

*МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

**Определение параметров холодопроизводительной установки**

Методические указания  
к выполнению самостоятельной работы  
по дисциплине «Основы трансформации теплоты»  
для бакалавров направления 13.03.01  
«Теплоэнергетика и теплотехника»

Курган 2019

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Основы трансформации теплоты» (направление 13.03.01. «Теплоэнергетика и теплотехника»).

Составил: канд. техн. наук, доц. В. А. Савельев.

Утверждены на заседании кафедры

«30» ноября 2018 г.

Рекомендованы методическим советом университета «20» декабря 2017 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Основы трансформации теплоты» знакомит студентов-теплоэнергетиков с технологиями и оборудованием отвода теплоты от теплоносителей с низким температурным потенциалом и передачи её теплоносителям с более высокой температурой; формирует навыки термодинамических и эксергетических расчетов основ теории трансформации тепла для различных холодильных установок компрессионного, абсорбционного, струйного типа.

### Общие положения

Изучение дисциплины базируется на основных разделах дисциплин профессионального цикла бакалаврского плана подготовки:

- техническая термодинамика;
- тепломассообмен;
- гидрогазодинамика.

Изучение указанной дисциплины необходимо для получения знаний, умений и навыков в последующих дисциплинах профессионального цикла.

Студенту предлагается самостоятельно проработать материал, указанный в предлагаемом перечне разделов и тем изучаемой дисциплины, а затем решить задачи по определению параметров холодопроизводительной установки.

### Тематический план изучения дисциплины

Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Количество часов контактной работы с преподавателем		
		Лекции	Практич. занятия	Лабораторные работы
		заоч.	заоч.	заоч.
1	Термодинамические основы трансформации теплоты	0,5	-	-
2	Парожидкостные холодильные и теплонаносные установки	1	2	4
3	Хладагенты и хладоносители	1	2	-
4	Абсорбционные трансформаторы тепла	1	2	-
5	Газовые компрессионные трансформаторы тепла	1	-	-
6	Струйные трансформаторы тепла	0,5	-	-
7	Сжижение и замораживание газов	0,5	-	-
8	Термоэлектрические трансформаторы теплоты	0,5	-	-
<b>Всего:</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>4</b>

## **Содержание лекционных занятий**

### **Раздел 1. Термодинамические основы трансформации теплоты.**

Назначение, область использования, классификация трансформаторов тепла. Циклические, квазициклические и нециклические процессы в трансформаторах тепла. Каскадные и регенеративные трансформаторы тепла. Эксергетический метод анализа систем трансформации тепла. Определение значения эксергии. Основные термодинамические зависимости.

### **Раздел 2. Парожидкостные холодильные и теплонаосные установки**

Принцип работы парокompрессионных трансформаторов теплоты. Схема и цикл простейшей парокompрессионной холодильной машины (ПКХМ). Термодинамический анализ циклов. Принципы расчёта теоретического цикла ПКХМ. Схемы и циклы двухступенчатых и каскадных холодильных машин. Термодинамический анализ. Области применения. Парокompрессионные тепловые насосы. Удельные энергозатраты и КПД компрессионных трансформаторов тепла.

### **Раздел 3. Хладагенты и хладоносители**

Требования, предъявляемые к хладагентам (термодинамические и теплофизические свойства, гидродинамические свойства, способность растворять воду и смазочное масло, коррозионная активность, взрыво- пожаро- безопасность, неядовитость). Основные рабочие тела и хладагенты – аммиак, фреоны хладоны и др. Характеристика, свойства и область применения. Системы охлаждения: прямая и промежуточная – достоинства и недостатки. Хладоносители – назначение, виды, свойства, области применения.

### **Раздел 4. Абсорбционные трансформаторы тепла**

Принцип действия, схемы и процесс работы абсорбционных трансформаторов тепла. Методика расчета одноступенчатых абсорбционных трансформаторов тепла. Зависимость удельного расхода энергии в абсорбционных установках от параметров генерации, испарения и охлаждения. Абсорбционные трансформаторы тепла двухступенчатые и периодического действия. Абсорбционно-диффузионные холодильные установки. Энергетическое сравнение абсорбционных и компрессионных холодильных установок.

### **Раздел 5. Газовые компрессионные трансформаторы тепла**

Особенности процессов в газовых трансформаторах тепла. Идеальные газовые циклы со стационарными процессами. Газовые циклы и установки с нестационарными процессами.

### **Раздел 6. Струйные трансформаторы тепла**

Типы струйных трансформаторов тепла. Принципиальная схема и КПД струйного компрессора. Определение коэффициента инжекции и давления сжатия струйного компрессора. Зависимость достижимых параметров от температур и критических скоростей взаимодействующих потоков. Характеристики

струйного компрессора. Принципиальная схема и КПД пароэжекторных холодильных установок, работа в нерасчетных условиях. Принципиальная схема вихревой трубы и процесс ее работы.

### **Раздел 7. Сжижение и замораживание газов**

Особенности системы сжижения, замораживания и низкотемпературного разделения. Идеальные процессы сжижения и замораживания (конденсирования) газов. Технические процессы сжижения и замораживания газов. Свойства газовых смесей и характеристика методов их разделения. Идеальные процессы разделения газовых смесей. Технические процессы низкотемпературного разделения газовых смесей.

### **Раздел 8. Термоэлектрические трансформаторы теплоты**

Особенности классификация электрических и магнитных трансформаторов тепла. Физические основы работы термоэлектрических и термомагнитных трансформаторов тепла. Термоэлектрические и термомагнитоэлектрические трансформаторы теплоты. Термодинамические основы получения низких температур магнитокалорическим и электрокалорическим методами. Магнитокалорические и электрокалорические трансформаторы теплоты.

## **Трансформаторы теплоты**

Устройства, служащие для переноса тепловой энергии от тела с более низкой температурой  $T_n$  (теплоотдатчика) к телу с более высокой температурой  $T_b$  (теплоприемнику), называются трансформаторами теплоты. Чтобы осуществить такое преобразование теплоты, 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 теплоты, они подразделяются на холодильные (криогенные) и теплонасосные установки.

По принципу работы трансформаторы подразделяются на компрессионные (паровые и газовые), сорбционные, струйные, термоэлектрические и магнитные установки. Установки для трансформации теплоты также различаются по виду цикла; по характеру трансформации; по периодичности.

По виду осуществляемого процесса различают трансформаторы теплоты, 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 отведённого в установку подаётся 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.

По характеру трансформации различают повысительные и расщепительные установки. В установках, работающих по повысительной схеме, подведённое 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—низкий и повышенный потенциалы. Работа установки осуществляется за счёт энергии теплового потока среднего потенциала. По расщепительной схеме работают струйные вихревые установки и некоторые типы компрессионных и абсорбционных установок.

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.

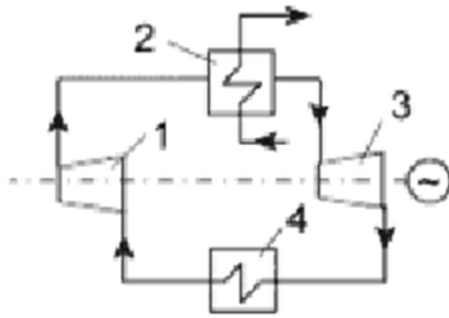
### **Схемы и циклы холодильных машин**

В холодильных установках температура теплоотдатчика ниже температуры окружающей среды, т. е.  $T_H < T_0$ , а температура теплоприемника равна температуре окружающей среды, т. е.  $T_B = T_0$ . Холодильные установки (с уровнем отвода теплоты  $T_0 = 120 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $-150^\circ\text{C}$ )) предназначены для охлаждения и поддержания при низких температурах различных объектов и технических систем.

Холодильные установки в зависимости от агрегатного состояния рабочего тела делятся на газовые, газожидкостные и парожидкостные.

### **Газовые компрессионные холодильные машины**

В газовых компрессионных холодильных машинах рабочее тело во всех процессах остаётся в газообразном состоянии. Наиболее распространены из них воздушные и гелиевые. В воздушных холодильных машинах получение низких температур осуществляется за счёт адиабатного расширения воздуха при совершении внешней работы. Схема идеальной воздушной холодильной машины приведена на рисунке 1.



1 – компрессор, 2 – охладитель, 3 – детандер (расширитель),  
4 – охлаждаемое помещение.

Рисунок 1 – Схема газовой идеальной холодильной машины  
Работа идеальной газовой холодильной машины

Воздух из охлаждаемого помещения 4 при температуре  $T_0$  засасывается компрессором 1 и после адиабатного сжатия до давления  $p_1$  подаётся в охладитель 2 с температурой  $T_1$ , где охлаждается водой при постоянном давлении. Затем сжатый охлаждённый воздух поступает в детандер 3 (расширитель), где совершает полезную работу при адиабатном расширении до первоначального давления  $p_0$  с понижением температуры.

Установки такого типа сейчас практически не применяют из-за их неэкономичности и больших расходов воздуха (т. к. этот хладоноситель обладает малой теплоёмкостью), что делает установку громоздкой и повышает её стоимость.

В газожидкостных установках рабочее тело находится в виде газа в тёплой части при температурах, далёких от критической, а в холодной части – в виде влажного пара и жидкости.

### Парожидкостные установки

В парожидкостных установках рабочее тело находится либо в виде жидкости и влажного пара, либо перегретого пара при температурах ниже критической, или близкой к ней. Парожидкостные холодильные установки в зависимости от принципа работы делятся на три вида: парокompрессионные, абсорбционные и струйные.

### Паровые компрессорные холодильные машины

Работа парокompрессионных холодильных машин основана на сжатии в компрессоре сухого насыщенного или незначительно перегретого пара рабочего тела. В цикле паровой компрессионной холодильной машины происходит непрерывное фазовое превращение рабочего тела (кипение, испарение, а затем

конденсация). Принципиальная схема одноступенчатой идеальной паровой холодильной машины приведена на рисунке 2. Основными элементами оборудования установки являются компрессор, конденсатор, регулировочное устройство (дроссель) и испаритель. Цикл машины, представляющий собой обратный цикл Карно, происходит в области влажного пара.

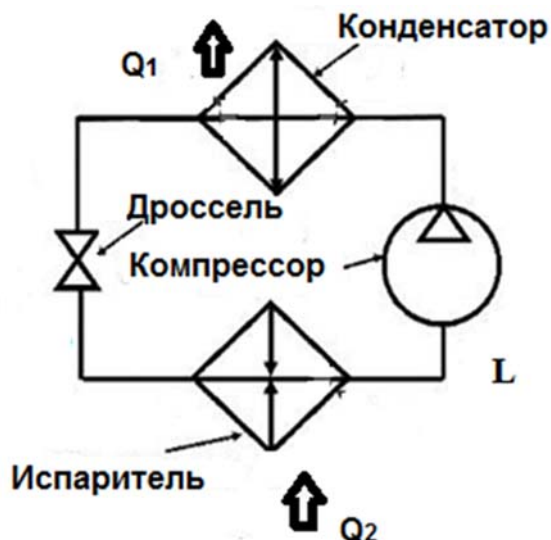


Рисунок 2 – Принципиальная схема парокомпрессионной холодильной машины

Холодильный агент кипит в испарителе при подводе теплоты  $Q_2$  от охлаждаемого тела при давлении  $P_0$  и температуре  $T_0$ . Влажный пар из испарителя засасывается компрессором и сжимается адиабатно с повышением давления до  $P_1$  и температуры до  $T_1$ . Компрессор совершает работу внешних сил  $L$  и нагнетает свежий пар в конденсатор, где пар конденсируется при постоянном давлении  $P_1$  и понижении температуры до  $T_0$ , отдавая охлаждающему теплоносителю тепло  $Q_1$ . Жидкий хладагент поступает в дроссель, расширяется адиабатно, с понижением давления до  $P_0$  и частично испаряется. Далее хладагент поступает в испаритель, и рабочий цикл повторяется снова.

Цикл паровой компрессионной установки в  $TS$  - координатах представлен на рисунке 3. Циклы холодильных установок, в отличие от циклов тепловых двигателей, являются обратными. Процесс сжатия хладагента в компрессоре показан адиабатой 1–2. Процесс отвода теплоты  $Q_1$  с понижением температуры показан изобарой 2–3. Понижение давления до  $P_0$  происходит по линии 3–4, которую условно считают адиабатой. Процесс испарения в испарителе показан изобарой 4–1, которая одновременно является и изотермой.



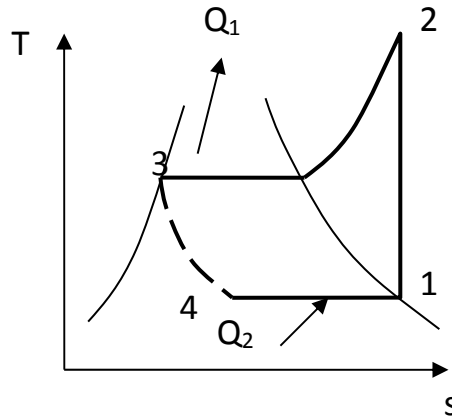


Рисунок 3 – Цикл паровой компрессионной установки в TS - координатах

Удельная холодопроизводительность холодильной установки  $q_o$ , кДж/кг:

$$q_o = h_1 - h_4.$$

Затрачиваемая работа (работа привода компрессора)  $\ell_{ц}$ , кДж/кг:

$$\ell_{ц} = h_2 - h_1.$$

Расход холодильного агента

$$m = Q_o/q_o,$$

где  $Q_o$ , кДж/с – холодопроизводительность установки.

Эффективность циклов холодильных машин оценивается холодильным коэффициентом:

$$\varepsilon = q_o/\ell_{ц}.$$

Теоретическая мощность, необходимая для привода компрессора:

$$N = m \cdot \ell_{ц}.$$

Холодильный коэффициент пароконденсационной установки

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1},$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – энтальпии на входе и на выходе из компрессора;

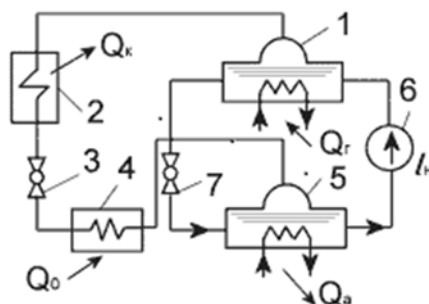
$h_3$  – энтальпия жидкого хладагента после конденсации ( $h_3 = h_4$ ).

### Абсорбционные холодильные машины

В абсорбционных холодильных машинах применяется бинарная смесь, компоненты которой имеют различные температуры кипения при одинаковом давлении. Холодильный агент должен иметь низкую температуру кипения, абсорбент (поглотитель) – более высокую. Сжатие пара основано на абсорбции

рабочего тела (поглощении из раствора или смеси газов твёрдым телом или жидкостью) при температуре окружающей среды и его десорбции (выделении в окружающую среду из твёрдого тела) при более высокой температуре. Установки такого типа наиболее распространены из-за их простоты, надёжности и экономичности.

Наибольшее распространение получили водоаммиачные растворы, в которых аммиак является холодильным агентом, а вода – абсорбентом. Принципиальная схема водоаммиачной холодильной машины приведена на рисунке 4.



1 – генератор (кипятильник), 2 – конденсатор, 3 – дроссель, 4 – испаритель,  
5 – абсорбер, 6 – насос, 7 – регулирующий вентиль.

Рисунок 4 – Схема водоаммиачной холодильной машины

#### Работа водоаммиачной холодильной машины

Пары аммиака, образовавшиеся в испарителе 4 при давлении  $p_0$  и температуре  $t_0$ , засасываются в абсорбер 5, где поглощаются слабым водоаммиачным раствором. Теплота  $Q_a$ , выделяющаяся при поглощении паров аммиака, отводится охлаждающей водой. Процесс абсорбции происходит при постоянном давлении, несколько меньшем давления в испарителе  $p_0$ . Полученный в абсорбере раствор насосом 6 перекачивается в генератор (кипятильник) 1. При этом насосом затрачивается работа  $I_n$ . В генераторе водоаммиачный раствор выпаривается при давлении, несколько большем, чем давление в конденсаторе  $p_k$ . Тепло  $Q_g$ , затраченное на получение водоаммиачного пара, подводится от внешнего источника (пар, горячая вода). Водоаммиачный пар с большой концентрацией аммиака поступает в конденсатор 2 и в нём конденсируется, отдавая тепло  $Q_k$  охлаждающей воде. Из конденсатора жидкий аммиак через регулирующий вентиль (дроссель) 3 направляется в испаритель, где кипит, производя охлаждающий эффект  $Q_0$ .

#### Струйные холодильные машины

Струйные (пароэжекторные). Особенность пароэжекторной холодильной машины состоит в том, что для её работы используется кинетическая энергия струи рабочего пара. В этих машинах в качестве хладоагента обычно применяют воду. Отсутствие в пароэжекторных машинах промежуточного теплоносителя позволяет получить температуру охлаждаемой воды, равную температуре

кипения в испарителе, что повышает тепловую эффективность и экономичность холодильной машины. К достоинствам парожеторной машины следует отнести также простоту конструкции и обслуживания в работе. Однако с помощью таких машин можно получить холод при положительных температурах 0–10 °С. Схема струйной парожеторной машины представлена на рисунке 5.

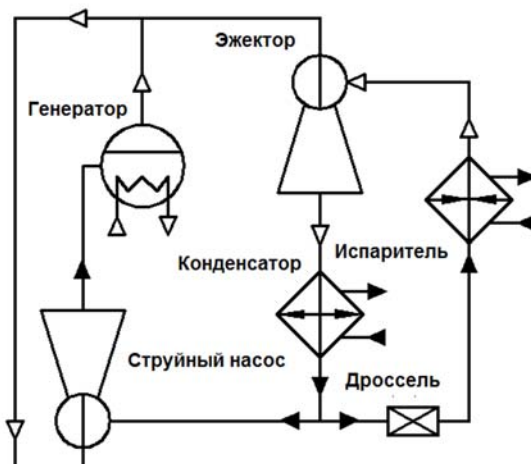


Рисунок 5 Схема струйной парожеторной машины

Струйные аппараты находят широкое применение. Рабочий поток через сопло проходит в струйный аппарат и за счёт использования его энергии инжектируемый компонент поступает в смесительную камеру – диффузор. Из аппарата выходит смесь двух потоков. Струйные тепловые насосы получили в настоящее время наибольшее распространение благодаря простоте обслуживания, компактности, отсутствию дорогостоящих элементов. На рисунке 6 показана схема работы струйного насоса.



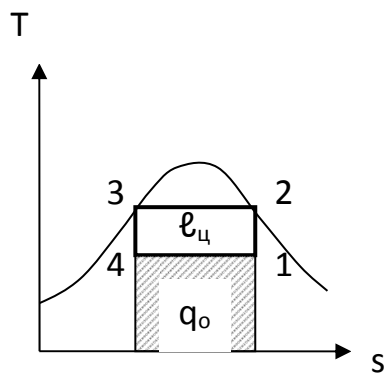
1 – сопло, 2 – корпус насоса, 3 – диффузор (камера смешения).

Рисунок 6 – Схема работы струйного насоса

### Примеры решения задач

**Задача 1** Пар аммиака при температуре  $t_1 = -10^\circ\text{C}$  поступает в компрессор, где адиабатно сжимается до давления, при котором его температура  $t_2 = 20^\circ\text{C}$ , а степень сухости  $x = 1$ . Из компрессора аммиак поступает в конденсатор, где при постоянном давлении обращается в жидкость ( $x=0$ ), после чего в расширительном цилиндре он адиабатно расширяется до температуры  $t_4 = t_1 = -10^\circ\text{C}$ . Определить

холодильный коэффициент и работу сжатия в компрессоре на 1 кг хладагента.



**Решение.**

По таблице 2 приложения А

при  $t_1 = -10^\circ\text{C}$  находим:

$$s' = 4,0164 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}),$$

$$s'' = 8,9438 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

при  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ :

$$s' = 4,5155 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}),$$

$$s'' = 8,5658 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}),$$

$$r = 1186,9 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Процесс 1-2 адиабатный:

$$s_1 = s_2 = s''_2 = 8,5658 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}),$$

Процесс 3-4 адиабатный:

$$s_4 = s_3 = s'_3 = 4,5155 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}),$$

$$\Delta s = s_2 - s_3 = s_1 - s_4 = 8,5658 - 4,5155 = 4,0503 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

Удельная холодопроизводительность аммиака:

$$q_o = T_1(s_1 - s_4) = (-10 + 273) \cdot 4,0503 = 1065,23 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Тепловая нагрузка конденсатора:

$$q_k = h_2 - h_3 = r_2 = 1186,9 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Работа сжатия:

$$l_{ц} = q_k - q_o = 1186,9 - 1065,23 = 121,67 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Холодильный коэффициент:

$$\varepsilon = q_o / l_{ц} = 1065,23 / 121,67 = 8,76.$$

**Задача 2** В схеме аммиачной холодильной установки, приведенной в предыдущем примере, расширительный цилиндр заменяется дросселем (редукционным вентиляем). В остальном все условия задачи сохраняются. Определить холодильный коэффициент.

**Решение.**

В редукционном вентиле процесс 3-4 – процесс дросселирования при  $h = \text{const}$ . Энтропия при этом увеличивается.

По таблице 2 приложения А:

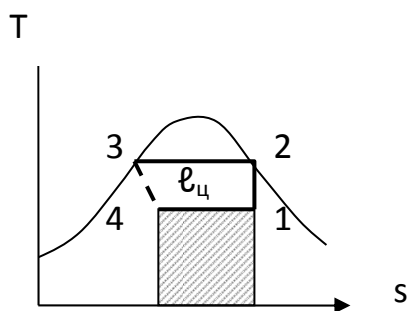
при  $t_1 = -10^\circ\text{C}$ :

$$h' = 372,6 \text{ кДж/кг}, h'' = 1669,3 \text{ кДж/кг},$$

при  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ :

$$h' = 512,5 \text{ кДж/кг}.$$

Удельная холодопроизводительность:



$$q_0 = T_1(s_1 - s_4).$$

В процессе 1-2 постоянная энтропия:

$$s_1 = s_2 = s''_2 = 8,5658 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K}).$$

Энтропию в точке 4 можно определить, зная степень сухости  $x_4$ :

$$s_4 = s'_4 + (s''_4 - s'_4) \cdot x_4.$$

Степень сухости определяется из условия  $h_4 = h'_3$ :

$$x_4 = \frac{h_4 - h'_4}{h''_4 - h'_4} = \frac{h'_3 - h'_4}{h''_4 - h'_4} = \frac{512,5 - 372,6}{1669,3 - 372,6} = 0,1079.$$

$$s_4 = 4,0169 + (8,9438 - 4,0169) \cdot 0,1079 = 4,549 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

$$q_0 = T_1(s_1 - s_4) = 263 (8,5658 - 4,549) = 1056,42 \text{ кДж/кг}.$$

Тепловая нагрузка конденсатора:

$$q_K = h_2 - h_3 = r_2 = 1186,9 \text{ кДж/кг}.$$

Работа сжатия:

$$l_c = q_K - q_0 = 1186,9 - 1056,42 = 130,48 \text{ кДж/кг}.$$

Холодильный коэффициент:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{1056,42}{130,48} = 8,096.$$

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

К решению задач следует приступить только после того, как будет изучен соответствующий раздел курса. Перед выполнением контрольной работы рекомендуется ознакомиться с ходом решения аналогичных задач по учебной литературе.

Контрольная работа содержит две задачи. В каждой задаче исходные данные выбираются из соответствующих таблиц по последней и предпоследней цифре учебного шифра студента (две последние цифры номера зачетной книжки). Варианты работы должны соответствовать шифру студента. Шифр указывается на обложке тетради. Работы, выполненные не по своему шифру, не рассматриваются. При выполнении контрольных задач необходимо соблюдать следующий порядок:

1 Выписать условия задачи и исходные данные;

2 Решение задач сопровождать кратким пояснением. При использовании данных, взятых из таблиц или диаграмм, должно быть дано точное библиографическое описание источника. Полный список использованной литературы приводится в конце работы.

3 Вычисления необходимо выполнять в системе СИ, проставлять размерности.

### Задачи для решения

#### Задача 1

Пар хладона R-12 при температуре  $t_1$  поступает в компрессор, где изотропно сжимается до давления, при котором его температура становится равной  $t_2$ , а сухость пара  $x_2=1$ . Из компрессора хладон поступает в конденсатор, где при постоянном давлении превращается в жидкость, после чего адиабатно расширяется в дросселе до температуры  $t_4=t_1$ .

Определить холодильный коэффициент установки, массовый расход хладона, а также теоретическую мощность привода компрессора, если холодопроизводительность установки  $Q_0$ . Изобразить схему установки и её цикл в  $T,s$  – диаграмме.

Таблица к задаче 1

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_1, ^\circ\text{C}$	-20	-15	-10	-20	-15	-20	-10	-20	-10	-15
$t_2, ^\circ\text{C}$	15	20	25	10	30	15	20	25	10	30
Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

$Q_o$ , кВт	150	200	170	190	260	300	280	130	240	250
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

## Задача 2

Аммиачная холодильная установка при температуре кипения хладагента  $t_1$  и температуре его конденсации  $t_2$  имеет холодопроизводительность  $Q_o$ .

Определить холодильный коэффициент установки, массовый расход хладагента, а также теоретическую мощность привода компрессора, если известно, что пар аммиака после компрессора становится сухим насыщенным. Изобразить схему установки и её цикл в  $T,s$  – диаграмме.

### Таблица к задаче 2

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_1$ , °C	-20	-15	-10	-15	-20	-15	-10	-15	-20	-10
$t_2$ , °C	25	20	15	15	30	15	20	25	10	30
Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_o$ , кВт	150	200	190	170	260	125	280	130	300	250

Данные о насыщенных парах хладона R-12 и аммиака приведены в таблицах приложения А. При расчетах циклов холодильных машин между таблицами, приводимыми в разных литературных источниках и диаграммами для одного и того же вещества, могут быть существенные расхождения, поэтому необходимо указать источник.



ПРИЛОЖЕНИЕ А  
*Параметры состояния хладагентов*

Таблица 1 – Термодинамические свойства хладона R-12 в состоянии насыщения [4]

$t$ , °C	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг·К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
-20	381,38	542,96	161,58	3,930	4,568
-15	385,98	545,26	159,28	3,948	4,565
-10	390,63	547,55	156,92	3,965	4,563
-5	395,30	549,82	154,52	3,983	4,559
0	400,00	552,06	152,06	4,000	4,557
5	404,75	554,28	149,53	4,017	4,555
10	409,54	556,45	146,92	4,034	4,553
15	414,36	558,59	144,23	4,051	4,551
20	419,22	560,69	141,46	4,067	4,550
25	424,13	562,73	138,81	4,084	4,549
30	429,08	564,72	135,64	4,099	4,547

Таблица 2 – Термодинамические свойства аммиака в состоянии насыщения [4]

$t$ , $^{\circ}\text{C}$	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг· К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
-20	327,4	1655,9	1328,97	3,8410	9,0895
-15	350,0	1662,6	1312,06	3,9293	9,0150
-10	372,6	1669,3	1294,48	4,0164	8,9438
-5	395,6	1675,1	1276,25	4,1022	8,8756
0	418,7	1681,0	1257,38	4,1868	8,8096
5	441,7	1686,4	1237,89	4,2705	8,7458
10	465,2	1691,0	1217,80	4,3530	8,6838
15	488,6	1695,6	1197,12	4,4346	8,6240
20	512,5	1699,4	1186,9	4,5155	8,5658
25	536,3	1703,2	1154,10	4,5954	8,5092
30	581,1	1705,7	1131,78	4,6746	8,4563

## Вопросы к зачету

- 1 Классификация теплотрансформаторов по положению температурных уровней: холодильные машины, тепловые насосы, комбинированные установки. Назначение, область применения.
- 2 Классификация теплотрансформаторов по принципу работы и фазовому состоянию рабочего тела(хладагента). Термодинамическая и энергетическая эффективность. Области применения.
- 3 Анализ термодинамических циклов теплотрансформаторов. Принципы трансформации теплоты.
- 4 Простейшая парокомпрессионная холодильная машина. Схема, принцип работы. Термодинамические циклы. Термодинамическая и энергетическая эффективность.
- 5 Парокомпрессионная холодильная машина с переохладителем конденсата. Схема, принцип работы. Термодинамические циклы. Термодинамическая и энергетическая эффективность.
- 6 Построение цикла работы парокомпрессионной холодильной машины, по исходным данным для проектирования,  $\lg P, i$ -диаграмме, расчёт цикла.
- 7 Двухступенчатые холодильные машины.
- 8 Каскадные холодильные машины.
- 9 Требования предъявляемые к холодильным агентам. Свойства аммиака и фреонов.
- 10 Системы охлаждения - прямая и промежуточная. Достоинства и недостатки.
- 11 Хладоносители. Свойства. Область применения.
- 12 Компрессоры. Общие понятия. Классификация.
- 13 Прямоточный поршневой компрессор, конструктивная схема.
- 14 Непрямоточный поршневой компрессор - конструктивная схема.
- 15 Степень герметичности компрессоров. Маркировка серийных компрессоров.
- 16 Ротационные компрессоры. Принцип действия, область применения.
- 17 Винтовые компрессоры. Принцип действия, область применения.
- 18 Турбокомпрессоры. Принцип действия, область применения.
- 19 Кожухотрубные конденсаторы. Конструкции. Достоинства и недостатки.
- 20 Испарительные и воздушные конденсаторы. Область применения.
- 21 Промежуточные испарители. Конструкции. Достоинства и недостатки.
- 22 Камерное оборудование.
- 23 Вспомогательное оборудование. Отделители жидкости, маслоотделители, ресиверы.

- 24 Устройства для охлаждения оборотной воды: градирни, брызгальные бассейны.
- 25 Абсорбционная холодильная машина. Схема, принцип работы, область применения.
- 26 Пароэжекторная холодильная машина. Схема, принцип работы, область применения.
- 27 Воздушная холодильная машина. Схема, принцип работы, область применения.
- 28 Расширительные машины. Турбодетандеры. Вихревые трубы.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

### **Основная учебная литература**

1 Луканин П. В. Технологические энергоносители предприятий (Низкотемпературные энергоносители) : учебное пособие. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГТУРП, 2009. – 116 с.

2 Соколов Е. Я., Бродянский В. М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения : Учебное. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 320 с. – URL: [http://www.Studmed.ru\\_sokolov-eya-brodyanskiy-vm-energeticheskie-osnovy-transformacii-tepla-i-processov-ohlazhdeniya\\_71bf2e37ba6](http://www.Studmed.ru_sokolov-eya-brodyanskiy-vm-energeticheskie-osnovy-transformacii-tepla-i-processov-ohlazhdeniya_71bf2e37ba6) (дата обращения 20.10.2017).

### **Дополнительная учебная литература**

1 Мартынов А. В. Установки для трансформации тепла и охлаждения. Сборник задач : учебное пособие– Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 200 с. – URL: [http://www.Studmed.ru\\_sokolov-eya-brodyanskiy-vm-energeticheskie-osnovy-transformacii-tepla-i-processov-ohlazhdeniya\\_71bf2e37ba6](http://www.Studmed.ru_sokolov-eya-brodyanskiy-vm-energeticheskie-osnovy-transformacii-tepla-i-processov-ohlazhdeniya_71bf2e37ba6). Доступ из ЭБС «Studmed.ru».

2 В. А. Барилевич, Ю. А. Смирнов. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена: Учебное пособие – Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 432 с. Доступ из ЭБС «znanium.com».

### **Учебно – методическое обеспечение**

1 Определение параметров холодопроизводительной установки : методические указания к выполнению самостоятельной работы по курсу «Основы трансформации теплоты» для студентов направления 13.03.01«Теплоэнергетика и теплотехника» / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; [сост.: В. А. Савельев] – Курган: Издательство Курганского государственного университета, 2019. – 8 с.– Доступ из ЭБС КГУ.

2 Определение холодильного коэффициента компрессорной холодильной машины : методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Основы трансформации теплоты» для студентов направления 13.03.01«Теплоэнергетика и теплотехника» Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; [сост.: В. А. Савельев] – Курган: Издательство Курганского государственного университета, 2019. – 10 с.– Доступ из ЭБС КГУ.

Савельев Виктор Андреевич

## **Определение параметров холодопроизводительной установки**

Методические указания  
к выполнению самостоятельной работы  
по дисциплине «Основы трансформации теплоты»  
для бакалавров направления 13.03.01  
«Теплоэнергетика и теплотехника»

Редактор Н. Н. Погребняк

---

Подписано в печать 21.10.19	Формат 60x84 1/16	Бумага. 65 гр м. <sup>2</sup>
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,25	Уч.-изд. л. 1,25
Заказ 152	Тираж 25	<u>Не для продажи</u>

БИЦ Курганского государственного университета.

640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.

Курганский государственный университет.