

УДК 621.565

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА

Мостыка Ю.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Космачёва Э.М.

Целью работы является исследование эффективности поршневого двухступенчатого аммиачного компрессора при различных режимах его работы. При уменьшении давления кипения хладагента p_o и увеличении давления его конденсации p_k компрессор будет работать с большой степенью сжатия, что значительно снижает экономичность компрессора и увеличивает дроссельные потери в регулирующем вентиле, а значит уменьшает холодопроизводительность установки. Одноступенчатые поршневые компрессионные установки применяются обычно при степени повышения давления $p_k/p_o \leq 7...12$. При бoльших степенях повышения давления применяются многоступенчатые установки. Принципиальная схема холодильной установки с двухступенчатым сжатием, двойным регулированием и неполным промежуточным охлаждением и цикл ее в T,s - диаграмме хладагента изображены на рисунке 1.

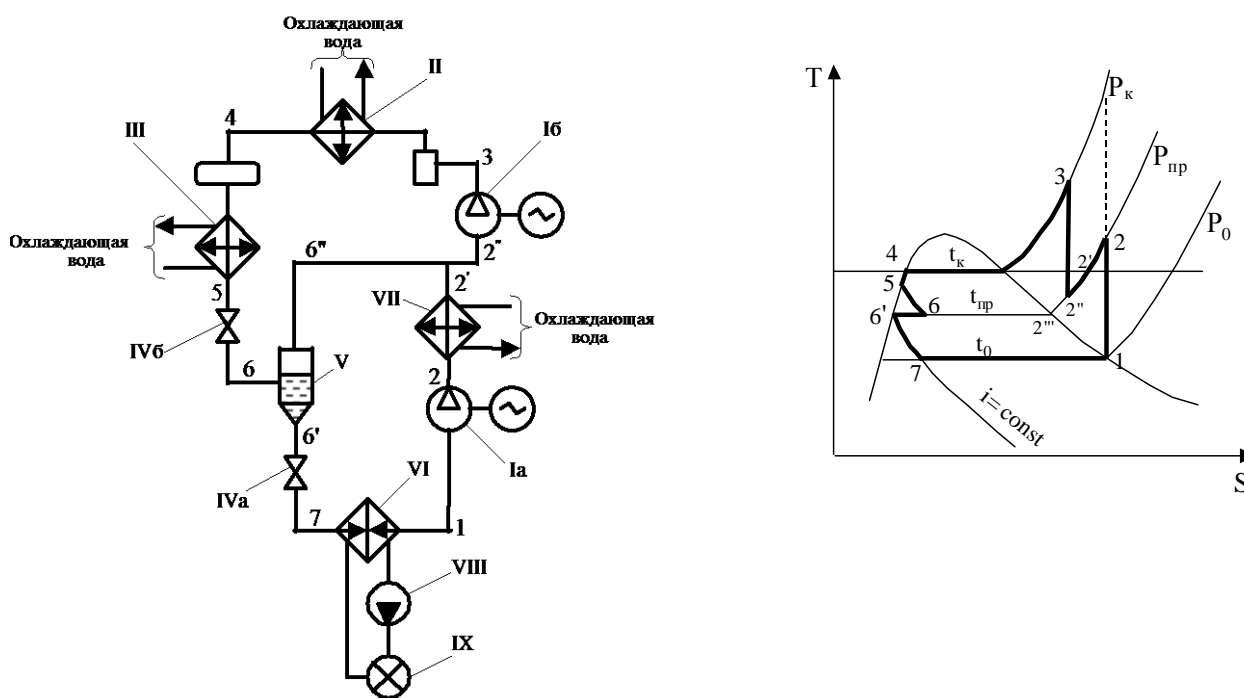


Рисунок 1. Схема и цикл парожидкостной компрессионной холодильной установки с двухступенчатым сжатием, двойным регулированием и неполным промежуточным охлаждением. Ia - компрессор нижней ступени; Ib - компрессор верхней ступени; II - конденсатор; III - переохладитель; IVб - дроссельный вентиль верхней ступени; IVа - то же нижней ступени; V - промежуточный сосуд; VI - испаритель; VII - промежуточный холодильник

Холодильный коэффициент такой установки определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{\ell}, \tag{1}$$

где

$$q_o = (1 - x_6)(i_1 - i_7) \tag{2}$$

и
$$\ell = (1 - x_6)(i_2 - i_1) + 1 \cdot (i_3 - i_{2''}). \tag{3}$$

Тогда
$$\varepsilon = \frac{i_1 - i_7}{i_2 - i_1 + \frac{1}{1 - x_6}(i_3 - i_{2''})} \tag{4}$$

Степень сухости хладагента после дросселя верхней ступени находится из уравнения теплового баланса промежуточного сосуда:

$$1 \cdot i_6 = x_6 \cdot i_{6''} + (1 - x_6) i_{6'},$$

откуда
$$x_6 = \frac{i_6 - i_{6'}}{i_{6''} - i_{6'}}.$$

Так как $i_6 = i_5$, то
$$x_6 = \frac{i_5 - i_{6'}}{i_{6''} - i_{6'}}. \tag{5}$$

$i_7 = i_{6'}$ - определяется по $p_{пр}$.

Для определения энтальпии $i_{2''}$ составляется уравнение теплового баланса точки смешения потоков пара из промежуточного сосуда и после промежуточного холодильника:

$$x_6 \cdot i_{6''} + (1 - x_6) i_{2'} = 1 \cdot i_{2''},$$

откуда
$$i_{2''} = i_{2'} - x_6 (i_{2'} - i_{6''}), \tag{6}$$

где $i_{2'}$ - энтальпия паров хладагента после промежуточного холодильника определяется по T,s - диаграмме при $p_{пр}$ и $t_{2'} = t_k$ (предполагая, что конденсатор и промежуточный холодильник используют охлаждающую воду из одного источника).

Промежуточное давление $p_{пр}$ (между ступенями сжатия) находится, исходя из равенства перепада давлений в каждой ступени

$$p_{пр} = \sqrt{p_o p_k}, \tag{7}$$

Влияние параметров работы холодильной машины, в частности промежуточного давления $p_{пр}$ на величину холодильного коэффициента определялось расчетным путем с использованием ЭВМ. При этом изменение давления от теоретического (формула 7) осуществлялось в сторону увеличения и уменьшения (таблица 1). Результаты аналитического эксперимента приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1. Результаты аналитического эксперимента

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Режимы				
			1	2	3	4	5
Температура хладагента в испарителе	t_o	°С	-30	-30	-30	-30	-30
Давление на всасе в компрессор	p_o	МПа	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Температура хладагента в конденсаторе	t_k	°С	20	20	20	20	20
Давление нагнетания	p_k	МПа	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Теоретическое промежуточное давление	$p_{пр}^T$	МПа	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Режимы				
			1	2	3	4	5
Варьируемое промежуточное давление	$p_{пр}$	МПа	0,32	0,36	0,38	0,40	0,42
Величина переохлаждения жидкого аммиака	$\Delta t_{по}$	°С	0	0	0	0	0
Температура аммиака после переохладителя	t_5	°С	20	20	20	20	20
Энтальпия хладагента в точке 1	i_1	кДж/кг	1643	1643	1643	1643	1643
Энтальпия хладагента в точке 4	i_4	кДж/кг	514	514	514	514	514
Энтальпия хладагента в точке 5	i_5	кДж/кг	514	514	514	514	514
Энтальпия хладагента в точке 6'	$i_{6'}$	кДж/кг	372	392	392	392	392
Энтальпия хладагента в точке 6''	$i_{6''}$	кДж/кг	1669	1673	1673	1673	1673
Энтальпия хладагента в точке 2	i_2	кДж/кг	1768	1785	1792	1800	1809
Энтальпия хладагента в точке 2'	$i_{2'}$	кДж/кг	1744	1742	1740	1738	1736
Степень сухости хладагента в точке 6	x_6		0,11	0,10	0,10	0,10	0,10
Энтальпия хладагента в точке 2''	$i_{2''}$	кДж/кг	1736	1735	1734	1732	1730
Энтальпия хладагента в точке 3	i_3	кДж/кг	1910	1887	1878	1872	1863
Холодильный коэффициент	ε	кВт/кВт	3,96	4,04	4,05	4,01	4,00

Как показали результаты эксперимента для принятой степени повышения давления в компрессоре двухступенчатого действия $p_k/p_o = 0,96/0,12 = 8$, теоретическая величина промежуточного давления составляет $p_{пр} = 0,34$ МПа. Этому режиму работы установки соответствует холодильный коэффициент $\varepsilon = 4,0$. Выполненные с помощью T,s - диаграммы хладагента (аммиака) по методике, описанной выше, расчеты показали, что для заданных параметров холодильной установки $p_o = 0,12$ МПа и $p_k = 0,96$ МПа оптимальным промежуточным давлением, обеспечивающим максимальное значение холодильного коэффициента $\varepsilon = 4,05$, является $p_{пр} = 0,38$ МПа, что на 10 % превышает теоретическое значение. При этом наблюдается повышение холодильного коэффициента на 1,25 %.

Эффект очевидно будет более ощутимым, если принять степень повышения давления в компрессоре p_k/p_o выше.

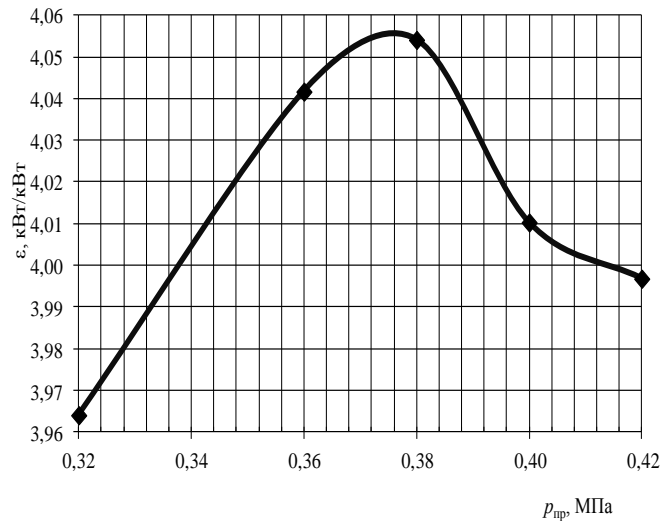


Рисунок 1. Зависимость холодильного коэффициента от промежуточного давления

Литература

1. Соколов, Е.А. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения: учеб. пособие для вузов / Е.А. Соколов, В.М. Бродянский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
2. Бамбушек, Е.М. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин: учеб. пособие для вузов / Е.М. Бамбушек, И.А. Сақун. – М.: Машиностроение, 1987. – 423 с.
3. Мартынов, А.В. Установки для трансформации тепла и охлаждения: учеб. пособие для вузов / А.В. Мартынов - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 200 с.
4. <http://vse-lekcii.ru/zheleznodorozhnyj-transport/hladotransport/holodilnye-mashiny-s-dvuhstupenchatym-szhatiem>