



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплоэнергетика и прикладная гидромеханика»

## Тепловой расчёт холодильной машины

### «Теплотехника»

Авторы:

Коваленко Ю.В.

Романов В.В.

Бабенков Ю.В.

Озерский А.И.

Тихомиров А.Г.

Ростов-на-Дону, 2012



## Аннотация

В компактной форме приводится тепловой расчет холодильной установки с подбором соответствующего компрессора. С целью освоения методики расчета указанной работы разработаны индивидуальные задания.

Предназначены для студентов 3-го курса специальностей всех форм обучения

**Составители:** канд. техн. наук, доц. Ю.В. Коваленко  
канд. техн. наук, доц. В.В. Романов  
канд. техн. наук, доц. Ю.И. Бабенков  
канд. техн. наук, доц. А.И. Озерский  
канд. техн. наук, доц. А.Г. Тихомиров





## Оглавление

<b>Тепловой расчет одноступенчатой холодильной машины .</b>	<b>4</b>
<b>Пример. ....</b>	<b>6</b>
<b>Самостоятельные задания.....</b>	<b>8</b>



## ТЕПЛОЙ РАСЧЕТ ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Холодильные агрегаты бытовых холодильников выполняют роль холодильных машин, т. е. служат для отвода тепла из холодильной камеры и передачи его в более теплую окружающую среду. Агрегат может быть демонтирован из шкафа и заменен другим, предназначенным для холодильников данного типа. Конструкции отдельных, узлов и деталей холодильных агрегатов различных холодильников с одной холодильной камерой и дверцей могут несколько отличаться друг от друга, однако принципиальная схема их одинакова.

Холодильный процесс осуществляется следующим образом. При работе мотор-компрессора жидкий хладагент из конденсатора по капиллярной трубке подается в испаритель. При этом давление и температура жидкого хладагента понижаются за счет ограниченной пропускной способности капиллярной трубки и охлаждения холодными парами хладагента, идущими навстречу по всасывающей трубке из испарителя. При температуре  $-10 - 20$  °С и давлении  $0 - 1$  атм жидкий хладагент в испарителе кипит, поглощая тепло из холодильной камеры. Чтобы обеспечить постоянное кипение хладагента в испарителе при определенном давлении, холодные пары его отсасываются компрессором через всасывающую трубку. При движении паров к компрессору температура их повышается за счет теплообмена с теплым жидким хладагентом, движущимся по капиллярной трубке, и окружающей средой. При входе в кожух мотор-компрессора температура паров равна примерно  $15$  °С.

Так как температура обмоток электродвигателя и цилиндра компрессора значительно выше  $15$  °С, то они охлаждаются парами хладагента, что улучшает условия работы электродвигателя и компрессора в герметичном кожухе. Подогретые пары хладагента нагнетаются компрессором в конденсатор, который охлаждается воздухом окружающей среды. При этом давление паров повышается до  $8 - 11$  атм в зависимости от температуры окружающей среды. При таком давлении температура конденсации насыщенных паров хладагента становится выше температуры окружающего воздуха, поэтому в последних витках конденсатора пары хладагента превращаются в жидкость. Процесс конденсации паров сопровождается выделением тепла, которое отдается окружающему воздуху. Жидкий хладагент, имеющий температуру на

$10 - 15$  °С выше температуры окружающей среды, проходит через фильтр, совмещенный с осушительным патроном, и далее по капиллярной трубке вновь поступает в испаритель. Описанный круговой холодильный



процесс работы агрегата повторяется пока работает мотор-компрессор.

Наибольшее распространение для охлаждения тел до температуры – 20°C получили холодильные установки, в которых холодильным агентом являются легкокипящие жидкости – аммиак, фреоны, сернистый ангидрид и др.

Схема и термодинамический цикл холодильной компрессорной установки, работающей на парах аммиака представлены на рисунках 1 и 2.

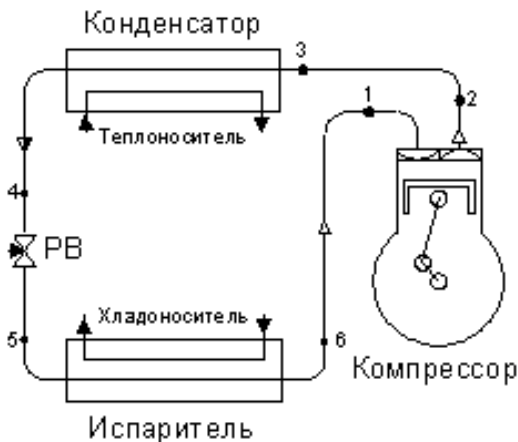


Рис. 1. Схема компрессионного холодильного агрегата

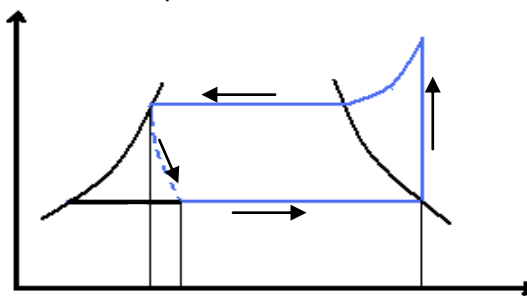


Рис. 2. Диаграмма термодинамического цикла рабочего тела в компрессионном холодильном агрегате

В компрессоре сжимается аммиачный сухой насыщенный пар или влажный пар с большой степенью сухости по адиабате 1-2 до состояния перегретого пара в точке 2 (рис.2). Из компрессора пар нагнетается в конденсатор,



## Теплотехника

где полностью превращается в жидкость (процесс 2-3-4). Из конденсатора жидкий аммиак проходит через дроссельный вентиль, в котором дросселируется, что сопровождается понижением температуры и давления. Затем жидкий аммиак с низкой температурой поступает в охладитель, где получает количество теплоты (процесс 5-1), испаряется и охлаждает рассол, который циркулирует в охлаждаемых камерах. Процесс дросселирования как необратимый процесс изображается на диаграмме условной кривой 4-5, энтальпии в этих точках равны.

Удельное количество теплоты  $q_2$ , получаемое от охлаждаемых тел изображается площадью 75187, т.е.  $i_1 - i_2 = i_1 - i_4$ . Удельное количество теплоты  $q_1$ , отведенное охлаждающей водой в конденсаторе, изображается площадью 64286. Удельная работа, затраченная на совершение цикла,  $l = q_1 - q_2 = i_2 - i_1$ .

Холодильный коэффициент компрессорной аммиачной установки  $\varepsilon = q_2 / l = (i_1 - i_4) / (i_2 - i_1)$ . Значения энтальпий определяются по таблицам соответствующим для каждого рабочего тела.

Основными показателями работы холодильной установки являются холодопроизводительность  $Q_0$ , расход электроэнергии  $N_{\text{э}}$ , удельный расход электроэнергии  $q$ , холодильный коэффициент  $\varepsilon$ .

### ПРИМЕР.

Произвести тепловой расчет одноступенчатой аммиачной холодильной машины. Подобрать соответствующий компрессор.

Даны:  $T_0 = 258 \text{ K}$  - температура кипения;  $T = 303 \text{ K}$  - температура конденсации;  $T_1 = 258 \text{ K}$  - температура всасывания (сухой насыщенный пар);  $T_3 = 303 \text{ K}$  - температура перед дросселем. Холодопроизводительность машины  $Q_0 = 120 \text{ кВт}$ . Рабочее тело фреон 12.

Параметры	1	2	3	4
$P, \text{ МПа}$	0,183	0,7435	0,7435	0,1830
$T, \text{ К}$	258	310	303	258
$i, \text{ кДж/кг}$	545,26	570,14	429,08	429,08
$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	0,09125			

По известным термодинамическим параметрам состояния диаграмме  $i$ - $\lg P$  определяются величины, характеризующие цикл.

1. Удельная массовая холодопроизводительность:  $q_0 = i_1 - i_4$ ;  
 $q_0 = 566,26 - 447,99 = 116,18 \text{ (кДж/кг)}$ ;
2. Удельная объемная холодопроизводительность:  $q_v = q_0 / v_1$ ;  
 $q_v = 116,18 / 0,091$ ;
3. Удельное количество теплоты, отведенное из конденсатора:  $q_k = i_2 - i_3$ ;



Теплотехника

$q_k=570,14-429,08=141,06$  (кДж/кг);

4. Удельная работа компрессора в теоретическом адиабатном процессе сжатия:

$l = i_2 - i_1; l = 570,14 - 545,26 = 24,88$  (кДж/кг);

5. Количество холодильного агента:  $G = Q_0 / q_0; G = 120 / 116,18 = 1,03$  (кг/с);

6. Объем всасывающего пара:  $V = G \cdot v_1; V = 1,03 \cdot 0,091 = 0,094$  (м<sup>3</sup>/с);

7. Количество тепла отведенного в конденсаторе (тепловая нагрузка):  $Q_k = G \cdot q_k; Q_k = 1,03 \cdot 141,06 = 145,29$  (кВт);

8. Коэффициент подачи компрессора:  $\lambda = \lambda_w \cdot \lambda_i \cdot \lambda_{пл};$

Коэффициент, учитывающий влияние «мертвого пространства» и депрессию в клапанах:  $\lambda_i = (P_0 - \Delta P_0) / P_0 - C \cdot [(P_k - \Delta P_k) / P_0 - (P_0 - \Delta P_0) / P_0];$

где  $P_0$  – давление кипения, МПа;  $P_0 = 0,183$  МПа;

$P_k$  – давление конденсации, МПа;  $P_k = 0,7435$  МПа;

$\Delta P_0$  – депрессия при всасывании, МПа;  $\Delta P_0 = 0,005$  МПа;

$\Delta P_k$  – депрессия при нагнетании, МПа;  $\Delta P_k = 0,01$  МПа;

$C$  – величина мертвого пространства;  $C = 0,06$ ;

$\lambda_i = (0,183 - 0,005) / 0,183 - 0,06 \cdot [(0,7435 - 0,01) / 0,183 - (0,183 - 0,005) / 0,183] = 0,7951$

Коэффициент, учитывающий объемные потери, вызванные дросселированием пара в каналах:  $\lambda_w = (273 + t_0) / (273 + t_k);$

$\lambda_w = (273 + (-15)) / (273 + 30) = 0,85;$

Коэффициент плотности  $\lambda_{пл} = 1;$

$\lambda = 0,7951 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,676;$

9. Теоретический объем, описываемый поршнями компрессора:  $V_h = V / \lambda;$   
 $V_h = 0,094 / 0,676 = 0,139$  (м<sup>3</sup>/с);

По расчетной величине  $V_h$  из таблицы 1 подбирают компрессор и выписывают его марку. Если расчетные значения  $V_h$  не совпадают с табличными значениями, то принимают ближайшую большую величину.

Таблица 1

Марка компрессора	$v_h, (м^3/с)$	Количество цилиндров	Диаметр цилиндров,	Ход поршня, мм	Частота вращения вала, об/с	Стандартная холодопроизводительность, кВт
П40	0,0284	4	76	66	25	39
П60	0,0435	6	76	66	25	58,5
П80	0,0579	8	76	66	25	78



Теплотехника

П110	0,084	4	115	82	24,6	130
П165	0,129	6	115	82	24,6	180
П220	0,168	8	115	87	24,6	261

10. Индикаторный КПД:  $\eta_i = \lambda_w + b \cdot t_0$ ;  $\eta_i = 0,85 + 0,001 \cdot (-15) = 0,835$ ;

11. Теоретическая мощность, затраченная в компрессоре:  $N_m = G \cdot l$ ;  $N_m = 1,03 \cdot 24,88 = 25,63$  (кВт);

12. Индикаторная мощность:  $N_i = N_m / \eta_i$ ;  $N_i = 25,63 / 0,835 = 30,69$  (кВт);

13. Эффективная (полная) мощность:  $N_e = N_i / \eta_m$ ;  $N_{эл} = 30,69 / 0,85 = 36,11$  (кВт);  $\eta_m$  – механический КПД = 0,85;

14. Мощность электродвигателя:  $N_{эл} = N_e / \eta_n \cdot \eta_{эл}$ ;  $N_{эл} = 36,11 / 0,95 \cdot 0,9 = 42,2$  (кВт);

КПД передачи  $\eta_n = 0,95$ ; КПД электродвигателя  $\eta_{эл} = 0,90$ ;

15. Теоретический холодильный коэффициент:  $\epsilon_m = Q_0 / N_m$ ;  $\epsilon = 120 / 25,63 = 4,6$ ;

16. Эффективный холодильный коэффициент:  $\epsilon_e = Q_0 / N_e$ ;  $\epsilon_e = 120 / 36,11 = 3,3$ ;

## САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Самостоятельные задания к тепловому расчету одноступенчатой аммиачной холодильной машины.

Таблица 2

Варианты							
Показатели							
Холодопроизводительность, $Q_0$ , кВт							
Температура кипения, $t_0$							
Температура всасывания, $t_1$ в (т.1)							
Температура конденсации, $t_k$							
Температура переохлаждения, в (т.3)							





Таблица 3.  
 Параметры насыщенных паров аммиака (параметры даны с округлением)

Температура °С	Абс. давление, МПа	Удельный объем		Удельная энтальпия		Удельная энтропия	
		Жидкости л/кг	Пара м <sup>3</sup> /кг	Жидкости кДж/кг	Пара, i, кДж/кг	Жидкости кДж/кгК	Пара, кДж/кгК
1	2	3	4	5	6	7	8
50	2,03	1,78	0,064	659	1712	4,99	8,25
48	1,93	1,77	0,067	650	1712	4,96	8,27
46	1,83	1,76	0,071	639	1712	4,92	8,29
40	1,56	1,73	0,083	609	1711	4,83	8,35
35	1,35	1,70	0,096	583	1709	4,75	8,40
30	1,17	1,68	0,111	560	1706	4,68	8,46
25	1,00	1,66	0,128	536	1704	4,60	8,51
20	0,85	1,64	0,149	512	1700	4,52	8,57
14	0,71	1,62	0,181	483	1696	4,42	8,64
10	0,62	1,60	0,206	465	1692	4,35	8,69
6	0,54	1,59	0,235	446	1687	4,28	8,74
2	0,46	1,57	0,270	428	1683	4,22	8,79
0	0,43	1,57	0,290	419	1682	4,19	8,81
-2	0,40	1,56	0,310	409	1680	4,15	8,84
-4	0,37	1,55	0,334	400	1678	4,12	8,87
-10	0,29	1,53	0,419	372	1671	4,02	8,95
-15	0,24	1,52	0,510	350	1664	3,93	9,02
-20	0,19	1,50	0,620	327	1657	3,84	9,10
-30	0,12	1,48	0,960	282	1642	3,66	9,26
-40	0,072	1,45	1,550	237	1626	3,47	9,44
	0,041	1,42	2,630	193	1610	3,28	9,63