

## Лабораторная работа № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛА ПАРОВОЙ КОМПРЕССОРНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

#### 1. Цели работы

- 1) Ознакомиться с устройством паровой компрессорной холодильной машины.
- 2) Провести непосредственное наблюдение за процессом кипения хладагента в испарителе.
- 3) Определить параметры в узловых точках цикла и построить цикл в диаграммах  $p-v$ ,  $T-s$ , и  $lg(p)-h$ .
- 4) Определить холодопроизводительность машины и холодильный коэффициент цикла.

#### 2. Общие сведения

Для понижения температуры тел ниже температуры окружающей среды и непрерывного поддержания заданной низкой температуры применяются холодильные машины. В данных машинах совершается серия процессов, в результате которых теплота отнимается от тел с низкой температурой и передается окружающей среде с более высокой температурой. Переход теплоты от менее нагретого к более нагретому телу в соответствии со вторым законом термодинамики возможен только в результате затраты некоторого количества внешней энергии. По виду затрат холодильные машины можно разделить на три группы:

- 1) компрессорные;
- 2) парожетторные;
- 3) абсорбционные.

В компрессорных машинах получение холода сопровождается компенсирующим процессом превращения механической работы в теплоту.

Эффективность обратного цикла любой холодильной машины оценивается с помощью холодильного коэффициента. Он показывает, какое количество теплоты может быть отведено от охлаждаемых тел при затрате единицы работы.

#### 3. Лабораторная установка

Установка для проведения работы создана на основе фреоновой компрессорной холодильной машины марки ВН-0,55. Схема установки показана на рис. 1. Компрессор 9 со встроенным и герметизированным электродвигателем засасывает пар хладагента R12 из испарителя 8, сжимает его и подает в конденсатор 12. Конденсация пара происходит внутри трубок; теплота отводится к окружающему воздуху. Для интенсификации процесса теплообмена трубки снаружи оребрены и с помощью вентилятора 13 обдуваются потоком воздуха. Жидкий хладагент собирается в ресивере 11, а затем через фильтр-осушитель 10 поступает к регулирующему вентилю 7. После дросселирования влажный пар хладагента с большим содержанием жидкости попадает в испаритель, где жидкость кипит при низком давлении  $p_0$ . Испаритель выполнен в виде змеевика, погруженного в резервуар с циркулирующим в нем хладонносителем. Для того чтобы наблюдать за процессом кипения хладагента в испарителе, несколько его звеньев выполнены из стеклянных трубок. Теплота, необходимая для кипения хладагента, отнимается от хладонносителя, температура которого понижается на 5-10 °С.

Теплый хладонноситель из термостата 2, имитирующего охлаждаемое помещение, поступает в испаритель по трубке 6. Охлажденный хладонноситель сливается через трубку обратно в термостат. Циркуляция хладонносителя осуществляется с помощью погруженного центробежного насоса 4, находящегося в термостате. Хладонноситель подогревается электронагревателем 1 до постоянной температуры  $t_{sl}$ . Данная температура поддерживается периодическим включением и выключением электронагревателя с помощью специального реле, датчиком для которого является контактный термометр 3. В процессе работы изучаемой холодильной машины теплота отнимается

от среды, подлежащей охлаждению (хладоносителя) и передается на более высокий температурный уровень (воздуху помещения).

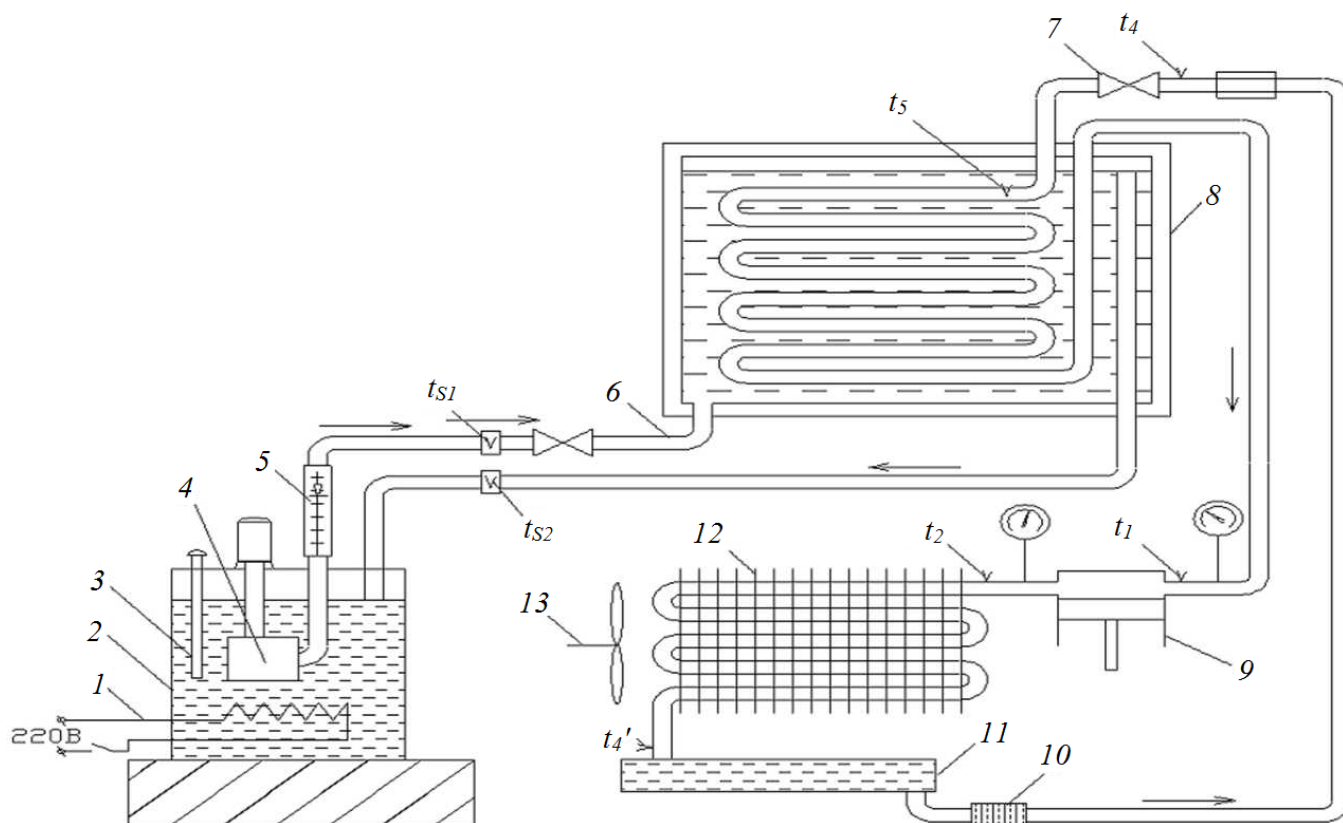


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

1 - электронагреватель; 2 - термостат; 3 - термометр; 4 - центробежный насос; 5 - ротаметр;  
6 - трубки; 7 - вентиль; 8 - испаритель; 9 - компрессор; 10 - фильтр-осушитель; 11 - ресивер;  
12 - конденсатор; 13 - вентилятор

#### 4. Выполнение работы

В ходе опыта измеряют следующие величины:

1) давление хладагента в испарителе « $p_0$ » и в конденсаторе « $p$ » — с помощью двух образцовых манометров, расположенных на щите установки;

2) температуру хладоносителя на входе в резервуар испарителя  $t_{S1}$  ( $E_{S1}$ ) и на выходе из него  $t_{S2}$  ( $E_{S2}$ ) - с помощью термопар;

3) температуру хладагента на входе в компрессор  $t_1$  ( $E_1$ ); на выходе из компрессора  $t_2$  ( $E_2$ ); на выходе из конденсатора (насыщенная жидкость)  $t_4'$  ( $E_4'$ ); перед регулирующим вентилем (ненасыщенная жидкость)  $t_4$  ( $E_4$ ); в испарителе (влажный пар)  $t_5$  ( $E_5$ ) - с помощью медьконстантановых термопар;

4) температуру наружной поверхности конденсатора  $t_3$  ( $E_3$ ) - с помощью термопары.

Один из спаев каждой термопары заключен в запаянную стальную иглу и введен в место измерения в трубку контура хладагента, второй - погружен в сосуд Дьюара со льдом. Электродвижущую силу термопар измеряют цифровым милливольтметром, который последовательно включают в цепь каждой термопары с помощью переключателя. Объемный расход хладоносителя измеряют поплавковым ротаметром 5 (рис. 1). Мощность, потребляемую совместно электродвигателями компрессора и воздушного вентилятора, измеряют ваттметром. Измерение всех величин производят пять раз с интервалом 5 мин. Данные наблюдений заносят в протокол (табл. 1). Для обработки берут средние арифметические величины двух измерений с наиболее близкими значениями.

## Протокол наблюдений

Номер измерения	Давление хладагента, дел.		ЭДС, мВ							Расход хладоносителя, дел.	Мощность электродвигателя, Вт
	$p_0$	$p$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_{S1}$	$E_{S2}$		
1											
2											
3											
Среднее значение											

По числу делений манометра находят значения избыточных давлений  $p_0$  и  $p$ , а затем, зная атмосферное давление, вычисляют абсолютное давление. Температуры хладагента определяют с помощью графика градуировки термомпар, расход хладоносителя - по графику градуировки ротаметра.

## 5. Обработка результатов опыта

1) По измеренным температурам в узловых точках 1, 2, 3, 4, 4' и 5 строят цикл холодильной машины в диаграммах  $T-s$  или  $lg(p)-h$ . Значения давлений  $p_0$  и  $p$ , найденные с помощью диаграммы, сравнивают со значениями давлений, измеренных в ходе работы с помощью манометра. Дают объяснение различию значений давлений, найденных этими двумя способами.

2) По диаграммам определяют и выписывают значения энтальпий во всех узловых точках цикла. Для точек 3, 4 и 6 значения энтальпий, найденные с помощью диаграммы, сверяют с табличными значениями.

3) Рассчитывают значения удельной холодопроизводительности, удельной работы адиабатного сжатия и удельной теплоты, отводимой в конденсаторе:

$$q_0 = h_1 - h_5, \text{ Дж/кг}$$

$$l_{\text{ад}} = h_2 - h_1, \text{ Дж/кг}$$

$$q_1 = h_2 - h_4, \text{ Дж/кг}$$

4) Производят проверку по тепловому балансу цикла:

$$q_1 = q_0 + l_{\text{ад}}$$

5) Определяется холодильный коэффициент цикла:

$$\varepsilon = q_0 / l_{\text{ад}}$$

6) Определяют полную холодопроизводительность машины  $Q_0$  по изменению температуры хладоносителя:

$$Q_0 = v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{S1} - t_{S2}), \text{ Вт}$$

где  $v$  - объемный расход хладоносителя,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\rho$  - плотность хладоносителя,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$c_p$  — удельная теплоемкость хладоносителя,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;

$t_{S1}$  и  $t_{S2}$  - температуры хладоносителя на входе и выходе соответственно,  $^{\circ}\text{C}$ .

В табл. 2 приводятся значения плотности и удельной теплоемкости хладоносителя в зависимости от температуры.

Значения  $\rho$  и  $c_p$  в зависимости от температуры

$t, ^\circ\text{C}$	0	10	20
$\rho, \text{кг/м}^3$	825	816	808
$c_p, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	2266	2333	2403

## 6. Отчет о работе

Отчет должен содержать:

- 1) таблицу с данными наблюдений;
- 2) изображение цикла (не в масштабе) в диаграммах  $p-v$ ,  $T-s$ , и  $\lg(p)-h$ ;
- 3) значения энтальпий, определенные с помощью диаграмм для узловых точек цикла;
- 4) расчеты, связанные с определением параметров  $q_0$ ,  $l_{\text{ад}}$ ,  $q_1$ ,  $\varepsilon$ ,  $Q_0$ ;
- 5) выводы по результатам работы.

## 7. Контрольные вопросы

- 1) Какие бывают виды холодильных машин?
- 2) Пояснить схему лабораторной установки.
- 3) Какой тип хладоносителя используется в установке и его характеристики?
- 4) Какими параметрами характеризуется холодильный цикл?
- 5) Что такое холодильный коэффициент?
- 6) Какое назначение процесса дросселирования в холодильном цикле?