонасосных установок в системах теплоснабжения.

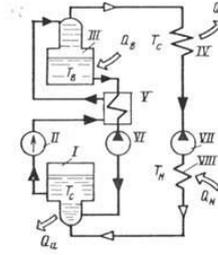


Рис. 5.1. Принципиальная схема идеального повышающего абсорбционного трансформатора тепла.

1) В испарителе VIII к рабочему агенту подводится тепло низкого потенциала Q_n с температурой T_n . Рабочий агент кипит (испаряется) в испарителе при температуре T_n и соответствующем ей давлении p_n . Пары рабочего агента поступают из испарителя в абсорбер I и поглощаются абсорбентом, поступающим из генератора III через теплообменник V и детандер VI. Процесс абсорбции рабочего агента абсорбентом происходит при температуре $T_c > T_n$. Выделившаяся при этом теплота смешения Q_a отводится из абсорбера при температуре T_c .

Образовавшийся в абсорбере жидкий раствор подается через теплообменник с помощью насоса II из абсорбера I, находящегося под давлением p_n , в генератор III, находящийся под более высоким давлением p_g . В генераторе происходит выпаривание раствора за счет тепла Q_g , подводимого при температуре T_g . Раствор, поступивший в генератор, разделяется на два потока: паровой поток, получившийся в результате выпаривания рабочего агента, направляющийся в конденсатор IV, и жидкий поток абсорбента, направляющийся через теплообменник V и детандер VI в абсорбер. В теплообменнике абсорбент охлаждается с температуры T_g до температуры T_c , передавая тепло раствору, который поступает из абсорбера в теплообменник с температурой T_c . Пары рабочего агента, поступившие из генератора в конденсатор IV, конденсируются в нем при температуре T_c , при этом из конденсатора отводится тепло Q_k . Жидкий рабочий агент из конденсатора направляется через детандер VII в испаритель.

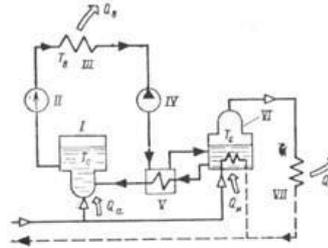


Рис. 5.2. Принципиальная схема идеального расщепляющего абсорбционного трансформатора тепла.

Водяной пар среднего давления с температурой T_c подается в абсорбер I, где он поглощается (адсорбируется) абсорбентом, поступающим из испарителя VI через теплообменник V. Процесс абсорбции происходит экзотермически. В результате абсорбции получается смесь с повышенной температурой. Жидкая смесь насосом II перекачивается в генератор III, в котором тепло от нее передается через поверхность нагрева кипящей воде. В генераторе «вырабатывается» водяной пар с температурой $T_g > T_c$, который отводится для использования. Смесь из генератора подается для выпаривания через детандер IV и теплообменник V в испаритель VI, куда поступает также водяной пар среднего давления, который передает кипящей смеси тепло, а сам конденсируется. В результате выпаривания смесь разделяется на водяной пар и абсорбент. Водяной пар поступает в конденсатор VII и конденсируется при температуре T_n вследствие отдачи тепла Q_n . Абсорбент поступает из испарителя через теплообменник в абсорбер. Конденсат водяного пара возвращается на станцию. Для привода насоса II используется энергия, полученная в детандере IV.

Лекция с текущим контролем (1,5 часа)

4.2

Каскадные рефрижераторные установки.

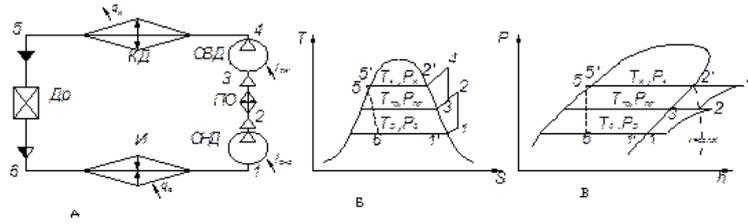


Рис. 5.5 - Двухступенчатая холодильная машина

Двухступенчатая холодильная машина, функциональная схема которой представлена на рисунке 5.5. включает в себя компрессор низкого давления, компрессор высокого давления, промежуточный охладитель, конденсатор, испаритель и дроссельное устройство. Термодинамический цикл в S-T и h-P диаграммах показан на том же рисунке.

Перегретый пар холодильного агента, выходящий из испарителя, поступает на всасывание в компрессор низкого давления. В компрессоре пар адиабатически сжимается в процессе 1-2 от давления кипения P_0 до промежуточного давления $P_{пр}$. При этом затрачивается работа сжатия $l_{сн}$ и температура пара повышается до температуры T_2 . После ступени низкого давления сжатый горячий пар направляется в промежуточный охладитель, где охлаждается при постоянном давлении $P_{пр}$ в процессе 2-3 за счет теплообмена с внешней охлаждающей средой с отводом теплоты промежуточного охлаждения $q_{п.о.}$. В качестве охлаждающей среды в охладителе как правило используется тот же источник охлаждения, что и для конденсатора (вода или воздух). Поэтому температура охлажденного пара после промежуточного охладителя близка к температуре конденсации, т.е. $T_3 \approx T_k$. Далее охлажденный пар всасывается компрессором высокого давления, в котором адиабатически сжимается в процессе 3-4 от промежуточного давления $P_{пр}$ до давления конденсации P_k с затратой работы $l_{св}$. Затем сжатый пар поступает в конденсатор, где охлаждается и конденсируется при постоянном давлении в процессе 4-5, отдавая теплоту конденсации q_k внешней охлаждающей среде. Образовавшаяся жидкость из конденсатора направляется к дроссельному устройству и дросселируется в нем при постоянной энтальпии в процессе 5-6 от давления конденсации P_k до давления кипения P_0 . После дросселирования холодильный агент поступает в испаритель, где жидкость кипит при постоянном давлении P_0 в процессе 6-1' за счет подвода теплоты q_0 от охлаждаемой среды. Пар, образовавшийся при кипении, перегревается в процессе 1'-1, всасывается компрессором низкого давления и цикл повторяется снова.

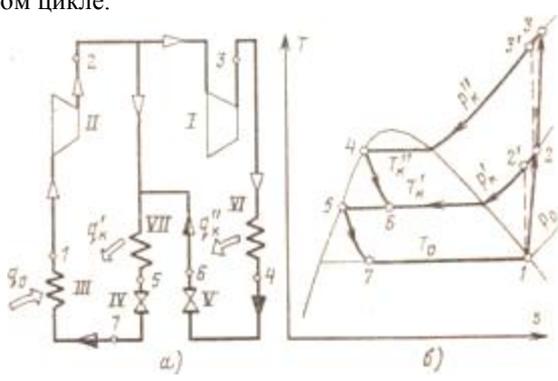
5. Абсорбционные трансформаторы тепла

5.1

Принцип действия идеальных абсорбционных установок и удельный расход тепла в них.

Рабочим веществом в абсорбционных холодильниках служат растворы двух компонентов с различными температурами кипения при одинаковом давлении. Компонент, кипящий при более низкой температуре, выполняет функцию хладагента; второй служит абсорбентом. В области температур от 0 до -45°C применяются машины, где рабочим веществом служит водный раствор аммиака (хладагент - аммиак). При температурах охлаждения выше 0°C преимущественно используют абсорбционные машины, работающие на водном растворе бромида лития (хладагент - вода).

В абсорбционных системах сохраняются конденсатор, дроссельный вентиль и испаритель, но вместо компрессора используются четыре других элемента: абсорбер, насос, парогенератор (кипятильник) и редукционный клапан. Пар из испарителя попадает в абсорбер. Там он соприкасается с абсорбирующей жидкостью, которая поглощает находящийся в паровой фазе хладагент; давление в абсорбере при этом понижается, что обеспечивает непрерывное поступление пара из испарителя. В процессе абсорбции происходит выделение тепла, следовательно, абсорбер должен охлаждаться, например, за счет циркуляции воды. Холодная смесь абсорбирующей жидкости и хладагента поступает в насос, в котором её давление повышается. Поскольку повышение давления жидкости сопровождается лишь незначительным изменением её объема, необходимая для этого работа мала. После выхода из насоса холодная жидкость высокого давления поступает в кипя-

		<p>тильник, где к ней подводится тепло, и большая часть холодильного агента испаряется. Этот умеренно перегретый пар высокого давления проходит через конденсатор и совершает обычный холодильный цикл, а абсорбент охлаждается и возвращается в абсорбер (через редукционный клапан) для повторения цикла. Действительный абсорбционный цикл отличается от идеального тем, что часть абсорбента испаряется в кипятильнике и уносится вместе с парами хладагента. Если его не отделить от хладагента до входа в испаритель, то это приведет к повышению температуры в испарителе, или на практике давление в испарителе будет значительно меньше давления насыщения при той температуре, которая должна быть в испарителе. Отделение абсорбента от хладагента частично происходит в сепараторе, который расположен между конденсатором и кипятильником и служит для конденсации абсорбента и возврата его в кипятильник вместе с небольшим количеством сопутствующего хладагента. Механическая работа абсорбционных холодильных установок значительно меньше, чем компрессионных, однако общие затраты энергии значительно выше. Энергия, которая подводится к кипятильнику, много больше той, которая отводится от абсорбера охлаждающей водой. Там, где электроэнергия дорогая, а тепловая энергия и охлаждающая вода дешевы, абсорбционные установки более выгодны, чем компрессионные. Применение абсорбционных машин весьма выгодно на предприятиях, где имеются вторичные энергоресурсы (отработанный пар, горячая вода, отходящие газы промышленных печей и т.д.).</p>	
5.2	<p>Схема и процесс работы реальных абсорбционных трансформаторов тепла.</p>	<p>1) На рис показаны принципиальная схема и процесс на T, s-диаграмме двухступенчатой теплонасосной установки с двумя ступенями конденсации.</p> <p>Тепло Q₀ от теплоотдатчика вводится в установку на температурном уровне T₀ и выводится из установки на двух разных температурных уровнях: T'к в количестве Q'к и T''к в количестве Q''к.</p> <p>Расход рабочего агента, тепловая нагрузка отдельных аппаратов и энергетическая эффективность двухступенчатой теплонасосной установки рассчитываются, как в рефрижераторных установках.</p> <p>Общий КПД двухступенчатой теплонасосной установки при расчетном режиме</p> $\eta_{\text{стп}} = \frac{\sum \varepsilon_{\text{в}} Q_{\text{в}}}{N'_{\text{э}} + N''_{\text{э}}} = \frac{\sum Q_{\text{ев}}}{N'_{\text{э}} + N''_{\text{э}}}$ <p>где $\varepsilon_{\text{в}}$ — удельный расход электрической энергии на трансформацию тепла в идеальном цикле.</p>  <p>Схема двухступенчатой компрессионной теплонасосной установки (а) и процесс ее работы на T,s-диаграмме (б).</p> <p>2)</p>	

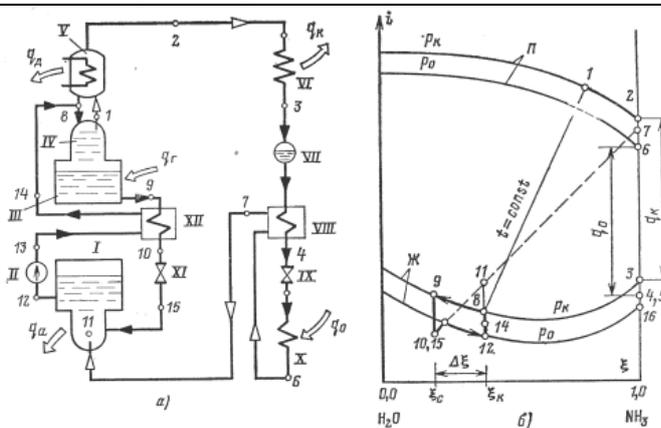


Рис. 5.3. Схема одноступенчатого абсорбционного повышающего трансформатора тепла (а) и процесс его работы на i, ϵ -диаграмме (б).

Абсорбционные трансформаторы тепла выполняются большей частью одноступенчатыми, хотя принципиально осуществимы и многоступенчатые установки.

На рис. 5.3 показаны схема одноступенчатого повысительного абсорбционного трансформатора тепла и процесс его работы на i - ϵ -диаграмме. Использование i - ϵ -диаграммы значительно облегчает расчет и анализ процессов работы абсорбционных трансформаторов тепла. На оси абсцисс i - ϵ -диаграммы отложена массовая концентрация ϵ легкокипящего компонента в растворе, т. е. отношение массы легко- кипящего компонента, обычно рабочего агента, к массе раствора; на оси ординат — удельная энтальпия раствора L . Две верхние пограничные кривые П, нанесенные на рис. 5.3,(5, показывают состояние сухого насыщенного пара над кипящим жидким раствором при двух давлениях: p_k — давление в конденсаторе и p_0 — давление в абсорбере

5.3

Методика расчета одноступенчатых абсорбционных трансформаторов тепла.

Расчет абсорбционной колонны состоит из трех основных стадий:

1. По равновесным соотношениям газ (пар)- жидкость для данной системы определяют количество жидкости, необходимое для поглощения требуемого количества газа, или количество газа, необходимое для десорбции требуемого количества летучего компонента из жидкости.

2. На основании данных по предельным нагрузкам по газу и жидкости аппарата, принятого к расчету, находят необходимую площадь поперечного сечения каналов, через которые проходят паровой и жидкостной потоки.

3. На равновесных данных и материальном балансе базируется расчет числа равновесных ступеней контакта, необходимых для заданного (переноса) разделения. Сложность разделения обусловлена тем, какая степень извлечения наиболее желательна с точки зрения экономики. А, именно, требуемое время контакта между взаимодействующими потоками или необходимая высота колонны могут быть рассчитаны, если данные по скорости переноса массы между газовой и жидкими фазами представлены в виде КПД тарелки или высоты единицы переноса массы.

При абсорбции необходимо знать растворимость газов в воде.

Для того чтобы найти коэффициент растворимости газов в жидкости, обычно необходимо определить температуру, равновесное парциальное давление растворяемого газа в газовой фазе и концентрацию растворяемого газа в жидкой фазе. Строго говоря, должно быть установлено общее давление системы и парциальное давление растворимого газа, но в тех случаях, когда общее давление невелико — не выше 0,5 МПа. Тогда можно с уверенностью считать, что растворимость не зависит от общего давления системы и можно вычислить ее по одному парциальному давлению растворяемого газа.

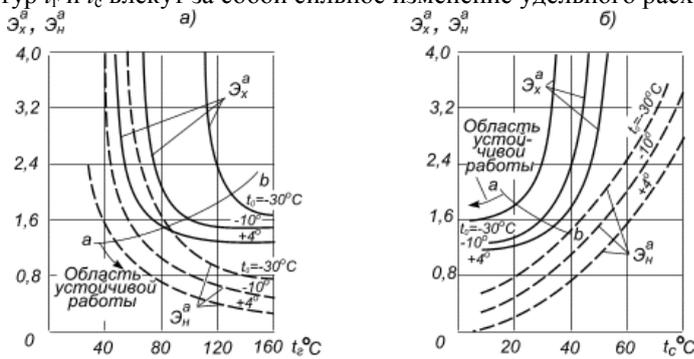
Например, растворимость аммиака при 300С и парциальном давлении NH_3 260 мм рт. ст. составляет 20 кг NH_3 на 100 кг H_2O . Этот метод применяется к системам, для которых не соблюдается закон Генри.

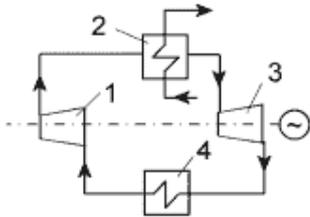
При проектировании абсорбционной установки необходимо определить:

1. Скорость газового потока.

2. Состав газа, по крайней мере, в отношении абсорбируемых компонен-

Лекция с текущим контролем (1,5 часа)

		<p>тов.</p> <p>3.Общее давление процесса и допустимые потери давления в абсорбере.</p> <p>4.Минимальную степень извлечения абсорбируемых веществ.</p> <p>5.Тип растворителя.</p> <p>Минимально допустимую скорость жидкости легко рассчитать исходя из состава входящего газа и растворимости его в выходящем растворе для условий насыщения.</p> <p>Действительное отношение жидкость-газ больше минимально допустимого на 25-100%, его выбирают из экономических соображений.</p> <p>Минимальная скорость орошения для кольцевой насадки крупнее 75×75 мм рекомендуется не менее 0,08 мЗ/(ч м); для других насадок минимальную скорость орошения вычисляют как $V_{ж}/a$, где $V_{ж}$ – общий поток жидкости м³/(ч м²) поперечного сечения колонны и a – удельная поверхность насадки, м².</p>	
5.4	<p>Зависимость удельного расхода энергии в абсорбционных установках от параметров генерации, испарения и охлаждения.</p>	<p>Зависимости удельного расхода энергии в форме тепла для идеальной абсорбционной холодильной установки $\dot{\epsilon}_H^a$ (штриховые линии) и для действительной одноступенчатой аммиачной абсорбционной холодильной установки с регенерацией тепла (рис.7.2) $\dot{\epsilon}_X^a$ (сплошные линии) на рис.7.4,а получены при трех значениях температур $t_0=4, -10$ и -30 °С. Под температурой генерации t_r понимается температура слабого раствора на выходе из генератора. Все кривые относятся к одной и той же температуре конденсации и абсорбции $t_k = t_{аб} = 30$ °С.</p> <p>На рис.7.4,б приведены зависимости удельного расхода тепла от температуры охлаждения t_c при тех же температурах испарения $t_0=4, -10$ и -30 °С и температуре генерации $t_r=120$ °С.</p> <p>Все зависимости имеют форму гипербол.</p> <p>Как видно из рис. 7.4,а, при повышении температуры генерации t_r удельный расход энергии $\dot{\epsilon}_X^a$ сначала сильно снижается, затем это снижение слабеет и зависимость переходит в почти горизонтальную прямую.</p> <p>Таким образом все поле режимов можно условно разделить на две области: сильных зависимостей $\dot{\epsilon}^a=f_1(t_r)$ и $\dot{\epsilon}^a=f_2(t_c)$ и слабых зависимостей тех же величин. Линию $a-b$ можно считать границей устойчивой работы установки. При сильных зависимостях режимы неустойчивы, т.к. малые изменения температур t_r и t_c влекут за собой сильное изменение удельного расхода.</p>  <p>Рис. 7.4. Зависимость удельного расхода теплоты в абсорбционных водоаммиачных холодильных идеальных $\dot{\epsilon}_H^a$ (штриховые линии) и реальных $\dot{\epsilon}_X^a$ (сплошные линии) установках от температур:</p> <p>а) генерации t_r и испарения t_0, при температуре охлаждения $t_c=t_k=t_{аб}=30$ °С;</p> <p>б) охлаждения t_c и испарения t_0, при температуре генерации $t_r=120$ °С.</p> <p>При устойчивом режиме изменение указанных температур не сказывается существенно на производительности и удельном расходе энергии уста-</p>	<p>Лекция – презентация (1 час)</p>

		новки.	
6.	Струйные трансформаторы тепла		
6.1	<p>Типы струйных трансформаторов тепла. Газодинамические функции. Принципиальная схема и КПД струйного компрессора.</p>	<p>Устройства, служащие для переноса тепловой энергии от тела с более низкой температурой T_n (теплоотдача) к телу с более высокой температурой T_b (теплоприемнику), называются трансформаторами тепла. Чтобы осуществить такое преобразование тепла, необходимо затратить внешнюю энергию: механическую, электрическую, химическую и др. В зависимости от того, на каком температурном уровне по отношению к температуре окружающей среды T_0 работают трансформаторы тепла, они подразделяются на холодильные (криогенные) и теплонасосные установки.</p> <p>По принципу работы трансформаторы подразделяются на компрессионные (паровые и газовые), сорбционные, струйные, термоэлектрические и магнитные установки.</p> <p>Установки для трансформации тепла различаются по следующим признакам: 1) по принципу работы; 2) по виду цикла; 3) по характеру трансформации; 4) по периодичности.</p> <p>По виду осуществляемого процесса различают трансформаторы тепла, работающие по замкнутому циклу и разомкнутому процессу. В первой группе рабочий агент циркулирует в замкнутом контуре (паровые компрессорные, абсорбционные и некоторые газовые и струйные эжекторные установки). Во второй - агент при работе полностью или частично выводится из установки (в виде полезного продукта или отхода). Взамен отведенного в установку подается такое же количество рабочего агента извне. По разомкнутому процессу работают установки для ожижения и замораживания газов и в ряде случаев газовые компрессионные и струйные установки.</p> <p>По характеру трансформации различают повысительные и расщепительные установки. В установках, работающих по повысительной схеме, подведенное низкопотенциальное тепло преобразуется в высокопотенциальное; по этой схеме работает большинство холодильных, теплонасосных и комбинированных установок. В расщепительных схемах поток тепла среднего потенциала расщепляется на два потока тепла - низкого и повышенного потенциала. Работа установки осуществляется за счет энергии теплового потока среднего потенциала. По расщепительной схеме работают струйные вихревые установки и некоторые типы компрессионных и абсорбционных установок.</p> <p>По периодичности работы различают трансформаторы тепла непрерывного и периодического действия. Установки периодического действия применяются для некоторых типов трансформаторов тепла (абсорбционные установки) небольшой производительности. Они могут быть выполнены с меньшим числом элементов оборудования благодаря возможности совмещения функций отдельных элементов установки в одном аппарате.</p>	Лекция – прессконференция (3 часа)
7.	Газовые трансформаторы тепла		
7.1	<p>Особенности процессов в газовых трансформаторах тепла. Идеальные газовые циклы со стационарными процессами.</p>	<p>Газовые - такие установки, в которых рабочее тело во всех процессах остаётся в газообразном состоянии.</p>  <p>Рис. 4. Схема газовой компрессионной холодильной машины.</p> <p>Газовые компрессионные холодильные машины. В воздушных холодильных машинах получение низких температур осуществляется за счет адиабатного расширения воздуха при совершении внешней работы. Схема работы идеальной воздушной холодильной машины приведена на рис. Воздух из охлаждаемого помещения 4 при температуре T_1 засасывается компрессором 1 и после адиабатного сжатия до давления p_1 подается в охладитель 2, где охлаждается водой при постоянном давлении. Затем сжатый охлажденный воздух поступает в детандер 3 (расширитель), где совершает полезную работу при адиабатном расширении до первоначального давления p_0.</p> <p>В газовых компрессионных холодильных машинах рабочее тело во всех процессах остаётся в газообразном состоянии. Наиболее распространены из них воздушные и гелиевые. Установки такого типа практически не приме-</p>	

		<p>няются из-за их неэкономичности и больших расходов воздуха (т. к. этот хладоноситель обладает малой теплоёмкостью), что делает установку громоздкой и повышает её стоимость.</p>	
7.2	<p>Реальные газовые циклы и квазициклы со стационарными процессами.</p>	<p>Расчеты воздухосжижительных установок с детандерами в СПО показывают, что для достижения максимальных КПД во всех вариантах параметров, необходимо поддерживать оптимальное соотношение между давлением цикла (P_m) и температурой воздуха перед детандером (T_8).</p> <p>Чем выше применяемое давление, тем выше должна быть температура T_8 и меньше доля отводимого на детандер воздуха M. Например, при $P_m \geq 20$ МПа в детандер следует отводить воздух с $T_8 > 273$ К и $M \leq 0,5$.</p> <p>Эту особенность заметил немецкий физик П. Гейландт. Это позволило ему в 1906 г. создать высокоэффективную установку с детандером высокого давления. Преимущество этой установки в том, что детандер работает при сравнительно высоких температурах и не требует сложной конструкции и теплоизоляции.</p> <p>Схема и квазицикл такой установки приведен на рис. 3.4.</p> <p>Рис.3.4. Схема и квазицикл воздухосжижительной установки высокого давления с высокотемпературным детандером (процесс П. Гейландта)</p> <p>Рабочий процесс в этой установке протекает аналогично установке Клода: 1-2 – изотермическое сжатие; 8-10 – расширение части воздуха (M, кг) в детандере; 8-3 – охлаждение остальной части воздуха ($1-M$, кг) в теплообменниках СПО; 3-4 – дросселирование с P_m до P_n; 4-5-6 – сепарация влажного пара (воздуха); 6-11 – подогрев паров (воздуха) в ТОIV; 10-11 – смешивание потоков; 11-7 – регенеративный подогрев уходящего воздуха в ТОIII.</p> <p>Расчет производительности и КПД установки осуществляется по тем же формулам (3.10 и 3.11), с учетом изменения индексов в характерных точках схемы.</p>	
7.3	<p>Газовые циклы и установки с нестационарными процессами.</p>	<p>Все рассмотренные выше газовые обратные циклы и квазициклы характеризовались стационарным протеканием основных процессов/в. В каждой точке такого цикла все параметры постоянны во времени, и их изменение происходит только при переходе рабочего тела из одной точки в другую. В последнее время разработаны и нашли практическое применение газовые циклы и квазициклы, основанные лишь на процессах с нестационарными потоками. В установках, созданных на основе таких циклов, параметры рабочего тела меняются не только при переходе от одной точки в другую, но и в каждой точке во времени, возвращаясь в конце каждого машинного цикла в исходное состояние.</p> <p>Изображение таких процессов на диаграммах состояния теми же способами, как стационарных, невозможно; их изображают на диаграммах так же, как и другие процессы периодического вида, например, в цилиндрах детандеров или компрессоров. На диаграмму наносят изменения во времени нужных параметров в течение цикла для одной или нескольких характерных точек. Для установок с нестационарными процессами характерны некоторые важные особенности. Они определяются в значительной степени характером внутреннего регенеративного теплообмена в СПО. В газовом трансформаторе тепла со стационарными потоками R_s такой теплообмен может проводиться либо в рекуперативном теплообменнике, либо в переключающихся двух (или большем числе) регенераторах. В системах с нестационарными потоками R_n используется один регенератор, по которому прямой и обратный потоки пропускаются поочередно. Для работы рефрижератора любой из этих трех систем необходимо прежде всего сочетание процессов сжатия рабочего тела при $T_{0,с}$ с отводом тепла $Q_{0,св}$ окружающую среду с</p>	<p>Лекция с текущим контролем (1 час)</p>

		<p>расширением при $\Gamma < \Gamma_0$ и подводом тепла Q_0 от криостатируемого объекта, В первых двух схемах сжатие и расширение производятся непрерывно и раздельно -- сжатие в (компрессоре (СПТ),а расширение в детандере (СОО).В рефрижераторе с нестационарными потоками сжатие и расширение происходят периодически, поочередно. При этом как сжатие, так и расширение производится во всех ступенях, составляющих общий объем, одновременно. Поэтому в такой системе для сжатия необходимо, чтобы суммарный объем системы уменьшился, а для расширения, чтобы увеличился. Этого можно достигнуть перемещением поршня в теплом VI (СПТ)или холодном VII(СОО)цилиндре или одновременным их перемещением. Наиболее эффективной была бы такая организация процессов, при которой весь газ во время сжатия находился бы в СПТ(теплый цилиндр VI),затем пропусклся для охлаждения через регенератор IX,после чего весь расширялся в СОО±СИО (холодном цилиндре VII),пропусклся через регенератор при низком давлении, нагревался и возвращался в СПТ. Полностью соблюсти на практике это условие невозможно, так как в каждой фазе процесса нельзя собрать весь газ в одном цилиндре или регенераторе. Часть газа неизбежно должна находиться в свободном объеме регенератора, коммуникациях или другом цилиндре.</p>	
--	--	--	--

4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интер- активной, актив- ной, инновацион- ной формах, (час.)</i>
1	2.	Исследование цикла парокомпрессионной холодильной установки	4	Компьютерная презентация (1 час)
2	3.	Тепловой баланс фреоновой компрессионной холодильной установки	4	Компьютерная презентация (1 час)
3	3.	Исследование режимов работы кондиционера в летних условиях	2	Компьютерная презентация (0,5 часа)
4	3.	Исследование режимов работы кондиционера в зимних условиях	2	Компьютерная презентация (0,5 часа)
ИТОГО			12	3

4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование тем практических занятий</i>	<i>Объ- ем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерак- тивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	3.	Расчёт одноступенчатой парокомпрессионной холодильной машины.	4	тренинг (1 час)
2	4.	Расчёт 2-х ступенчатой парокомпрессионной холодильной машины.	6	тренинг (1 час)
3	5.	Расчёт абсорбционной холодильной машины.	2	тренинг (1 час)
ИТОГО			12	3

4.5. Контрольные мероприятия: контрольная работа.

Цель работы. Контрольная работа выполняется с целью закрепления знаний, полученных в процессе изучения дисциплины.

Основная тематика. Тематика контрольной работы связана с проработкой таких тем как: расчёт одноступенчатой парокомпрессионной холодильной машины; расчёт 2-х ступенчатой парокомпрессионной холодильной машины; расчёт абсорбционной холодильной машины.

Рекомендуемый объем работы: Бакалаврам по учебному плану необходимо выполнить контрольную работу. Вариант контрольной работы определяется двумя последними цифрами зачетной книжки. При этом в каждом задании часть исходных данных выбирается по последней цифре шифра, а часть – по предпоследней.

В конце работы необходимо привести список использованной литературы, в самом тексте контрольной работы дать ссылки на соответствующие источники.

Выдача задания, прием контрольной работы проводится в соответствии с календарным учебным графиком.

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		<i>Σ комп</i>	<i>тср, час</i>	<i>Вид учебной работы</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ПК</i>					
			<i>9</i>	<i>10</i>				
1	2	3	4	5	6	7	8	
1. Назначение трансформаторов тепла		7	+	-	1	7	Лк, СРС	экзамен
2. Термодинамические основы процессов трансформации тепла		16	+	+	2	8	Лк, ЛР, СРС	экзамен
3. Одноступенчатые парокompрессионные трансформаторы тепла		25	+	+	2	12,5	Лк, ЛР, ПЗ, СРС	экзамен, Кр
4. Многоступенчатые холодильные установки		19	-	+	1	19	Лк, ПЗ, СРС,	экзамен, Кр
5. Абсорбционные трансформаторы тепла		15	-	+	1	15	Лк, ПЗ, СРС,	экзамен, Кр
6. Струйные трансформаторы тепла		13	-	+	1	13	Лк, СРС,	экзамен
7. Газовые трансформаторы тепла		13	-	+	1	13	Лк, СРС,	экзамен
<i>всего часов</i>		108	27,5	80,5	2	54	-	-

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок : учебник для вузов / К. Э. Аронсон, А. Ю. Рябчиков [et al.]. - Москва : МЭИ, 2008. - 480 с. - ISBN 9785383000793.

2. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника : справочник / Под ред. А.В. Клименко. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : МЭИ, 2004. - 632 с. - (Теплоэнергетика и теплотехника. Кн.4). - ISBN 5704605141

3. Тестовые и контрольные задания. В 4 ч. / Под ред. С. В. Белокобыльского. - Братск : БрГУ, 2005. Ч.4 : Специальные дисциплины и дисциплины специализации. - 158 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование издания	Вид занятия	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
Основная литература				
1.	Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок : учебник для вузов / В. Л. Иванов [и др.] ; Под ред. А. И. Леонтьева. - Москва : Машиностроение, 2006. - 592 с. - ISBN 570382138x	Лк, ПЗ, ЛР	30	1
2.	Федяева, В. Н. Основы трансформации тепла. Тепломассообменное оборудование предприятий. Генераторы холода : учебное пособие / В. Н. Федяева, А. А. Федяев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Братск : БрГУ, 2012. - 178 с. - ISBN 978-5-8166-0362-1	Лк, ПЗ, ЛР	76	1
3.	Федяева, В. Н. Тепломассообменное оборудование предприятий. Расчет одноступенчатой парокомпрессионной (абсорбционной) холодильной установки : учебное пособие / В. Н. Федяева, А. А. Федяев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Братск : БрГУ, 2008. - 102 с	Лк, ПЗ, ЛР	148	1
Дополнительная литература				
4.	Полевой, А. А. Монтаж холодильных установок : учеб. пособие для вузов / А. А. Полевой. - Санкт-Петербург : Политехника, 2005. - 259 с. - (Учебное пособие для вузов). - ISBN 5732508120	Лк, ПЗ, ЛР	5	0,5
5.	Цуранов, О. А. Холодильная техника и технология : учебник для вузов / О. А. Цуранов, А. Г. Крысин. - Санкт-Петербург : Питер, 2004. - 448 с. - (Учебник для вузов). - ISBN 5947239655	Лк, ПЗ, ЛР	5	0,5
6.	Назмеев, Ю. Г. Теплообменные аппараты ТЭС : учебное пособие для вузов / Ю. Г. Назмеев, В. М. Лавыгин. - 2-е изд., перераб. - М. : МЭИ, 2002. - 260 с. - ISBN 5704608884	Лк, ПЗ, ЛР	20	1
7.	Бакластов, А. М. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок : учеб. пособие для вузов / А. М. Бакластов, В. А. Горбенко, П. Г. Удыма. - Москва : Энергоатомиздат, 1981	Лк, ПЗ, ЛР	48	1
8.	Соколов, Е. Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения : учебное пособие / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский. - 2-е изд., перераб. - М. : Энергоиздат, 1981	Лк, ПЗ, ЛР	12	1
9.	Лебедев, П. Д. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий. Курсовое проектирование / П. Д. Лебедев, А. А. Щукин. - Москва : Энергия, 1970. - 408 с.	Лк, ПЗ, ЛР, Кр	8	0,6
10.	Данилов, О. Л. Вторичные энергоресурсы. Тепломассообменное оборудование предприятий : учебно-методическое пособие / О. Л. Данилов, В. Н. Федяева. - Братск : БрГУ, 2004. - 118 с.	Лк, ПЗ, ЛР, Кр	99	1
11.	Федяев, А. А. Промышленные теплоэнергетические системы : лабораторный практикум / А. А. Федяев. - Братск : БрГТУ, 2003. - 162 с. - ISBN 5816600974	Лк, ПЗ, ЛР	81	1

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО - ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ
http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ
<http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»
<http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»
<http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"
<http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)
<https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных и практических работ

Рекомендуемые источники литературы, необходимые при выполнении лабораторных и практических работ указаны в п.7 (основная [1-3] и дополнительная [4-11]).

Лабораторная работа № 1

Исследование цикла парокомпрессионной холодильной установки

Цель работы:

Практическое ознакомление с работой холодильного агрегата, экспериментальное определение холодопроизводительности при заданных условиях, холодильного коэффициента, а так же приобретение практических навыков при работе с lgP-h–диаграммой и построение на ней реальных процессов, протекающих при работе лабораторной установки.

Содержание работы и используемое оборудование

Опытная установка (рисунок 1) включает следующие узлы и приборы: электрокомпрессор 1, конденсатор 2, дроссель 3, испаритель 4, а так же манометр 5 и 6 и датчики температуры t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5 (термопары ХК), подключены через переключатель 7 к потенциометру 8. Стенд создан на базе агрегата бытового холодильника.

Компрессор 1 всасывает пар при давлении P_1 и температуре t_1 из испарителя 4, сжимает его до более высоких параметров – давления P_2 и температуры t_2 и подает в конденсатор 2. Давление хладагента во всасывающей линии компрессора 1 измеряется манометром 6, а в нагнетательной линии - манометром 5. Температура пара перед компрессором t_1 и после компрессора t_2 измеряется первой и второй термопарами соответственно. Конденсатор 2 установки охлаждается комнатным воздухом. Попадая в конденсатор 2, пары хладагента кон-

денсироваться. Температура жидкого хладона перед дросселем t_3 измеряется третьей термопарой. При прохождении хладона через дроссель уменьшается его давление до P_1 , и понижается температура до t_5 . Образовавшаяся в результате дросселирования парожидкостная смесь поступает в испаритель. Так как температура холодильного агента, находящегося в испарителе, ниже температуры окружающего его воздуха, то вследствие подвода тепла происходит процесс парообразования и перегрева пара по мере продвижения хладагента по каналам испарителя. На выходе из испарителя перегретый пар с температурой t_x по всасывающему трубопроводу поступает в компрессор. Для снижения необратимых потерь при дросселировании всасывающий трубопровод конструктивно объединен с капиллярной трубкой, выполняющей роль дроссельного устройства. Таким образом, обеспечивается процесс регенерации тепла в цикле.

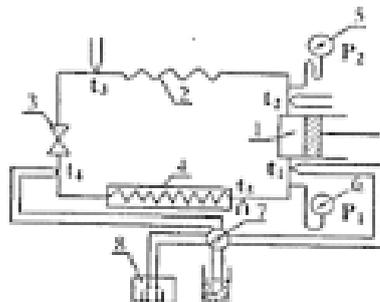


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки.

Порядок выполнения работы:

Перед началом работы студенты должны ознакомиться с расположением приборов на стенде и заготовить форму протокола для измерений.

По показаниям приборов включенной установки ведется наблюдение за процессом установления стационарного режима ее работы: через каждые 4 - 5 минут определяют значение температуры в узловых точках 1-5 (рисунок 1), подключая последовательно соответствующие термопары к потенциометру 8 с помощью переключателя 7, одновременно регистрируя показания манометров 5 и 6. Стационарный режим будет достигнут. Когда одни и те же значения температуры в каждой исследуемой точке повторяется 2-3 раза, т.е. перестанут изменяться с течением времени.

Значение температуры и давления для стационарного режима используются для последующего построения цикла холодильной установки в T-S- и lgP-h – диаграммах. Полученные экспериментальные данные заносятся в форму таблицы 1.

По окончании опыта необходимо отключить установку.

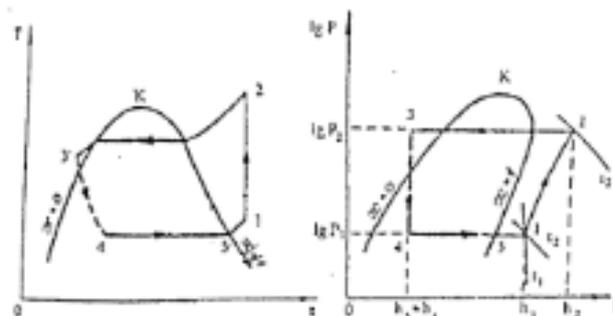


Рисунок 2 – Процессы работы парокompрессионной холодильной машины в диаграммах T-S, lgP-h.

Обработка результатов измерений:

Для построения рабочего цикла в парокompрессионной холодильной установке диаграмме lgP-h определить энтальпию h в узловых точках 1 - 5 по опытным значениям температуры

и давления в этих точках, а также необходимые параметры состояния рабочего агента - по таблице 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента

№ п/п	Давление P, МПа	Температура t °С	Энтальпия h, кДж/кг	Энтропия s кДж/Кг·град	Удельный объем V, м ³ /кг	Состояние
1	0,13	-18	575,3	4,9	0,80	пп
2	0,6	45	589	4,9	0,08	пп
2'	0,6	30	572	4,6	0,1	снп
3	0,6	30	420	4,15	0	Ж
4	0,13	-35,5	420	4,17	1.4	вп
5	0,13	-35,5	557	4,6	1.4	снп

Рассчитать работу, затрачиваемую на привод компрессора Π по формуле (3), подведенное тепло q_0 по формуле (4), отведенное тепло q_1 по формуле (1).

Проверить соответствие построенного цикла первому закону термодинамики:

$$q_1 = q_0 + l_{\text{ц}}$$

По формуле (5) вычислить холодильный коэффициент ϵ .

Задания для самостоятельной работы:

1. Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.
2. Письменно ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что такое обратный тепловой цикл?
2. Принцип действия парокompрессионные холодильные установки?
3. Что такое холодильный коэффициент?
4. Чем характеризуется эффективность цикла холодильной установки?

Лабораторная работа № 2

Тепловой баланс фреоновой компрессионной холодильной установки

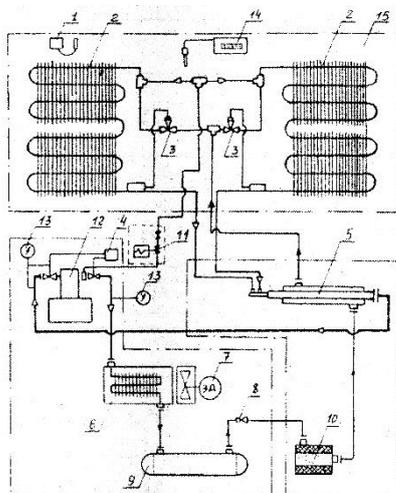
Цель работы:

Практическое ознакомление с работой холодильной установки, а также экспериментальное определение холодильного коэффициента и составление теплового баланса холодильной установки.

Содержание работы и используемое оборудование

В схеме холодильной машины МВВ4-1-2, используемой в данной работе компрессор 12 сжимает пары холодильного агента до давления конденсации и нагнетает их в конденсатор 6, где горячие пары холодильного агента охлаждаются и конденсируются. Из конденсатора жидкий агент через осушитель-фильтр 10 подается в теплообменник 5, где переохлаждается за счет теплообмена с парами агента, отсасываемыми компрессором из испарителей 2. В

осушителе-фильтре агент очищается от механических примесей и осушается. Из теплообменника агент по жидкостной магистрали подается к терморегулирующим вентилям 3 камеры охлаждения. В терморегулирующих вентилях холодильный агент дросселируется от давления конденсации до давления кипения. Поступивший в испаритель холодильный агент кипит, отнимая тепло от окружающей среды, т.е. от воздуха холодильной камеры 15. Образующиеся в процессе кипения пары холодильного агента отбираются из испарителей 2 компрессором и цикл повторяется.



1 – датчик (реле температуры); 2 – испаритель; 3 – вентиль терморегулирующий; 4 – реле давления; 5 – теплообменник; 6 – конденсатор; 7 – электродвигатель; 8 – вентиль запорный; 9 – ресивер; 10 – осушитель-фильтр; 11 – вентиль мембранный с электромагнитным приводом; 12 – компрессор; 13 – манометр; 14 – датчик температуры с регистрирующим прибором; 15 – холодильная камера

Рисунок 2.1 – Принципиальная схема холодильной машины MBV4-1-2.

Порядок выполнения работы:

Перед началом работы студенты должны ознакомиться с расположением приборов на стенде и заготовить форму протокола для измерений.

По показаниям приборов включенной установки ведется наблюдение за процессом установления стационарного режима ее работы: через каждые 4 - 5 минут определяют значение температуры в узловых точках 1-5 (рисунок 1), подключая последовательно соответствующие термпары к потенциометру 8 с помощью переключателя 7, одновременно регистрируя показания манометров 5 и 6. Стационарный режим будет достигнут. Когда одни и те же значения температуры в каждой исследуемой точке повторятся 2-3 раза, т.е. перестанут изменяться с течением времени.

Значение температуры и давления для стационарного режима используются для построения цикла холодильной установки в T-S- и lgP-h – диаграммах. Полученные экспериментальные данные заносятся в форму таблицы 1.

По окончании опыта необходимо отключить установку.

Обработка результатов измерений:

Основные термодинамические свойства хладагентов характеризуются параметрами: нормальная температура кипения T_s , критические параметры – давление $P_{кр}$, температура $T_{кр}$; температура тройной точки $T_{тт}$.

Цикл паровой компрессионной холодильной установки с одноступенчатым сжатием характеризуется так называемым "сухим ходом" компрессора (перегревом пара при сжатии), переохлаждением жидкого рабочего агента после конденсации пара и испарением пара, засасываемого компрессором. Согласно схеме одноступенчатой холодильной установки процессы, происходящие с рабочими веществами в этой установке, изображают на энтропийной T-S и энтальпийной lgP-h диаграммах.

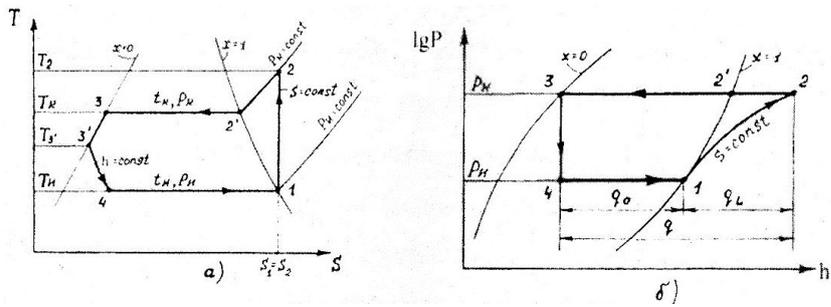


Рисунок 2.2 – Цикл холодильной установки в координатах T-S (а) и lgP-h (б).

1-2 – адиабатное сжатие в компрессоре сухого насыщенного пара от давления испарения $P_{и}$ до давления конденсации $P_{к}$;

2-2' – (изобара $P_{к} = \text{const}$) – охлаждение в конденсаторе сжатого перегретого пара до температуры насыщения ($x = 1$);

2'-3 – (изотерма $T_{к} = \text{const}$ и изобара $P_{к} = \text{const}$) – конденсация пара в конденсаторе за счет отвода тепла охлаждающим воде или воздуху. Если в схеме предусмотрен предохранитель, то переохлаждение холодильного агента компенсирует потери при дросселировании и увеличивает холодопроизводительность установки;

3- 4 (3'-4) – изоэнтальпа – дросселирование в регулирующем вентиле с падением давления и температуры;

4- 1 – (изотерма $T_{и} = \text{const}$ и изобара $P_{и} = \text{const}$) – испарение холодильного агента в испарителе за счет подвода тепла от охлаждаемого тела.

Таблица результатов.

Таблица 1

№ пп	$P_{и}, \text{кгс/см}^2$	$P_{к}, \text{кгс/см}^2$	$t_{и}, ^\circ\text{C}$	$t_{ос}, ^\circ\text{C}$
1			-15	20
2			-22	22
Среднее значение			-18,5	21

№	P, МПа	h, кДж/кг	t, °C	S, кДж/кг·гр	U, м ³ /К	Состояние
1	3,2	1700	0	1,77	0,07	Сухой насыщенный пар
2	4,1	1840	15	1,77	0,06	Перегретый пар
2'	15	1700	55	1,71	0,02	Сухой насыщенный пар
3	15	416	21	0	0,01	Насыщенная жидкость
3'	9	276	7	0	0,01	Насыщенная жидкость
4	3,2	235	-28,5	0,22	0,02	Влажный пар

№	P, МПа	h, кДж/кг	t, °C	S, кДж/кг·гр	U, м ³ /К	Состояние
1	3,2	1700	0	1,77	0,07	Сухой насыщенный пар
2	17	1920	80	1,73	0,014	Сухой насыщенный пар
2'	121	1700	27	1,71	0,02	Насыщенная жидкость
3	15	409	21	0	0,01	Жидкость
3'	9	235	7	0	0,02	Насыщенная жидкость
4	3,2	235	-28,5	0,22		Влажный пар

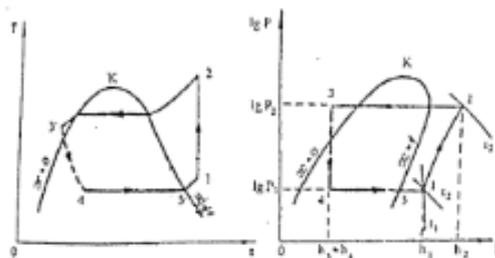


Рисунок 2.3 – Рабочий цикл холодильной установки в T-S диаграмме.

Определяется теоретический холодильный коэффициент установки:

$$\xi_{\text{теор}} = \frac{T_{\text{И}}}{T_{\text{К}} - T_{\text{И}}}$$

Определяется удельная холодопроизводительность установки:

$$q_0 = h_1 - h_4$$

Определяется удельное количество тепла, отдаваемое фреоном в конденсаторе:

$$q_k = h_d - h_3$$

Определяется удельное количество тепла, отнятое от рабочего агента в переохладителе:

$$q_{\text{по}} = h_3 - h'_3$$

Рассчитывается действительная энтальпия сжатия в компрессоре:

$$h_d = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{\xi_1 \cdot \xi_{\text{эм}}}$$

Составим тепловой баланс холодильной машины:

$$l'_{\text{МКЭ}} = h_d - h_1$$

$$q_0 + l'_{\text{МКЭ}} = q_k + q_{\text{по}}$$

Задания для самостоятельной работы:

1. Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.
2. Письменно ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что такое искусственное охлаждение?
2. Охарактеризовать теоретический цикл Карно.
3. Что характеризует холодильный коэффициент?
4. Описать принцип работы паровой компрессионной установки.

Лабораторная работа № 3

Исследование режимов работы кондиционера в летних условиях

Цель работы:

Провести исследование режима работы кондиционера в летних и зимних условиях.

Содержание работы и используемое оборудование

Кондиционер – устройство для поддержания оптимальных климатических условий в квартирах, домах, офисах, автомобилях а также для очистки воздуха в помещении от нежелательных частиц. Предназначен для снижения температуры воздуха при жаре, или (реже) – повышение температуры воздуха в холодное время года в помещении.

Основное время эксплуатации кондиционера - лето, так как это и есть самое жаркое время года. В других странах, расположенных на южных широтах, где практически

круглый год высокая температура, они работают круглогодично. Но в России это время ограничено от 90 до 120 дней, в самый теплый сезон.



Рисунок 1 – Работа кондиционера в режиме охлаждения.

Испаряясь, хладагент отбирает тепло. И наоборот, конденсируясь (превращаясь из газообразного состояния обратно в жидкость), вещество отдает тепло.

Когда кондиционер работает в режиме обогрева, хладагент конденсируется в теплообменнике внутреннего блока, а испаряется в наружном.

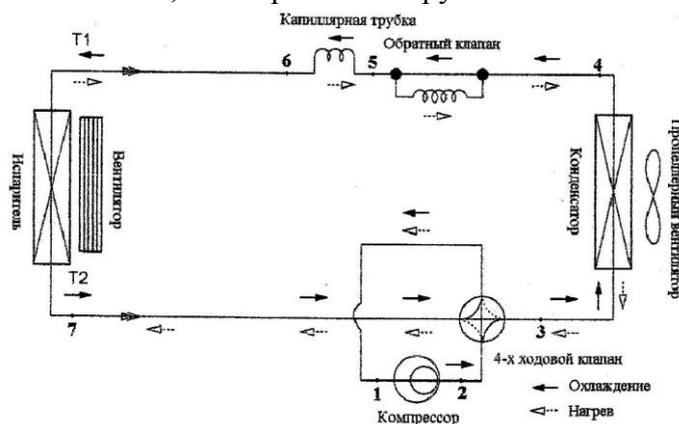


Рисунок 2 – Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха (СКВ).

Порядок выполнения работы:

Перед началом работы студенты должны ознакомиться с расположением приборов на стенде и заготовить форму протокола для измерений.

Рассмотрим цикл парокомпрессионной холодильной установки. Работа, затрачиваемая на привод компрессора, определяется адиабатным сжатием хладагента:

$$L_{ц} = h_2 - h_1$$

Подводимое к хладагенту в охлаждаемом объеме тепло рассчитывается так:

$$q_0 = h_1 - h_6$$

Для характеристики эффективности работы цикла любой холодильной установки применяется так называемый коэффициент трансформации тепла ϵ , определяется следующим образом:

$$\epsilon = \frac{L_{ц}}{q_0}$$

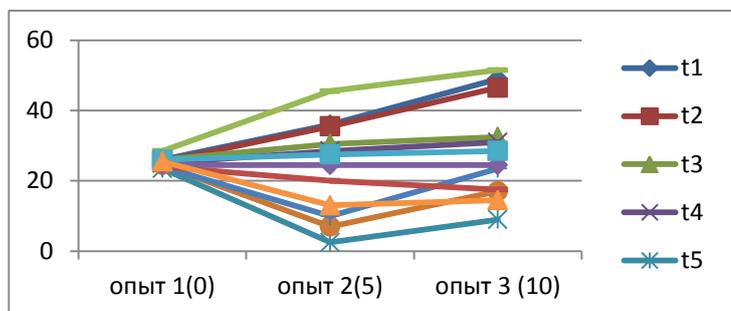
Чем выше значение ϵ , тем эффективнее цикл холодильной установки, то есть тем меньшую работу $L_{ц}$ нужно затратить, чтобы отвести от охлаждаемого тела (холодного источника) одно и тоже количество тепла q_0 .

По окончании опыта необходимо отключить установку.

Обработка результатов измерений:

Таблица 1 – Экспериментальные данные.

	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
T(время)	0	5(10)	10(20)
t_1			
t_2			
t_3			
t_4			
t_5			
t_6			
t_7			
t_8			
t_9			
t_{10}			
t_{11}			
t_{12}			
f_1			
f_2			
f_3			
P_1			
P_2			



t_1 – на входе в компрессор; t_2 – на выходе из компрессора; t_3 – после четырех ходового клапана, на входе в конденсатор; t_4 – выходе из конденсатора; t_5 – на входе в капиллярную трубку после обратного клапана; t_6 – на выходе из капилляра, перед входом в испаритель; t_7 – на выходе из испарителя.

Рисунок 1 – График зависимости температуры от времени.

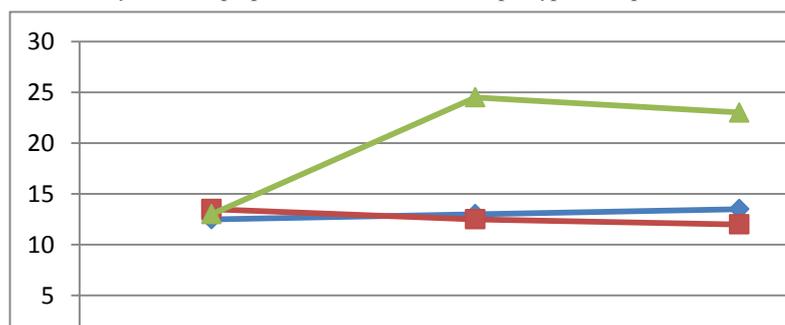


Рисунок 2 – График влажности воздуха от времени

Таблица 2

Параметры состояния хладагента в характерных точках цикла.

№ точки	P, МПа	t, °C	h, кДж/кг	S, кДж/(кг·К)	Состояние
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Задания для самостоятельной работы:

1. Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.
2. Письменно ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что такое кондиционер?
2. Принцип работы кондиционера в летний период.
3. Что такое хладагент?

Лабораторная работа № 4

Исследование режимов работы кондиционера в зимних условиях

Цель работы:

Провести исследование режима работы кондиционера в летних и зимних условиях.

Содержание работы и используемое оборудование

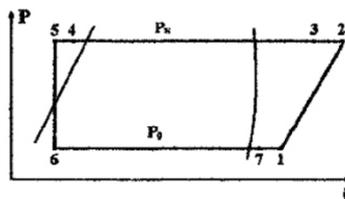
Кондиционер – устройство для поддержания оптимальных климатических условий в квартирах, домах, офисах, автомобилях а также для очистки воздуха в помещении от нежелательных частиц. Предназначен для снижения температуры воздуха при жаре, или (реже) – повышение температуры воздуха в холодное время года в помещении.

Эксплуатация кондиционера в зимних условиях имеет ряд особенностей.

Во-первых, при крайне низких температурах (-10°C и ниже) можно использовать оконный кондиционер только в режиме вентиляции. Запуск компрессора для работы в режиме обогрева может привести к серьезному повреждению компрессора.

Во-вторых, нормальная работа кондиционера в режиме охлаждения возможна только при уличной температуре не ниже $16 - 19^{\circ}\text{C}$. При более низкой температуре использовать эти кондиционеры в режиме охлаждения нельзя - кондиционер может быть поврежден.

В-третьих, если на улице отрицательная температура, то возможно замерзание конденсата (воды) или попадание снега в корпус кондиционера. При этом лопасти вентилятора будут задевать за намерзший лед, что нарушит нормальную работу кондиционера и может вызвать разрушение вентилятора.



t_1 – на входе в компрессор; t_2 – на выходе из компрессора; t_3 – после четырех ходового клапана, на входе в конденсатор; t_4 – выходе из конденсатора; t_5 – на входе в капиллярную трубку после обратного клапана; t_6 – на выходе из капилляра, перед входом в испаритель; t_7 – на выходе из испарителя.

Рисунок 1 – Термодинамический цикл холодильной машины.



Рисунок 2 – Работа кондиционера в режиме обогрева.

Испаряясь, хладагент отбирает тепло. И наоборот, конденсируясь (превращаясь из газообразного состояния обратно в жидкость), вещество отдает тепло.

Когда кондиционер работает в режиме охлаждения, хладагент испаряется в теплообменнике внутреннего блока, а конденсируется в наружном. Таким образом происходит перенос тепла из одной среды в другую.

Для переноса тепловой энергии кондиционер потребляет электроэнергию. Но следует отметить, что кондиционер переносит приблизительно в три раза больше энергии, чем потребляет. Электроэнергия необходима для работы компрессора, который создавая перепады давлений заставляет хладагент то испаряться, то конденсироваться.

Порядок выполнения работы:

Перед началом работы студенты должны ознакомиться с расположением приборов на стенде и заготовить форму протокола для измерений.

Рассмотрим цикл парокompрессионной холодильной установки. Работа, затрачиваемая на привод компрессора, определяется адиабатным сжатием хладагента:

$$L_{ц} = h_2 - h_1$$

Подводимое к хладагенту в охлаждаемом объеме тепло рассчитывается так:

$$q_0 = h_1 - h_6$$

Для характеристики эффективности работы цикла любой холодильной установки применяется так называемый коэффициент трансформации тепла ϵ , определяется следующим образом:

$$\epsilon = \frac{L_{ц}}{q_0}$$

Чем выше значение ϵ , тем эффективнее цикл холодильной установки, то есть тем меньшую работу $L_{ц}$ нужно затратить, чтобы отвести от охлаждаемого тела (холодного источника) одно и тоже количество тепла q_0 .

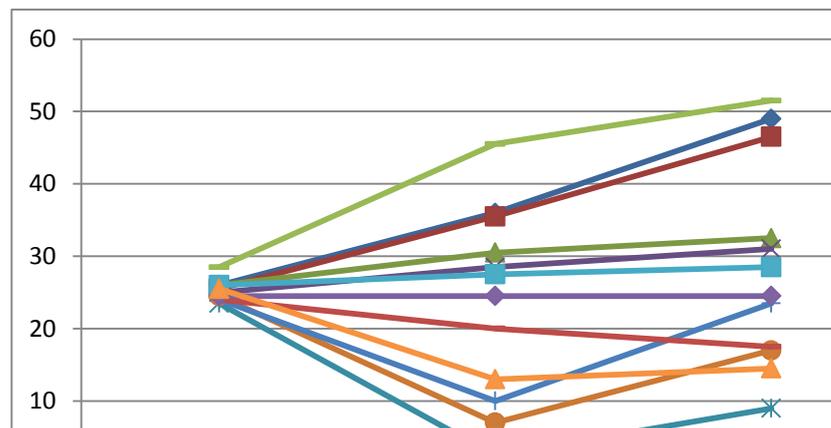
По окончании опыта необходимо отключить установку.

Обработка результатов измерений:

Таблица 1 – Экспериментальные данные.

Т(время)	Опыт 1 0	Опыт 2 5(10)	Опыт 3 10(20)
t_1			
t_2			
t_3			
t_4			
t_5			
t_6			
t_7			
t_8			
t_9			

t_{10}			
t_{11}			
t_{12}			
f_1			
f_2			
f_3			
P_1			
P_2			



t_1 – на входе в компрессор; t_2 – на выходе из компрессора; t_3 – после четырех ходового клапана, на входе в конденсатор; t_4 – выходе из конденсатора; t_5 – на входе в капиллярную трубку после обратного клапана; t_6 – на выходе из капилляра, перед входом в испаритель; t_7 – на выходе из испарителя.

Рисунок 1 – График зависимости температуры от времени.

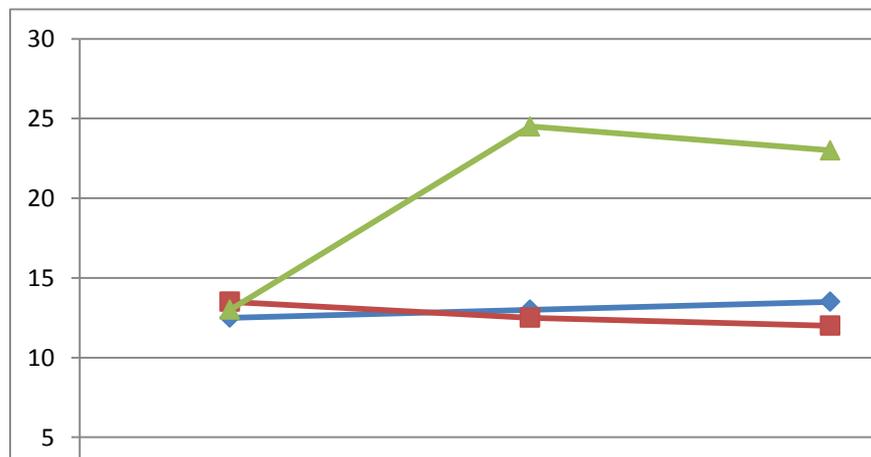


Рисунок 2 – График влажности воздуха от времени

Таблица 2

Параметры состояния хладагента в характерных точках цикла.

№ точки	P, МПа	t, °C	h, кДж/кг	S, кДж/(кг·K)	Состояние
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Задания для самостоятельной работы:

1. Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний.
2. Письменно ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что такое кондиционер?
2. Отличия в работе кондиционера в летний и зимний периоды.
3. Что такое хладагент?

Практическое занятие № 1

Расчёт одноступенчатой парокompрессионной холодильной машины

Задание: Рассчитать одноступенчатую парокompрессионную холодильную машину. Определить КПД заданной установки, объемную производительность компрессора, холодильный коэффициент и электрическую мощность компрессора (используя ЭВМ рассчитать и выбрать поверхности нагрева кожухотрубного конденсатора и противоточного переохладителя).

Расчёт: Рабочий режим холодильной установки характеризуется температурами кипения t_0 , конденсации t_k , переохлаждения (жидкого хладагента перед регулирующим вентилем) t_n , всасывания (пара на входе в компрессор) $t_{вс}$.

Температуру кипения хладагента принимают в зависимости от температуры воздуха в охлаждаемом объекте. При непосредственном охлаждении температура кипения обычно на 7-10 °С ниже температуры воздуха в камере, °С,

$$t_0 = t_a - (7 \div 10).$$

Чтобы не вводить дополнительную температуру кипения, для отдельных камер увеличивают перепад температур до 12 °С, а иногда, наоборот, уменьшают до 5-6 °С. Такие перепады рекомендуется принимать при температурах кипения ниже – 25 °С, а также для специализированных камер хранения яиц и фруктов, чтобы исключить подмораживание. При длительном хранении фруктов перепад температур может быть принят 3-4 °С.

Для предприятий торговли и общественного питания ранее рекомендовали увеличивать перепад температур до 15-19 °С, что было связано с малой поверхностью испарителей и низкими значениями коэффициентов теплопередачи. В настоящее время оптимальными считают перепады температур 8-13 °С.

Температура конденсации в конденсаторах, охлаждаемых водой, зависит от температуры и количества подаваемой воды.

Оптимальной можно считать температуру конденсации, которая на 3-5 °С выше температуры воды, отходящей с конденсатора, °С,

$$t_k = t_{вд} + (3 \div 5).$$

В некоторых случаях температуру конденсации связывают со средней температурой воды, устанавливая разность температур 4-6 °С.

Выбор разности температур должен быть экономически обоснован, чтобы затраты были минимальными. При этом учитывают такие факторы, как стоимость аппаратов, количество часов работы в год, стоимость электроэнергии и др. При высокой стоимости электроэнергии и продолжительной работе установки целесообразно уменьшить разность температур до 2 °С, при низкой — увеличить (значительно больше 5 °С).

Для машин, работающих на хладонах, средние разности температур между хладагентом и водой примерно вдвое больше, чем для машин, работающих на аммиаке.

Нагрев воды на конденсаторах (от 2 до 6 °С) зависит от типа конденсатора.

В установках торгового типа с прямоточным водоснабжением его можно увеличить до 8-10 °С,

$$t_{\text{вод}_2} = t_{\text{вод}_1} + (2 \div 6).$$

Температура воды, поступающей на конденсатор, зависит от внешних условий: температура оборотной воды на 3-4 °С выше температуры по мокрому термометру, температура воды в реках и озерах на 6-8 °С ниже температуры наружного воздуха (точные данные можно получить по климатологическим справочникам).

Для конденсаторов воздушного охлаждения среднюю разность температур между конденсирующимся хладагентом и воздухом принимают 8-10 °С. Нагрев воздуха в конденсаторах крупных установок, работающих на аммиаке, принимают 6-9 °С, а для малых установок, работающих на хладонах, 3-4 °С.

В испарительных конденсаторах вода не нагревается, и ее температура может быть принята равной температуре оборотной воды. Температуру конденсации при использовании испарительных конденсаторов устанавливают в зависимости от наружных условий и тепловой нагрузки. Для курсовых и дипломных проектов с достаточной точностью можно считать, что температура конденсации в них на 8-11 °С выше температуры воды при тепловом потоке $g_F = 1750 \div 2000 \text{ Вт/м}^2$, °С,

$$t_k = t_{\text{вод}} + (8 \div 11).$$

Температура переохлаждения хладагента перед регулирующим вентилем выше температуры, подаваемой в переохладитель воды, на 3-5 °С,

$$t_{II} = t_{\text{вод}} + (3 \div 5).$$

Свежая вода подается на переохладитель, а затем добавляется к оборотной воде, поступающей в конденсатор.

В настоящее время проектные организации не включают в схему холодильных установок, работающих на аммиаке, водяные переохладители вследствие их малой эффективности. В курсовых и дипломных проектах в схеме предусматривают аппарат для переохлаждения аммиака перед регулирующим вентилем.

В холодильных машинах, работающих на хладонах, переохлаждение жидкого хладагента достигается в теплообменниках. Температуру переохлаждения устанавливают из уравнения теплового баланса теплообменника по удельной энтальпии жидкого хладагента.

Следует иметь в виду, что переохлаждение жидкого хладагента может быть получено непосредственно в некоторых типах конденсаторов.

Для исключения влажного хода компрессора пар перед компрессором перегревается. В машинах, работающих на аммиаке, перегрев может быть получен либо непосредственно в испарителе, если его заполнение регулируется по перегреву пара, либо в трубопроводе на пути к компрессору в результате притока тепла от внешней среды. Для машин, работающих на аммиаке, безопасность работы обеспечивается при перегреве пара на 5-15 °С,

$$t_{\text{вс}} = t_0 + (5 \div 15).$$

В машинах, работающих на хладоне-12, перегрев пара на всасывании позволяет, кроме того, улучшить объемные коэффициенты компрессора. Для таких машин нормальным считается перегрев пара на всасывании в компрессор – 30 °С. Для машин, работающих на хладоне-22, влияние перегрева несколько меньше, чем для машин, работающих на хладоне-12, а при низких температурах кипения для хладона-22 большие перегревы могут привести к нежелательным последствиям.

В компрессорах со встроенными электродвигателями, которые охлаждаются всасываемым хладагентом, перегрев осуществляется частично за счет тепла, выделяемого электродвигателем.

В рассольных схемах температуру кипения хладагента принимают на 5-6 °С ниже температуры рассола, которую, в свою очередь, принимают на 8-10 °С ниже температуры воздуха в камере. Остальные температуры выбирают так же, как и для системы непосредственного охлаждения. Обычно полная схема одноступенчатой парокомпрессионной холодильной машины включает элементы, представленные на рис. 1.1.

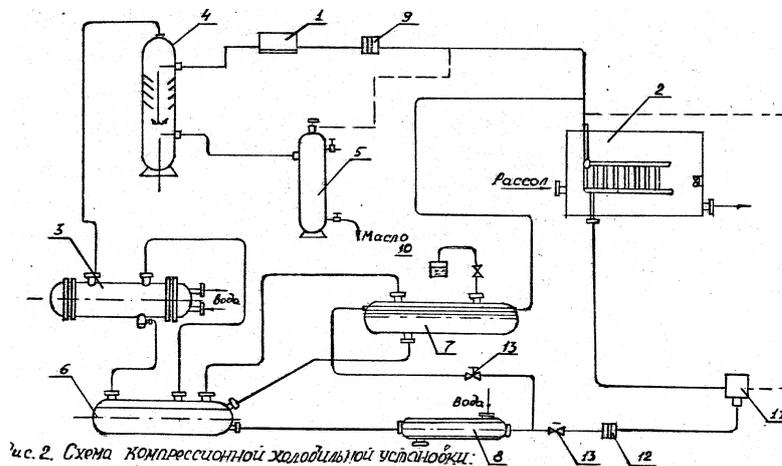


рис. 2. Схема компрессионной холодильной установки.

- 1 – компрессор; 2 – испаритель; 3 – конденсатор;
 4 – маслоотделитель; 5 – маслосорбник; 6 – ресивер;
 7 – воздухоотделитель; 8 – переохладитель; 9 – газовый фильтр;
 10 – сосуд с водой; 11 – терморегулирующий вентиль;
 12 – жидкостный фильтр; 13 – регулирующий вентиль
 Рисунок 1.1 - Схема компрессионной холодильной установки.

Построение цикла холодильной машины и определение параметров хладагента.

После выбора рабочего режима определяют параметры хладагента. В курсовом и дипломном проектах следует определять все параметры всех точек цикла как узловых, так и промежуточных, что позволит легко проконтролировать понимание протекающих процессов и правильность определения параметров, нужных для расчета.

Построение цикла одноступенчатой холодильной машины.

Прежде всего нужно изобразить цикл холодильной машины в одной из термодинамических диаграмм состояния. Построение цикла производится в следующей последовательности:

1. На диаграмму $lgP-i$ или $T-S$ (рис.3. 2) наносят изотермы, определяющие режим работы установки: t_0 , t_k , t_n , t_{bc} .

2. По температурам t_0 и t_k находят соответствующие изобары p_0 и p_k в области перегретого пара и переохлажденной жидкости (на диаграмму $T-S$ изобары в области переохлажденной жидкости не наносят).

3. В результате построения на диаграмме получены опорные точки: 1' – на пересечении изотермы t_0 с линией сухого насыщенного пара; 2' – на пересечении изотермы t_k с линией сухого насыщенного пара; 3' – на пересечении изотермы t_k с линией жидкости; 3 – на пересечении изотермы t_n с изобарой p_k в области переохлажденной жидкости (в $T-S$ - диаграмме точку 3 условно наносят на линию жидкости при температуре t_n).

4. На пересечении линий t_{bc} и p_0 в области перегретого пара находят точку 1, определяющую состояние пара, всасываемого компрессором.

5. Через точку 1 проводят линию постоянной энтропии (адиабату) до пересечения с изобарой p_k в точке 2, которая определяет состояние пара в конце сжатия.

6. Остается получить точку 4, которая находится на пересечении линии постоянной энтальпии, проходящей через точку 3, с изотермой t_0 и изобарой p_0 в области влажного пара.

Точка 4 характеризует состояние хладагента после дросселирования в регулирующем вентиле.

Изображение цикла одноступенчатого сжатия в диаграммах $lgP-i$ и $T-S$ показано на рис. 3.2, а, б.

Процессы, изображенные в диаграмме:

4-1' — испарение в испарителе при t_0 и p_0 ; состояние пара – сухой насыщенный;

1'-1 — перегрев пара на всасывании от t_0 до $t_{вс}$ при постоянном давлении p_0 ;

2 – адиабатное сжатие в компрессоре при p_k и t_2 ;

2-3' — процесс отвода тепла в конденсаторе, который можно разделить на два процесса:

2-2' — охлаждение пара до состояния насыщения при постоянном давлении p_k и 2'-3' — конденсация хладагента при t_k и p_k ;

3'-3 — переохлаждение жидкого хладагента в переохладителе от t_k до t_n при давлении p_k ;

3-4 — дросселирование хладагента в регулирующем вентиле от p_k до p_0 , по линии постоянной энтальпии.

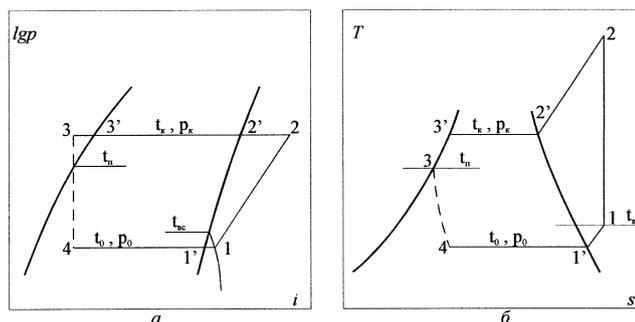


Рисунок 1.2 - Изображения циклов одноступенчатого сжатия в диаграммах: а – $lgP-i$ диаграмма; б – $T-S$ диаграмма

В случае, если заполнение испарителя регулируется по перегреву пара, точка 1', характеризующая состояние пара, выходящего из испарителя, переместится в область перегретого пара и будет находиться на пересечении линий p_0 и температуры перегрева, установленной при помощи регулятора. Обычно перегрев пара в таком случае составляет 3-7 °С. Для характеристики точки, определяющей состояние хладагента в конце процесса кипения, введем обозначение 1. Эта точка находится на линии сухого насыщенного пара при температуре t_0 .

Определить параметры хладагента можно по таблицам насыщенных паров и диаграммам состояния.

По таблицам насыщенных паров определяют параметры точек, находящихся на пограничных кривых (для сухого насыщенного пара и для насыщенной жидкости) и в области переохлажденной жидкости:

1' — для сухого насыщенного пара при t_0 ;

2' — для сухого насыщенного пара при t_k ;

3' — для жидкости при t_k ;

3 — для жидкости по t_n , кроме давления, которое в процессе переохлаждения не изменяется, а потому в данной точке оно равно давлению конденсации p_k .

Параметры точек 1, 2 и 4 определяют по диаграммам согласно построению:

1 – в области перегретого пара на пересечении линий p_0 и $t_{вс}$;

2 – в области перегретого пара на пересечении линий $s_1 = \text{const}$ и p_k ;

4 – в области влажного пара на пересечении линий $i_3 = \text{const}$ и t_0, p_0 .

В случае выхода из испарителя перегретого пара точку 1 находят по диаграммам в области перегретого пара на пересечении линий p_0 и температуры установленного регулятором перегрева, а точку 1' – по таблицам для сухого насыщенного пара при t_0 .

Параметры должны быть измерены в одной системе единиц.

Для удобства расчета все полученные значения сводим в таблицу, форма которой представлена ниже.

Форма таблицы 1.1

Номер точки, №	t, °C	P, МПа	i, кДж/кг	S, кДж/кг гр	v, м ³ /кг	Состояние
1'						
1						
2						
2'						
3'						
3						
4						

Холодопроизводительность 1 кг аммиака, кДж/кг,

$$q_0 = i_1 - i_4.$$

Теоретическая работа сжатия в компрессоре, кДж/кг,

$$L = i_2 - i_1.$$

Тепло, отдаваемое 1 кг аммиака в конденсаторе, кДж/кг,

$$q = q_0 + l.$$

Теоретический холодильный коэффициент цикла

$$E_T = q_0 / l.$$

Количество аммиака, поступающего в испаритель, кг/с,

$$G = Q_0 / q_0,$$

где Q_0 – холодопроизводительность установки, кВт.

Теоретическая мощность, затрачиваемая в компрессоре, кВт,

$$N_T = Q_0 / 1000 \cdot E_T.$$

Объем паров аммиака, всасываемых компрессором, м³/с,

$$V = G \cdot v_1,$$

где v_1 – удельный объем пара, всасываемого компрессором, м³/кг.

Тепловая нагрузка конденсатора, кВт,

$$Q = Q_0 \cdot ((E_T + 1) / E_T).$$

Объемная холодопроизводительность холодильного агента, кДж/м³,

$$q_{vc} = q_0 / v_1.$$

Проверяем граничные параметры температуры и давления, за пределами которых применение одноступенчатых холодильных машин экономически нецелесообразно. Одноступенчатые машины на аммиаке допускаются к работе в диапазоне температур кипения от 0 °C до –30 °C при температуре конденсации не выше 40 °C, отношении давлений $P_k / P_0 \leq 9$ и разности давлений $P_k - P_0 \leq 1,2$ МПа.

Практическое занятие № 2

Расчёт двухступенчатой парокompрессионной холодильной машины

Задание: Для 2-х ступенчатой холодильной установки с двумя ступенями испарения определить: холодопроизводительности на разных температурных уровнях, объемные производительности компрессоров нижней и верхней ступени, тепловую производительность конденсатора и переохладителя.

Расчёт: В качестве примера рассмотрим двухступенчатую холодильную установку, работающую на аммиаке (МНЗ) в области умеренных температур, для хранения и заморозки пищевых продуктов с учетом теплопритоков в камеры. Для расчета схемы холодильной машины заданы:

1) холодопроизводительность установки, включающей четыре камеры (2 для заморозки

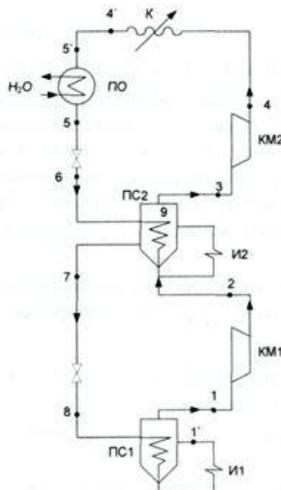
и 2 для хранения мяса), 183,714 кВт;

2) низшая температура раствора в испарителе $t_{н2} -23\text{ }^{\circ}\text{C}$;

3) температура конденсации $t_{к} 27\text{ }^{\circ}\text{C}$;

4) хладагент – аммиак.

Устройство двухступенчатой парокompрессионной холодильной машины представлено на рис. 2.1.



И1, И2 – испарители; ПС1, ПС2 – промежуточные сосуды; КМ1, КМ2 – компрессор верхней и нижней ступени; К – конденсатор; ПО – противоточный переохладитель.

Рисунок 2.1 - Схема двухступенчатой парокompрессионной холодильной машины.

Построение цикла двухступенчатого сжатия

Цикл двухступенчатого сжатия с полным промежуточным охлаждением и одним регулированием (промежуточный сосуд со змеевиком) изображен на рис. 2.2. Построение цикла производится в определенном порядке.

1. По температурам $t_0 = -33\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{к} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ определяют соответствующие давления $P_0 = 0,105\text{ МПа}$ и $P_{к} = 1,07\text{ МПа}$.

2. Определяют промежуточное давление $P_{пр} = \sqrt{P_{к}P_0}$ и соответствующую этому давлению температуру $t_{пр}$: $P_{пр} = 0,335\text{ МПа}$, $t_{пр} = -7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. На диаграмму наносят линии температур t_0 , $t_{к}$, $t_{вс}$, $t_{пр}$ и t_7 и линии давлений P_0 , $P_{к}$ и $P_{пр}$ в области перегретого пара, а линию $P_{к}$ продолжают также в области переохлажденной жидкости (в Т-S-диаграмме состояние, соответствующее переохлажденной жидкости, будет условно указано на линии жидкости).

4. В результате построения на диаграмме получены точки, которые характеризуют:

1' – окончание процесса кипения в испарителе на пересечении изотермы t_0 с линией сухого насыщенного пара;

3 и 7 – состояния сухого насыщенного пара и жидкости в промежуточном сосуде при промежуточной температуре $t_{пр}$ соответственно;

4' и 5' – состояния сухого насыщенного пара и жидкости в конденсаторе при $t_{к}$ и $P_{к}$;

5 – состояние переохлажденной жидкости при $t_{п}$ и $P_{к}$.

5. На пересечении изотермы $t_{к}$ и изобары P_0 в области перегретого пара находят точку 1, характеризующую состояние пара, всасываемого компрессором.

6. Через точку 1 проводят адиабату до пересечения с изобарой $P_{пр}$ в точке 2, характеризующей состояние пара в конце сжатия в ступени низкого давления.

7. Через точку 3 проводят адиабату до пересечения с изобарой $P_{к}$ в точке 4, характеризующей состояние пара в конце сжатия в ступени высокого давления.

8. Через точку 5 проводят линию постоянной энтальпии до пересечения с линией $t_{пр}$, $P_{пр}$ в точке 6, характеризующей состояние влажного пара, подаваемого в промежуточный сосуд.

9. Через точку 7 проводят линию постоянной энтальпии до пересечения с линией t_0 , P_0 в точке 8, характеризующей состояние аммиака после дросселирования в основном регулирующем вентиле.

- Процессы, изображенные в диаграмме:
- 8-1' – кипение в испарителе при t_0, P_0 ;
 - 1'-1 – перегрев пара на всасывании при постоянном давлении P_0 ;
 - 1-2 – адиабатное сжатие в ступени низкого давления (с.н.д.);
 - 2-3 – полное промежуточное охлаждение пара после с.н.д. в промежуточном сосуде кипящим аммиаком (процесс 7-3);
 - 3-4 – адиабатное сжатие в ступени высокого давления (с.в.д.);
 - 4-5 – процесс отвода тепла в конденсаторе;
 - 5-5' – переохлаждение аммиака в водяном переохладителе (или непосредственно в конденсаторе) при давлении P_k ;
 - 5-7 – переохлаждение аммиака в змеевике промежуточного сосуда при давлении P_k кипящим аммиаком (процесс 7-3);
 - 5-6 – дросселирование части жидкости до промежуточного давления в регулирующем вентиле;
 - 7-8 – дросселирование жидкого хладагента до давления кипения в основном регулирующем вентиле;
 - 7-3 – кипение аммиака в промежуточном сосуде за счет тепла, вносимого паром из с.н.д. и жидкостью, проходящей по змеевику.

Определяют параметры согласно построению. Параметры точек 1, 3, 4, 5, 5', 7 находят по таблицам насыщенных паров.

Параметры точек 1, 2, 4, 6 и 8 находят по диаграммам.

Все параметры точек занесены в табл. 2.1

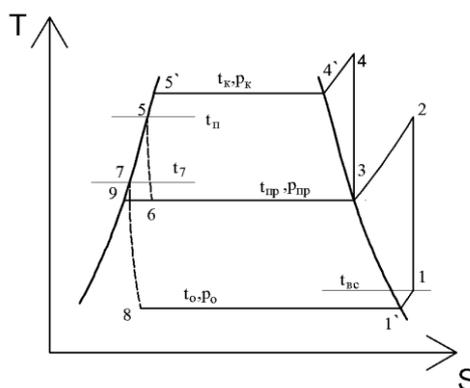


Рисунок 2.2 - Цикл двухступенчатого сжатия в компрессоре.

Таблица 2.1

Параметры искомых точек

№	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{МПа}$	$i, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	Состояние
1'	-33	0,105	1640	9,30	1,10	СНП
1	-28	0,105	1651	9,33	1,15	ПП
2	43	0,335	1794	9,33	0,45	ПП
3	-7	0,335	1675	8,90	0,38	СНП
4	68	1,070	1827	8,90	0,16	ПП
4'	27	1,070	1707	8,55	0,12	СНП
5'	27	1,070	545	4,60	0	Ж
5	22	1,070	523	4,50	0	ПОЖ
6	-7	0,335	523	4,55	0,05	ВП ($x = 0,11$)
7	-7	0,335	380	4,03	0	Ж
8	-33	0,105	380	4,10	0,012	ВП ($x = 0,08$)

Практическое занятие № 3

Расчёт абсорбционной холодильной машины

Задание: Определить тепловой баланс абсорбционной холодильной установки.

Расчёт: На рисунке 3.1 изображена схема абсорбционной холодильной установки, процесс работы которой построен в i - ξ тепловой диаграмме (рис. 3.2).

Из абсорбера отводится крепкий раствор, представляющий собой смесь рабочего агента и абсорбента с концентрацией $\xi_{кр}$ (точка 13). Этот раствор подводится к ректификационной колонне при давлении $P_k = P_g$. В результате тепломассообмена между раствором и противоточно движущимся паром концентрация легкокипящего компонента в паре увеличивается, и, следовательно, снижается в жидком растворе. Далее раствор стекает в генератор, где осуществляется выпаривание рабочего агента за счет подвода тепла греющим паром. Содержание рабочего агента в виде жидкости резко уменьшается при этом, и раствор становится слабым. На диаграмме рис. 2.2 изменение состояния раствора показано линией, соединяющей точки 13-8-9, где процесс 13-8 – это процесс подогрева раствора до состояния кипения, а процесс 8-9 – кипение раствора и снижение в нем концентрации легкокипящего компонента.

Из ректификационной колонны пар поступает в дефлегматор, где охлаждается из-за отбора тепла холодной водой (при этом концентрация рабочего агента в паре увеличивается – процесс 1-2). Чем дольше пар будет находиться в дефлегматоре, тем больше выпадает флегмы и тем выше будет концентрация рабочего агента в паре (хотя максимума, т.е. единицы, она достичь не сможет).

Из дефлегматора пар идет в конденсатор, где полностью конденсируется (процесс 2-3-4). Далее жидкий рабочий агент дросселируется в вентиле (при этом энтальпия постоянна, а температура и давление уменьшаются) и превращается во влажный пар, который сразу же подается в испаритель (точка 5). Здесь за счет подвода тепла рабочий агент кипит и испаряется при давлении P_0 и температуре t_0 .

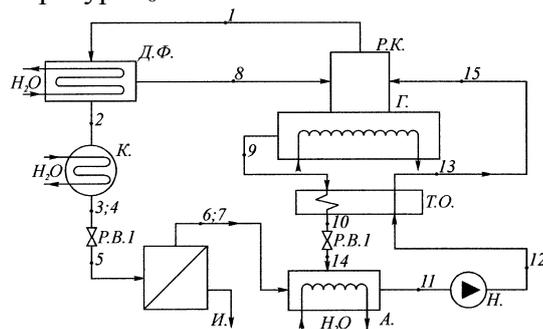


Рисунок 3.1 - Схема одноступенчатой абсорбционной холодильной установки

После испарителя сухой насыщенный пар (точка 6-7) подается в абсорбер, где он смешивается со слабым раствором, идущим из генератора. Пройдя теплообменник и регулирующий вентиль 2, слабый раствор попадает в абсорбер в состоянии влажного пара (точка 14) при P_a . При смешении в абсорбере слабого раствора и паров в результате абсорбции (поглощения) выделяется тепло термохимических реакций, которое отдается холодной воде. В результате съема тепла холодной водой образуется крепкий раствор (точка 11) при $P_0 = P_a$. Полученный крепкий раствор забирается из абсорбера насосом (точка 12) и подается в теплообменный аппарат, где он подогревается (до точки 13), и цикл повторяется снова.

Расчет рабочего цикла по i - ξ тепловой диаграмме

Использование i - ξ тепловой диаграммы значительно облегчает расчет и анализ процессов работы абсорбционных трансформаторов тепла. На оси абсцисс i - ξ диаграммы отложена массовая концентрация ξ легкокипящего компонента в растворе, т.е. отношение массы легкокипящего компонента, обычно рабочего агента, к массе раствора. На оси ординат - удельная энтальпия раствора. Две верхние пограничные кривые показывают состояние сухого насыщенного пара над кипящим жидким раствором при двух давлениях P_k – в генераторе и конденсаторе, P_0 – в испарителе и абсорбере. Две нижние пограничные кривые показывают состояние кипящей жидкости при тех же давлениях P_k и P_0 .

Построение точек на i - ξ диаграмме

Определяем параметры точки 9, характеризующие состояние слабого раствора на выходе из генератора. Определяются они пересечением кривой давления $P_k=P_g$ с изотермой, соответствующей температуре t_9 , которая определяется по формуле

$$t_9 = t_{гр.пара} - 10 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $t_{гр.пара}$ – значение температуры греющего пара, $^\circ\text{C}$.

При пересечении P_g с t_9 получаем концентрацию слабого раствора ξ_{cl} .

Пересечение ξ_{cl} с $P_0=P_a$ дает точку 10, которая характеризует состояние слабого раствора на выходе из теплообменника

По давлению $P_a=P_0$ и температуре в абсорбере t_a находим точку 11 (12), соответствующую состоянию крепкого раствора после абсорбера $\xi_{кр}$,

$$t_a = t_{воды} + 5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $t_{воды}$ – температура охлаждающей воды на входе в абсорбер, $^\circ\text{C}$.

Пересечение $\xi_{кр}$ с $P_k=P_g$ дает точку 8. Эта точка характеризует состояние флегмы на выходе из дефлегматора.

Пересечение t_k с $P_k=P_g$ дает ξ_δ и точку 3, 4 (ξ_δ – концентрация раствора на выходе из дефлегматора и конденсатора; концентрация ξ_δ постоянна для точек 2; 6, 7; 3, 4; 5), и она соответствует рабочему агенту на выходе из конденсатора, t_k – температура конденсации, $^\circ\text{C}$.

Пересечение i_{13} с $\xi_{кр}$ дает давление и температуру точки 13 (15), состояние крепкого раствора после теплообменника.

Энтальпия точки 13 определяется по формуле

$$i_{13} = i_{12} + \frac{q_{то}}{f},$$

где f – кратность циркуляции; $q_{то}$ – удельное количество тепла, переданного в теплообменнике, кДж/кг,

$$q_{то} = [(f - 1)(i_9 - i_{10})] \cdot 4,19.$$

Кратность циркуляции определяется так:

$$f = \frac{\xi_\delta - \xi_{cl}}{\xi_{кр} - \xi_{cl}}.$$

Построение точки 1 начинаем с пересечения $\xi_{кр}$ с линией вспомогательных давлений $P_k^{вспом}$ (точка В на i - ξ диаграмме). Из точки В проводим политропу в область сухого насыщенного пара до $P_k=P_g$, получаем точку 1, характеризующую состояние пара на выходе из генератора.

Пересечение ξ_δ с $P_k=P_g$ дает точку 2. Температуру точки 2 определяем по T - ξ диаграмме при $P_k=P_g$ (область сухого насыщенного пара).

Пересечение изотермы t_0 с $P_0=P_a$ дает точку 6⁰ и ξ_{6^0} .

$$t_0 = t_{н2} - 5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $t_{н2}$ – низшая температура раствора в испарителе, $^\circ\text{C}$.

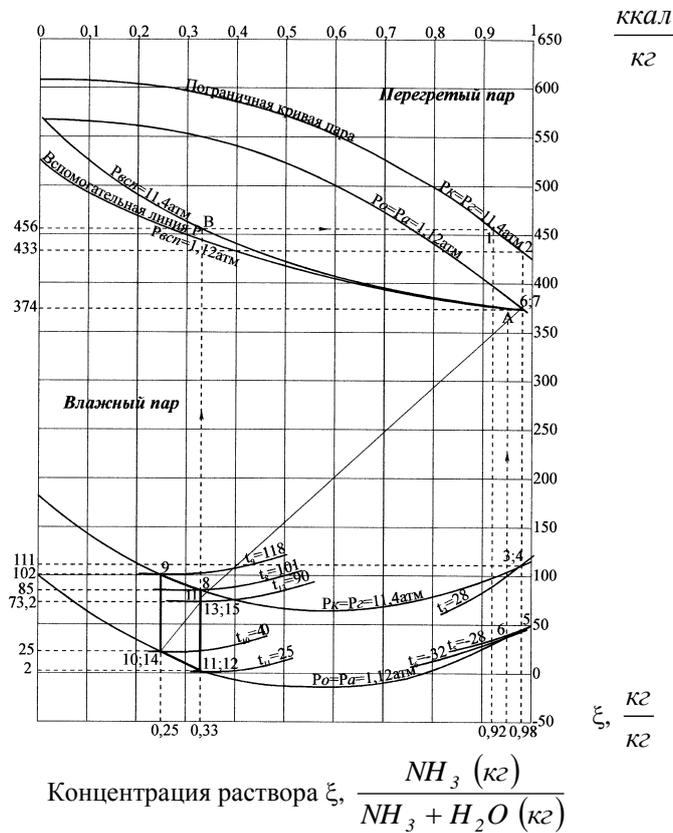


Рисунок 3.2 - Процесс работы установки в $i - \xi$ диаграмме

По ξ_{60} поднимаемся в область вспомогательных давлений до пересечения с $P_0^{\text{вспом}}$ и получаем точку А. Из точки А проводим политропу до давления сухого насыщенного пара $P_0 = P_a$. В результате находим точку 6, 7.

По температуре t_n и $P_0 = P_a$ получаем точку 5 (состояние влажного пара после регулирующего вентиля).

Полученные параметры точек заносим в таблицу.

Форма таблицы 3.1

Параметры точек

Состояние	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{атм}$	$i, \text{ккал/кг}$	$\xi, \text{кг/кг}$
<i>Жидкость</i>				
Т.9 после генератора				
Т.11,12 крепкий раствор после абсорбера				
Т. 3,4 конденсат				
Т.13,15 крепкий раствор после теплообменника				
Т.10 после теплооб-ка				
Т.8 флегма после деф-ра				
<i>Пар</i>				
Т.1 равновесный с кр. раствором в кипящий-ке				
Т.2 после дефлегматора				
Т.5 влаж. пар после РВ1				
Т.14 влаж. пар после РВ2				
Т.6,7 снп после испар-ля				

Расчет тепловых нагрузок

Определяем удельное количество тепла, отведенного от конденсатора, кДж/кг,

$$q_k = (h_2 - h_3) 4,19,$$

где 4,19 - перевод из ккал/кг в кДж/кг; h_2 и h_3 - энтальпии точек 2 и 3 соответственно, ккал/кг.

Определяем удельное количество тепла, подведенного к испарителю, кДж/кг,
 $q_0 = (h_{6,7} - h_5) 4,19.$

Определяем удельное количество тепла, отведенного из абсорбера, кДж/кг,
 $q_a = [f(h_{10,14} - h_{12}) + (h_{6,7} - h_{14})]4,19.$

Определяем удельное количество тепла, подведенного к генератору, кДж/кг,
 $q_r = \{(h_9 - h_{13}) f + (h_1 - h_9) + R(h_1 - h_8)\} 4,19,$

где R - флегмовое число,

$$R = \frac{\xi_d - \xi_1}{\xi_1 - \xi_{кр}}$$

Определяем удельное количество тепла, отведенного от дефлегматора, кДж/кг,
 $q_{дф} = \{(1 + R) h_1 - h_2 - h_8 R\} 4,19.$

Определяем тепловой баланс установки

$$\Sigma q_{прих} = \Sigma q_{расх},$$

где $\Sigma q_{прих} = q_0 + q_r$; $\Sigma q_{расх} = q_k + q_{дф} + q_a$; $q_0 + q_r = q_k + q_{дф} + q_a.$

Погрешность не должна превышать 2%.

Определяем тепловой коэффициент установки

$$\varepsilon = q_0/q_r.$$

Определяем массовый расход рабочего агента, кг/ч,

$$G_{ра} = Q_0/q_0,$$

где $G_{ра}$ –массовый расход рабочего агента, кг/ч; Q_0 – холодопроизводительность установки, кДж/ч.

Определяем количество тепла, отведенного от абсорбера,

$$Q_a = G_{ра} q_a.$$

Определяем количество тепла, отведенного от конденсатора,

$$Q_k = G_{ра} q_k.$$

Определяем количество тепла, отведенного от дефлегматора,

$$Q_{дф} = G_{ра} q_{дф}.$$

Определяем количество тепла, подведенного к генератору,

$$Q_r = G_{ра} q_r.$$

Баланс машины, отнесенный к одному часу, следующий:

$$Q_0 + Q_r = Q_k + Q_a + Q_{дф}.$$

9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы.

Задача № 1

В трубчатом подогревателе движется вода со скоростью w . Температура воды повышается от t_n до t_k . Средняя температура стенки трубы равна $t_{см}$. Подогреватель выполнен из труб с внутренним диаметром d . Определить среднее значение коэффициента теплоотдачи от труб к воде и количество теплоты, отданной от стенки к воде.

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$w, м/с$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
$t_n, ^\circ C$	7	9	11	8	10	6	12	18	19	20
$t_k, ^\circ C$	64	68	72	75	78	81	83	85	87	90
	Предпоследняя цифра шифра									
$t_{см}, ^\circ C$	80	84	86	88	90	85	92	94	96	87
$d, мм$	32	25	40	45	50	55	70	60	65	57

Задача № 2

В теплообменнике требуется нагревать G_2 кг/с холодной жидкости с теплоемкостью C_{p2} от температуры t_2' до t_2'' . Для нагрева применяется вода с температурой $t_1 = 150 ^\circ C$ и расхо-

дом $1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$. Определить необходимую поверхность теплообменника при прямотоке и противотоке, если известна величина коэффициента теплопередачи.

<i>Исходные данные</i>	<i>Последняя цифра шифра</i>									
	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
$G_2, \text{ кг/с}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
$C_{p2}, \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$	2,56	2,63	2,72	2,80	2,90	3,00	3,10	3,20	3,30	3,40
	<i>Предпоследняя цифра шифра</i>									
$t_2'', \text{ }^\circ\text{C}$	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68
$t_2', \text{ }^\circ\text{C}$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$k, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1050	1150	1250

Теоретические вопросы

1. Сформулируйте закон теплоотдачи Ньютона-Рихмана. Дайте пояснения к величинам, входящим в аналитическое выражение закона; приведите единицы измерения этих величин.
2. В какой мере должна быть отдалена от поверхности точка, в которой фиксируется температура жидкости в соответствии с законом Ньютона-Рихмана? Проиллюстрируйте графиком изменение температуры жидкости вблизи теплоотдающей поверхности.
3. Что такое частное и общее термические сопротивления? Как они взаимосвязаны? Как определяется перепад температуры при тепловом потоке через термическое сопротивление?
4. Изобразите графически распределение температуры в двухслойной стенке для случая $\lambda_1 > \lambda_2$. Объясните различия в полях температуры каждого слоя.
5. Изобразите графически распределение температуры в двухслойной стенке для случая $\lambda_1 < \lambda_2$. Объясните различия в полях температуры каждого слоя.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Microsoft Imagine Premium
2. ОС Windows 7 Professional
3. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level
4. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
5. ИСС "Кодекс". Информационно-справочная система
6. справочно-правовая система «Консультант Плюс»
7. Архиватор 7-Zip
8. Adobe Reader
9. doPDF
10. Ай-Логос Система дистанционного обучения
11. КОМПАС-3D V13

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР, Лк, ПЗ</i>
1	3	4	5
ЛР	лаборатория «Теплогазо-снабжения»	действующая аэродинамическая установка	№№ 1÷3
ПЗ	Лекционный кабинет/ дисплейный класс	Оборудование Интерактивная доска SMART Board 680I со встроенным XGA проектором Unifi 35 (77"/195,6 см); 16-ПК: CPU 5000/RAM 2Gb/HDD; Монитор TFT 19 LG1953S-SF; Принтер: HP LaserJet P3015; Сканер: EPSON GT1500	№№ 1÷3
кр	Лекционный кабинет/ дисплейный класс	Оборудование Интерактивная доска SMART Board 680I со встроенным XGA проектором Unifi 35 (77"/195,6 см); 16-ПК: CPU 5000/RAM 2Gb/HDD; Монитор TFT 19 LG1953S-SF; Принтер: HP LaserJet P3015; Сканер: EPSON GT1500	-
СР	Читальный зал №3 (СР)	Оборудование 15 ПК- CPU 5000/RAM 2Gb/HDD (Монитор TFT 19 LG 1953S-SF);принтер HP LaserJet P3005	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-9	Способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия по энергосбережению на производстве	1.Назначение трансформаторов тепла	1.1 Назначение трансформаторов тепла. Область использования трансформаторов тепла. Классификация трансформаторов тепла.	Экзаменационные вопросы №1-3
		2.Термодинамические основы процессов транс-формации тепла	2.3 Характерные энергетические зоны в низкотемпературной области. Характер изменения удельных эксергетических затрат. 2.4 Общая характеристика хладагентов и криоагентов. Хладоносители.	Экзаменационные вопросы №4-7
		3.Одноступенчатые паро-компрессионные транс-форматоры тепла	3.1 Удельные энергозатраты и КПД компрессионных трансформаторов тепла. 3.2 Энергетический и эксергетический балансы компрессионных трансформаторов тепла.	Экзаменационные вопросы №8-9
ПК-10	Готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов	2.Термодинамические основы процессов транс-формации тепла	2.1 Циклические, квазициклические и нециклические процессы в трансформаторах тепла. Каскадные и регенеративные трансформаторы тепла. 2.2 Эксергетический метод анализа систем трансформации тепла. Определение значения эксергии. Основные термодинамические зависимости.	Экзаменационные вопросы №10-14
		3.Одноступенчатые пароконпрессионные транс-форматоры тепла	3.3 Методика расчета одноступенчатых трансформаторов тепла. 3.4 Регенеративный теплообмен в парожидкостных трансформаторах тепла.	Экзаменационные вопросы №15-16
		4.Многоступенчатые холодильные установки	4.1 Многоступенчатые компрессионные трансформаторы тепла. Применение двухступенчатых теплонасосных установок в системах теплоснабжения. 4.2 Каскадные рефрижераторные установки.	Экзаменационные вопросы №17-19
		5.Абсорбционные транс-форматоры тепла	5.1 Принцип действия идеальных абсорбционных установок и удельный расход тепла в них. 5.2 Схема и процесс работы реальных абсорбционных трансформаторов тепла. 5.3 Методика расчета одноступенчатых абсорбционных трансформаторов тепла. 5.4 Зависимость удельного расхода энергии в абсорбционных установках от параметров генерации, испарения и охлаждения.	Экзаменационные вопросы №20-23
		6.Струйные трансформаторы тепла	6.1 Типы струйных трансформаторов тепла. Газодинамические функции. Принципиальная схема и КПД струйного компрессора.	Экзаменационные вопросы №24-26
		7.Газовые трансформаторы тепла	7.1 Особенности процессов в газовых трансформаторах тепла. Идеальные газовые циклы со стационарными процессами. 7.2 Реальные газовые циклы и квазициклы со стационарными процессами. 7.3 Газовые циклы и установки с нестационарными процессами.	Экзаменационные вопросы №27-30

2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенция		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1	ПК-9	Способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве	1. Назначение трансформаторов тепла.	1. Назначение трансформаторов тепла
			2. Область использования трансформаторов тепла.	
			3. Классификация трансформаторов тепла.	
			4. Характерные энергетические зоны в низкотемпературной области.	2. Термодинамические основы процессов трансформации тепла
			5. Характер изменения удельных энергетических затрат.	
			6. Общая характеристика хладагентов и криоагентов.	
			7. Хладоносители.	
			8. Удельные энергозатраты и КПД компрессионных трансформаторов тепла.	3. Одноступенчатые парокомпрессионные трансформаторы тепла
			9. Энергетический и эксергетический балансы компрессионных трансформаторов тепла.	
2	ПК-10	Готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов	10. Циклические, квазициклические и нециклические процессы в трансформаторах тепла.	2. Термодинамические основы процессов трансформации тепла
			11. Каскадные и регенеративные трансформаторы тепла.	
			12. Эксергетический метод анализа систем трансформации тепла.	
			13. Определение значения эксергии.	3. Одноступенчатые парокомпрессионные трансформаторы тепла
			14. Основные термодинамические зависимости.	
			15. Методика расчета одноступенчатых трансформаторов тепла.	
			16. Регенеративный теплообмен в парожидкостных трансформаторах тепла.	
			17. Многоступенчатые компрессионные трансформаторы тепла.	4. Многоступенчатые холодильные установки
			18. Применение двухступенчатых теплонасосных установок в системах теплоснабжения.	
			19. Каскадные рефрижераторные установки.	5. Абсорбционные трансформаторы тепла
			20. Принцип действия идеальных абсорбционных установок и удельный расход тепла в них.	
			21. Схема и процесс работы реальных абсорбционных трансформаторов тепла.	
22. Методика расчета одноступенчатых абсорбционных трансформаторов тепла.				
23. Зависимость удельного расхода энергии в абсорбционных установках от параметров генерации, испарения и охлаждения.				
24. Типы струйных трансформаторов тепла.	6. Струйные трансформаторы тепла			
25. Газодинамические функции.				
26. Принципиальная схема и КПД струйного компрессора.				
27. Особенности процессов в газовых трансформаторах тепла.	7. Газовые трансформаторы тепла			
28. Идеальные газовые циклы со стационарными процессами.				
29. Реальные газовые циклы и квазициклы со стационарными процессами.				
30. Газовые циклы и установки с нестационарными процессами.				

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать (ПК-9):</p> <ul style="list-style-type: none"> - правила экологической безопасности на производстве. <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> - приборы и схемы для измерения теплоэнергетических величин; - типы и устройство промышленных теплоэнергетических установок. <p>Уметь (ПК-9):</p> <ul style="list-style-type: none"> - планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве. <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> - составить энергетический баланс конкретной теплоэнергетической установки; 	<p>отлично</p>	<p>Оценка <i>«отлично»</i> выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>знания</i>: правил экологической безопасности на производстве; основных приборов и схемы для измерения теплоэнергетических величин; типы и устройство промышленных теплоэнергетических установок. - <i>умения</i>: планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве; составлять энергетический баланс конкретной теплоэнергетической установки; проводить поверочный или конструктивный расчёт теплообменного аппарата и другого оборудования; оценивать технико-экономические характеристики технологического процесса. - <i>владение</i>: способностью обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве; простейшими приемами решения типовых теплотехнических задач на применение основных физических законов и численных алгоритмов; навыками чтения технических чертежей и технологических схем оборудования.
<p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> - провести поверочный или конструктивный расчёт теплообменного аппарата и другого оборудования; - оценить технико-экономические характеристики технологического процесса. <p>Владеть (ПК-9):</p> <ul style="list-style-type: none"> - способностью обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве. <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> - простейшими приемами решения типовых теплотехнических задач на применение основных физических законов и численных алгоритмов. 	<p>хорошо</p>	<p>Оценка <i>«хорошо»</i> выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>недостаточно полное знание</i>: правил экологической безопасности на производстве; основных приборов и схемы для измерения теплоэнергетических величин; типы и устройство промышленных теплоэнергетических установок. - <i>недостаточно полное умение</i>: планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве; составлять энергетический баланс конкретной теплоэнергетической установки; проводить поверочный или конструктивный расчёт теплообменного аппарата и другого оборудования; оценивать технико-экономические характеристики технологического процесса. - <i>недостаточно полное владение</i>: способностью обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве; простейшими приемами решения типовых теплотехнических задач на применение основных физических законов и численных алгоритмов; навыками чтения технических чертежей и технологических схем оборудования
<p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> - простейшими приемами решения типовых теплотехнических задач на применение основных физических законов и численных алгоритмов. - навыками чтения технических чертежей 	<p>удовлетворительно</p>	<p>Оценка <i>«удовлетворительно»</i> выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>частичное знание</i>: правила экологической безопасности на производстве; основных приборов и схемы для измерения теплоэнергетических величин; типы и устройство промышленных теплоэнергетических установок.

и технологических схем оборудования		<p>- частичное <i>умение</i>: планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве; составлять энергетический баланс конкретной теплоэнергетической установки; проводить поверочный или конструктивный расчёт теплообменного аппарата и другого оборудования; оценивать технико-экономические характеристики технологического процесса.</p> <p>- частичное владение: способностью обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве; простейшими приемами решения типовых теплотехнических задач на применение основных физических законов и численных алгоритмов; навыками чтения технических чертежей и технологических схем оборудования</p>
	неудовлетворительно	<p>Оценка <i>«неудовлетворительно»</i> выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует:</p> <p>- существенные пробелы в <i>знании</i>: правил экологической безопасности на производстве; основных приборов и схемы для измерения теплоэнергетических величин; типы и устройство промышленных теплоэнергетических установок.</p> <p>- принципиальные ошибки в <i>умении</i>: планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве; составлять энергетический баланс конкретной теплоэнергетической установки; проводить поверочный или конструктивный расчёт теплообменного аппарата и другого оборудования; оценивать технико-экономические характеристики технологического процесса.</p> <p>- невозможность владения: способностью обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве; простейшими приемами решения типовых теплотехнических задач на применение основных физических законов и численных алгоритмов; навыками чтения технических чертежей и технологических схем оборудования</p>

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина основы трансформации тепла направлена на получение необходимых знаний для проектирования и эксплуатации современных трансформаторов тепла, необходимых промышленному предприятию.

Изучение основы трансформации тепла предусматривает:

- лекции,
- лабораторные работы,
- практические работы;
- самостоятельную работу,
- экзамен.

В ходе освоения *раздела 1* «Назначение трансформаторов тепла» обучающиеся должны уяснить: назначение трансформаторов тепла; область использования трансформаторов

тепла; классификацию трансформаторов тепла.

В ходе освоения *раздела 2* «Термодинамические основы процессов трансформации тепла» обучающиеся должны уяснить: циклические, квазициклические и нециклические процессы в трансформаторах тепла; каскадные и регенеративные трансформаторы тепла; эксергетический метод анализа систем трансформации тепла и определение значения эксергии; основные термодинамические зависимости; характерные энергетические зоны в низкотемпературной области; общую характеристику хладагентов и криоагентов.

В ходе освоения *раздела 3* «Одноступенчатые парокомпрессионные трансформаторы тепла» обучающиеся должны уяснить: удельные энергозатраты и КПД компрессионных трансформаторов тепла; энергетический и эксергетический балансы компрессионных трансформаторов тепла; методику расчета одноступенчатых трансформаторов тепла; регенеративный теплообмен в парожидкостных трансформаторах тепла.

В ходе освоения *раздела 4* «Многоступенчатые холодильные установки» обучающиеся должны уяснить: многоступенчатые компрессионные трансформаторы тепла; применение двухступенчатых теплонасосных установок в системах теплоснабжения; каскадные рефрижераторные установки.

В ходе освоения *раздела 5* «Абсорбционные трансформаторы тепла» обучающиеся должны уяснить: принцип действия идеальных абсорбционных установок и удельный расход тепла в них; схему и процесс работы реальных абсорбционных трансформаторов тепла; методику расчета одноступенчатых абсорбционных трансформаторов тепла; зависимость удельного расхода энергии в абсорбционных установках от параметров генерации, испарения и охлаждения.

В ходе освоения *раздела 6* «Струйные трансформаторы тепла» обучающиеся должны уяснить: типы струйных трансформаторов тепла; газодинамические функции; принципиальную схему и КПД струйного компрессора.

В ходе освоения *раздела 7* «Газовые трансформаторы тепла» обучающиеся должны уяснить: особенности процессов в газовых трансформаторах тепла; идеальные газовые циклы со стационарными процессами; реальные газовые циклы и квазициклы со стационарными процессами; газовые циклы и установки с нестационарными процессами.

При подготовке к *экзамену* рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: назначение трансформаторов тепла; термодинамические основы процессов трансформации тепла; одноступенчатые парокомпрессионные трансформаторы тепла; многоступенчатые холодильные установки; абсорбционные и струйные трансформаторы тепла; газовые трансформаторы тепла.

В процессе проведения *практических занятий* происходит закрепление знаний о проведении расчётов: одноступенчатой и 2-ух ступенчатой парокомпрессионных холодильных машин; определение теплового баланса абсорбционной холодильной установки.

В процессе проведения *лабораторных работ* происходит формирование умений и навыков реализации: исследования цикла парокомпрессионной холодильной установки; составлении теплового баланса фреоновой компрессионной холодильной установки; исследование режимов работы водоохладителей различного типа на ЭВМ.

Работа с *литературой* является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий (в виде презентаций, проблемной лекции, лекции с запланированными ошибками) в сочетании с внеаудиторной работой.

АННОТАЦИЯ
рабочей программы дисциплины
Основы трансформации тепла

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является: получить материал необходимый для проектирования и эксплуатации современных трансформаторов тепла материал дает основу для дипломного проектирования.

Задачей изучения дисциплины является: научить будущих бакалавров владеть и принимать участие в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции; проведением предварительного технико-экономического обоснования проектных решений; контролем соблюдения норм расхода топлива и всех видов энергии

2. Структура дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк – 24 час., ЛР – 12 час., ПЗ - 12 часов, СР– 60 час.,

Общая трудоемкость дисциплины составляет 144 часов, 4 зачетных единиц.

2.2 Основные разделы дисциплины:

- 1 - Назначение трансформаторов тепла
- 2 - Термодинамические основы процессов трансформации тепла
- 3 - Одноступенчатые парокompрессионные трансформаторы тепла
- 4 - Многоступенчатые холодильные установки
- 5 - Абсорбционные трансформаторы тепла
- 6 - Струйные трансформаторы тепла
- 7 - Газовые трансформаторы тепла

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-9 - способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве;

ПК-10 - готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов.

4. Вид промежуточной аттестации: экзамен

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20__-20__ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры № ____ от « ____ » _____ 20 __ __ г.,
(разработчик)

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника от «01» октября 2015г. № 1081

для набора 2014 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «03» июля 2018 г. № 413

для набора 2015 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «04» декабря 2015 г. №771 , заочной формы обучения от «04» декабря 2015 г. №771

для набора 2016 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» июня 2016 г. №429 , заочной формы обучения от «06» июня 2016 г. №429 для заочной формы (ускоренного обучения) от «06» июня 2016 г. № 429

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» марта 2017 г. №125 , заочной формы обучения от «06» марта 2017 г. №125 для заочной формы (ускоренного обучения) от «04» апреля 2017 г. №203

для набора 2018 года и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018 г. №130 , заочной формы обучения от «12» марта 2018 г. №130

Программу составил:

Федяева В.Н., к.т.н., доцент каф. ПТЭ _____

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ПТЭ

от «13» декабря 2018 г., протокол № 4

Заведующий кафедрой ПТЭ _____ Федяев А.А.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий выпускающей кафедрой ПТЭ _____ Федяев А.А.

Директор библиотеки _____ Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией факультета ЭиА

от «28» декабря 2018 г., протокол № 5

Председатель методической комиссии факультета ЭиА _____ А.Д.Ульянов

СОГЛАСОВАНО:

Начальник
учебно-методического управления _____ Г.П. Нежевец

Регистрационный № _____