

**ОСНОВНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ,
ПРОВОДИМЫЕ ДЛЯ
ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
ХОЛОДИЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

Эффективность изделий холодильной техники определяется по количественным значениям ряда показателей, характеризующих потребительские свойства изделий.

Истинные значения этих показателей могут быть получены только в результате измерений при испытаниях в процессе изготовления или эксплуатации.

Точность полученных при измерении показателей зависит не только от точности используемых для этой цели приборов, но и от выбранной методики проведения испытаний.

ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Качество компрессора и его потребительские свойства оцениваются с помощью следующих основных показателей:

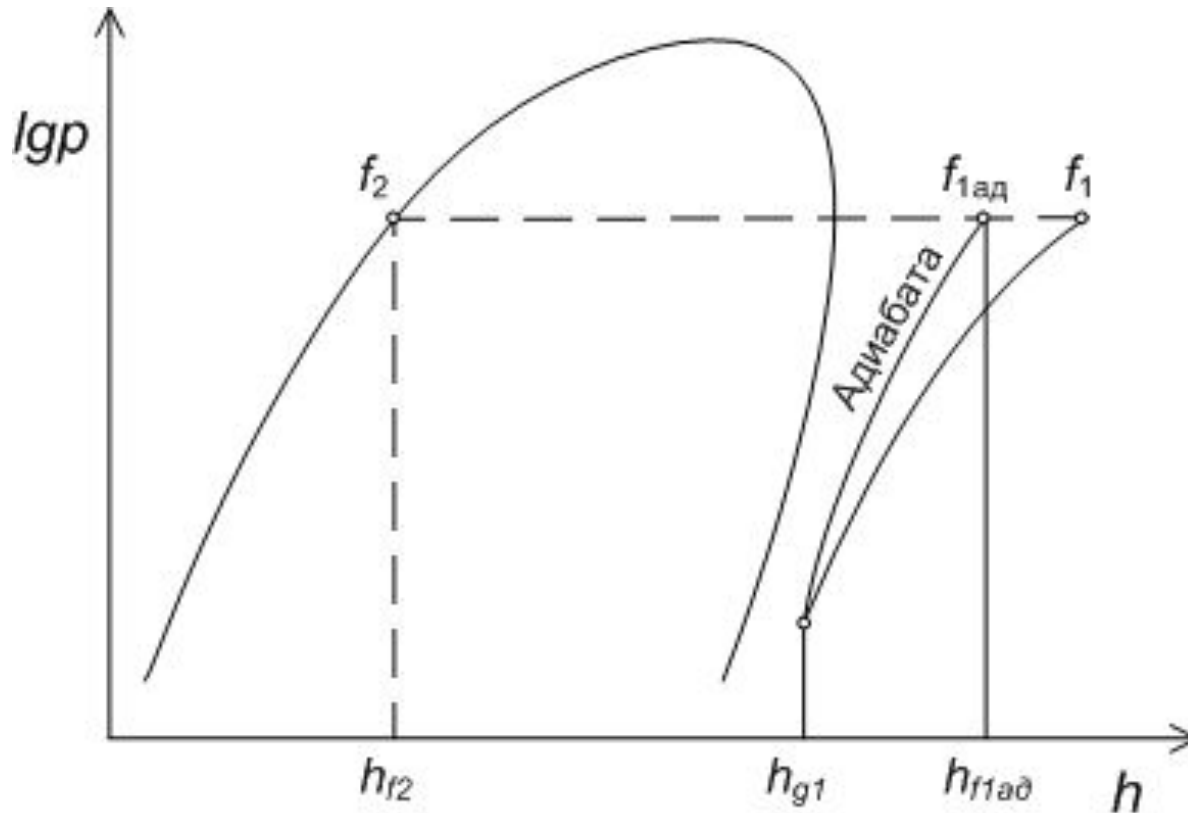
- холодопроизводительность Q_0 (кВт),
- потребляемая мощность N (кВт) на валу компрессора при внешнем приводе или на клеммах при встроенном электродвигателе,
- удельная холодопроизводительность ε ,
- коэффициент подачи λ ,
- эффективный КПД η_e при внешнем приводе и
- электрический КПД η_{ε} .

Эффективность регулирования производительности компрессора определяется по изменению удельной холодопроизводительности ε при уменьшении производительности с помощью регулирующих органов компрессора.

ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Под холодопроизводительностью компрессора Q_0 понимается произведение массового расхода холодильного агента, определенного при испытании, и разности значений удельной энтальпии паров холодильного агента в точке измерения на входе в компрессор h_{g1} и удельной энтальпии насыщенного жидкого холодильного агента h_{f2} при температуре, соответствующей давлению нагнетания в точке измерения на выходе из компрессора. Рекомендуемая точность измерения холодопроизводительности составляет $\pm 2\%$.

ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ



Определение в диаграмме $h-p$ разности значений удельной энтальпии h_{g1} и h_{f2} при расчете холодопроизводительности компрессора

ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Потребляемая мощность N — отношение энергии, затраченной в компрессоре, к интервалу времени, в течение которого она затрачена.

Потребляемая мощность, замеренная на валу компрессора N_e , называется эффективной потребляемой мощностью, замеренная на клеммах электродвигателя $N_{\text{э}}$ — электрической потребляемой мощностью. Рекомендуемая точность измерения составляет $\pm 1\%$.

ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Удельная холодопроизводительность компрессора — отношение холодопроизводительности к потребляемой мощности.

Для компрессора с внешним приводом

$$\varepsilon = Q_0 / N_{\text{в}}$$

для компрессора со встроенным электродвигателем

$$\varepsilon = Q_0 / N_{\text{э}}$$

ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

КПД компрессора — отношение мощности, необходимой для сжатия по адиабате измеренного массового расхода холодильного агента, к потребляемой мощности при одинаковых параметрах холодильного агента на входе в компрессор и давлении нагнетания. Для компр

$$\eta_v = m_a \Delta h_{ад} / N_v$$

где $\Delta h_{ад} = h_{f1ад} - h_{g1}$ — разность энтальпии при адиабатном сжатии в компрессоре; m_a — измеренный массовый расход холодильного агента.

ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Для компрессора со встроенным электродвигателем

$$\eta_{\text{э}} = m_{\text{а}} \Delta h_{\text{зд}} / N_{\text{э}}$$

ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Коэффициент подачи — отношение
действительного объемного расхода
холодильного агента при условии
всасывания в компрессор к
теоретической объемной
производ

$$\lambda = m_a v_{g1} / V_0$$

где v_{g1} — удельный объем пара
холодильного агента на входе в
компрессор.

ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Количественные значения всех этих показателей зависят от режима работы (температуры конденсации, температуры кипения и др.), поэтому обязательно надо оговорить, каким параметрам, определяющим режим работы, соответствуют количественные значения показателей.

Для сопоставимости основных параметров компрессора установлены сравнительные температурные режимы, при которых проводятся испытания.

Обычно значения основных показателей определяют во всем диапазоне режимов работы компрессора, разрешенном техническими условиями на изготовление, поэтому количество режимов определяется диапазоном работы компрессора по температурам кипения, конденсации и всасывания

ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Для определения перечисленных ранее основных показателей,
характеризующих качество компрессора и его потребительские свойства,
необходимо измерить
холодопроизводительность Q_0 и
потребляемую мощность N , остальные показатели определяются расчетным путем.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ

Группа температурного режима	Холодильный агент	Тип компрессора	Температура, °C				
			кипения	всасывания	конденсации		
I	R12 R22	Высокотемпературный	5	20	45		
II	NH ₃			15	35		
III	R12 R22			32	55		
IV	R12 R22 R502	Среднетемпературный	- 15	20	40 (30)		
V				0	35		
VI	NH ₃			(-10)	(30)		
VII				-10	35		
VIII				20 -10	40		
IX	R12 R22 R502			32	55		
X	R12 R22 R502 R13B1			Низкотемпературный	-35 (-40)	0	40 (30)
XI	R502					55	

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОС ТИ

Существуют различные методы
определения
холодопроизводительности
компрессора, основанные на измерении
объемного расхода холодильного агента
или теплоты, подведенной к
холодильному агенту, либо отведенной
от него, классификация которых
приведена в таблице.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМПРЕССОРА

Условия испытания компрессора на холодильном агенте в замкнутом контуре	Способ определения массового расхода холодильного агента	Метод определения холодопроизводительности компрессора
С конденсацией и кипением холодильного агента	По теплоте, подведенной к холодильному агенту при кипении	A. С использованием калориметра со вторичным холодильным агентом B. С использованием калориметра с нагревателем, погруженным непосредственно в холодильный агент C. С использованием сухого калориметра
	По теплоте, отведенной от холодильного агента при конденсации Измерение объемного расхода жидкого холодильного агента	G. С использованием конденсатора в качестве калориметра E. С использованием измерительных сосудов для измерения расхода жидкого холодильного агента F. С использованием расходомеров для измерения расхода жидкого холодильного агента
Без конденсации и кипения холодильного агента (паровое кольцо)	По теплоте, отведенной от холодильного агента в калориметре	K. С использованием калориметра на нагнетании компрессора
	Измерение объемного расхода парообразного холодильного агента	D. С использованием расходомеров для измерения паров холодильного агента
С частичной конденсацией холодильного агента	По теплоте, отведенной от холодильного агента в пароохладителе	H. С использованием сухого пароохладителя в качестве калориметра J. С использованием влажного пароохладителя в качестве калориметра

Условия испытания компрессора на ХА в замкнутом контуре

С конденсацией и кипением ХА

По теплоте, подведённой к ХА при кипении

По теплоте, отведённой от ХА при конденсации.

Измерение объёмного расхода жидкого ХА

А. С использованием калориметра со вторичным ХА

В. С использованием калориметра с нагревателем, погруженным непосредственно в ХА

С. С использованием сухого калориметра.

Г. С использованием конденсатора в качестве калориметра

Е. С использованием измерительных сосудов для измерения расхода жидкого ХА

Ф. С использованием расходомеров для измерения расхода жидкого ХА

Без конденсации и кипения ХА (паровое кольцо)

По теплоте, отведённой от ХА в калориметре

Измерение объёмного расхода парообразного ХА

К. С использованием калориметра на нагнетании компрессора

Д. С использованием расходомеров для измерения паров ХА

С частичной конденсацией ХА

По теплоте, отведённой от ХА в пароохладителе

Н. С использованием сухого пароохладителя в качестве калориметра

Ж. С использованием влажного пароохладителя в качестве калориметра

Методы измерения холодопроизводительности

Метод А. Метод предусматривает использование калориметра с вторичным холодильным агентом. Калориметр с вторичным холодильным агентом представляет собой термоизолированный сосуд, в верхней части которого расположен змеевик или пучок труб, служащий испарителем первичного агента.

Методы измерения холодопроизводительности

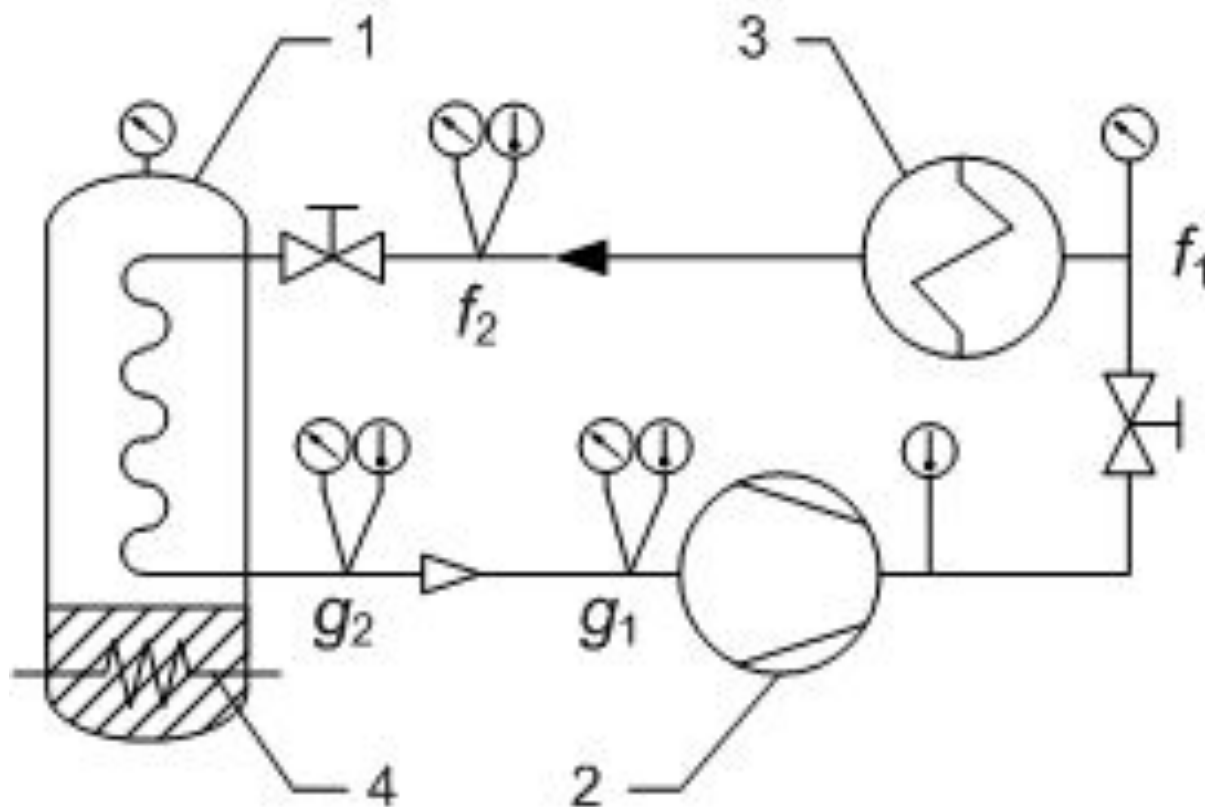


Схема испытательной установки для метода А:

1 — калориметр; 2 — компрессор; 3 — конденсатор; 4 — нагреватель

Методы измерения холодопроизводительности

В нижней части сосуда, под уровнем вторичного холодильного агента, размещен нагреватель. Теплота Q_i , подводимая к нагревателю калориметра, вызывает испарение вторичного холодильного агента, который, конденсируясь на поверхности змеевика, отдает эту теплоту на испарение холодильного агента, поступающего в компрессор. Количество подведенной теплоты регулируется изменением напряжения, подаваемого на электронагреватели, а также числом включенных нагревателей. Установившееся постоянное давление пара вторичного холодильного агента в калориметре свидетельствует о равенстве между подведенной теплотой Q_i и теплотой, затраченной на испарение и подогрев пара первичного холодильного агента, а также теплотой, отведенной в окружающую среду Q_h .

Методы измерения холодопроизводительности

Изоляция калориметра должна быть выполнена так, чтобы потери теплоты не превышали 5% от холодопроизводительности компрессора. С помощью измерений определяют удельную $q_h = Q_h / (t_n - t_{o.c.})$ ружающую среду q_h :

,

где t_n — температура насыщения, соответствующая давлению пара вторичного холодильного агента; $t_{o.c.}$ — температура окружающей среды

Методы измерения холодопроизводительности

Давление на всасывании устанавливают регулирующим вентилем, а температуру пара холодильного агента, поступающего в компрессор, устанавливают изменением подвода теплоты к вторичному холодильному агенту.

Давление на нагнетании регулируют изменением температуры и расхода охлаждающей среды, протекающей через конденсатор.

Методы измерения холодопроизводительности

После достижения установившегося режима измеряют следующие параметры:

- давление пара холодильного агента на выходе из испарителя;
- температуру пара холодильного агента на выходе из испарителя;
- давление жидкого холодильного агента на входе в регулирующий вентиль;
- температуру жидкого холодильного агента на входе в регулирующий вентиль;
- температуру среды, окружающей калориметр;
- давление вторичного холодильного агента;
- потребляемую мощность нагревателя калориметра.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ТОЧНОСТЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Наименование приборов	Измеряемый параметр	Рекомендуемая точность
Приборы для измерения температуры	Температура рассола или воды в калориметрах	$\pm 0,06$ °C
	Температура охлаждающей воды в конденсаторах	$\pm 0,06$ °C
	Все другие температуры	$\pm 0,3$ °C
Приборы для измерения давления	Давление всасывания в компрессор	$\pm 1\%$
	Для всех других давлений	$\pm 2\%$
Электроизмерительные приборы	Мощность, потребляемая электродвигателем	$\pm 1\%$
	Мощность, потребляемая нагревателем калориметра	$\pm 1\%$
Приборы для измерения расхода	Расход холодильного агента	$\pm 1\%$
	Расход теплоносителя	$\pm 1\%$
	Расход охлаждающей воды	$\pm 1\%$
Приборы для измерения времени	Время заполнения заданного объема	$\pm 0,1\%$
Приборы для измерения массы	Массовая доля масла, содержащегося в жидком холодильном агенте	$\pm 0,2\%$

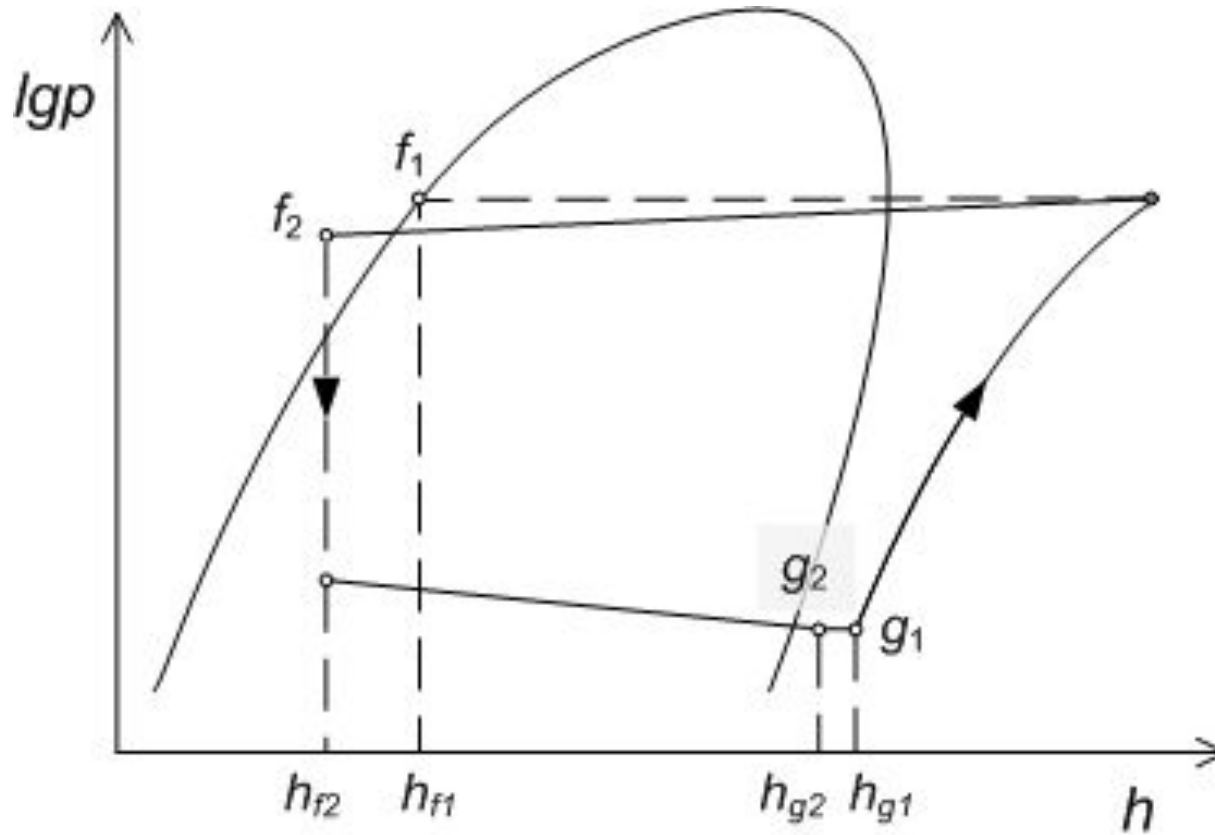
Методы измерения холодопроизводительности

Массовый расход холодильного агента m_a вычисляют по формуле

$$m_a = [Q_i + q_h(t_{o.c} - t_H)] / (h_{g2} - h_{f2})$$

где $h_{g2} - h_{f2}$ изменение удельной энтальпии холодильного агента в испарителе.

Методы измерения холодопроизводительности



Диаграммы цикла для методов А, В, С

Методы измерения холодопроизводительности

Холодопроизводительность, соответствующую заданным условиям испытаний, Q_0 вычисляют по формуле

$$Q_0 = m_a (h_{g1} - h_{f1}) \frac{v_{g1}}{v_{вс.у}}$$

где $h_{g1} - h_{f1}$ — разность значений удельной энтальпии (см. рис.) паров холодильного агента на входе в компрессор и удельной энтальпии насыщенного жидкого холодильного агента при температуре, соответствующей давлению нагнетания на выходе из компрессора; v_{g1} — удельный объем пара холодильного агента на входе в компрессор;
 $v_{вс.у}$ — удельный объем пара холодильного агента на всасывании, соответствующий заданным условиям испытаний.

Методы измерения холодопроизводительности

Метод В. Метод предусматривает использование калориметра с нагревателем, непосредственно погруженным в холодильный агент.

Калориметр с нагревателем, погруженным в холодильный агент, состоит из одного или нескольких параллельно соединенных герметичных сосудов, в которых теплота передается непосредственно холодильному агенту.

Методы измерения холодопроизводительности

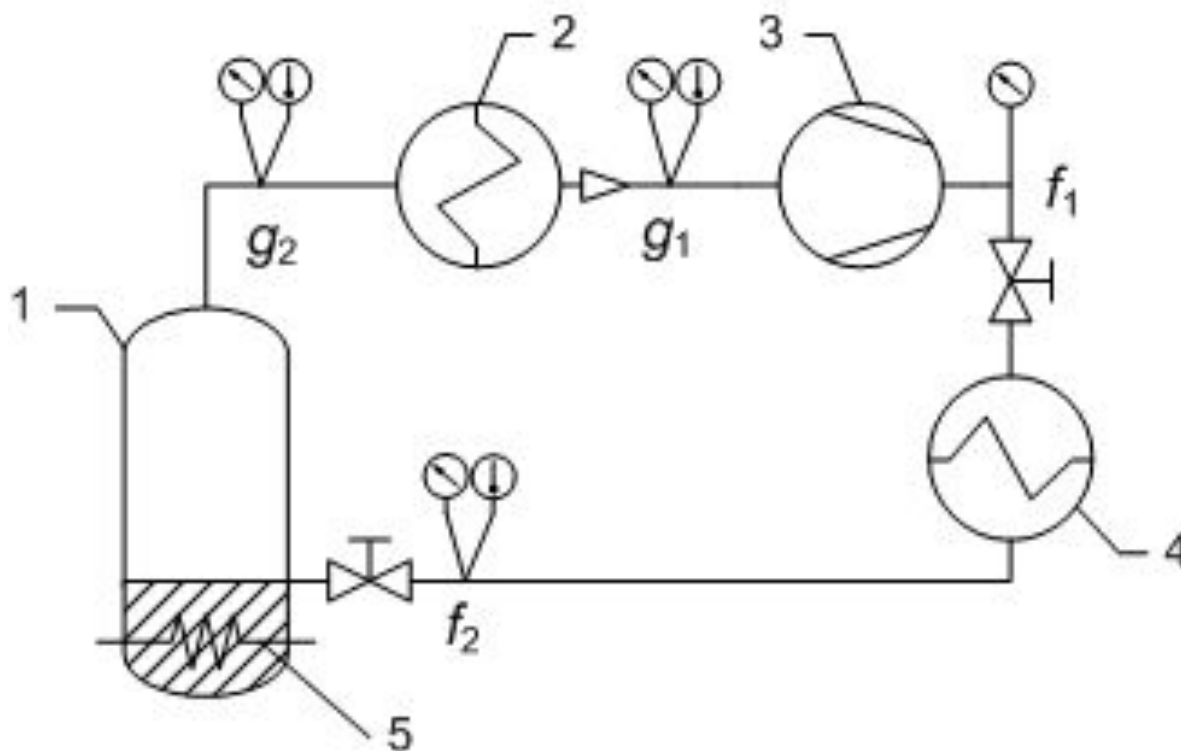


Рис. III—4. Схема испытательной установки для метода В:

1— калориметр; 2 — перегреватель; 3 — компрессор;
4 — конденсатор; 5 — нагреватель

Методы измерения холодопроизводительности

Теплота, подводимая в калориметр Q_i , расходуется на испарение и подогрев холодильного агента, и теплообмен с окружающей средой. При электрическом нагреве теплота Q_i равна потребляемой нагревателями мощности, при нагреве жидкостью

$$Q_i = c(t_1 - t_2)m_i$$

где c — удельная теплоемкость жидкости;
 $t_1 - t_2$ изменение температуры жидкости в калориметре; m_i — массовый расход жидкости.

Методы измерения холодопроизводительности

Калориметр теплоизолирован. Удельную потерю теплоты в окружающую среду определяют с помощью измерений q_h :

$$q_h = Q_h / (t_n - t_{o.c})$$

где t_n — температура насыщения паров в калориметре; $t_{o.c}$ — температура окружающей среды.

Методы измерения холодопроизводительности

Режим по давлению и температуре всасывания в компрессор, а также по давлению нагнетания устанавливается так же, как и при измерении методом А.

Методы измерения холодопроизводительности

После достижения установившегося режима замеряют следующие параметры:

- давление пара холодильного агента на выходе из испарителя;
- температуру пара холодильного агента на выходе из испарителя;
- давление жидкого холодильного агента на входе в регулирующий вентиль;
- температуру жидкого холодильного агента на входе в регулирующий вентиль;
- температуру воздуха, окружающего калориметр;
- температуру нагревающей жидкости на входе в калориметр t_1 ;
- температуру нагревающей жидкости на выходе из калориметра t_2 ;
- массовый расход нагревающей жидкости m_j ;
- потребляемую мощность нагревателя калориметра Q_j .

Методы измерения холодопроизводительности

Массовый расход холодильного агента при испытании m_a вычисляют по следующим формулам:

- при нагреве жидкостью

$$m_a = [c(t_1 - t_2)m_i + q_h(t_{o.c} - t_H)] / (h_{g2} - h_{f2})$$

Методы измерения холодопроизводительности

- при электрическом нагреве

$$m_a = [Q_i - q_n(t_{o.c} - t_n)] / (h_{g2} - h_{f2})$$

здесь $h_{g2} - h_{f2}$ — разность значений удельной энтальпии холодильного агента

Методы измерения холодопроизводительности

Холодопроизводительность, соответствующую заданным условиям испытания, Q_0 вычисляют по формуле

$$Q_0 = m_a (h_{g1} - h_{f1}) \frac{v_{g1}}{v_{всy}}$$

где $h_{g1} - h_{f1}$ — разность значений удельной энтальпии холодильного агента

Методы измерения холодопроизводительности

Расчет по этой формуле возможен в том случае, если действительная величина удельного объема паров холодильного агента на входе в компрессор не отличается от величины, соответствующей заданным условиям испытания более чем на $\pm 2\%$.

Методы измерения холодопроизводительности

Метод С. Метод предусматривает использование сухого калориметра. Калориметр с сухим испарением состоит из трубок, по которым движется холодильный агент, или из сосудов в виде труб соответствующих длины и диаметра, которые позволяют осуществить испарение холодильного агента, отсасываемого компрессором. Наружная поверхность трубок нагревается жидкостью или электрическим нагревателем. Аналогичные способы применяются и для нагрева внутренней поверхности трубок, если испарение идет на наружной поверхности.

Методы измерения холодопроизводительности

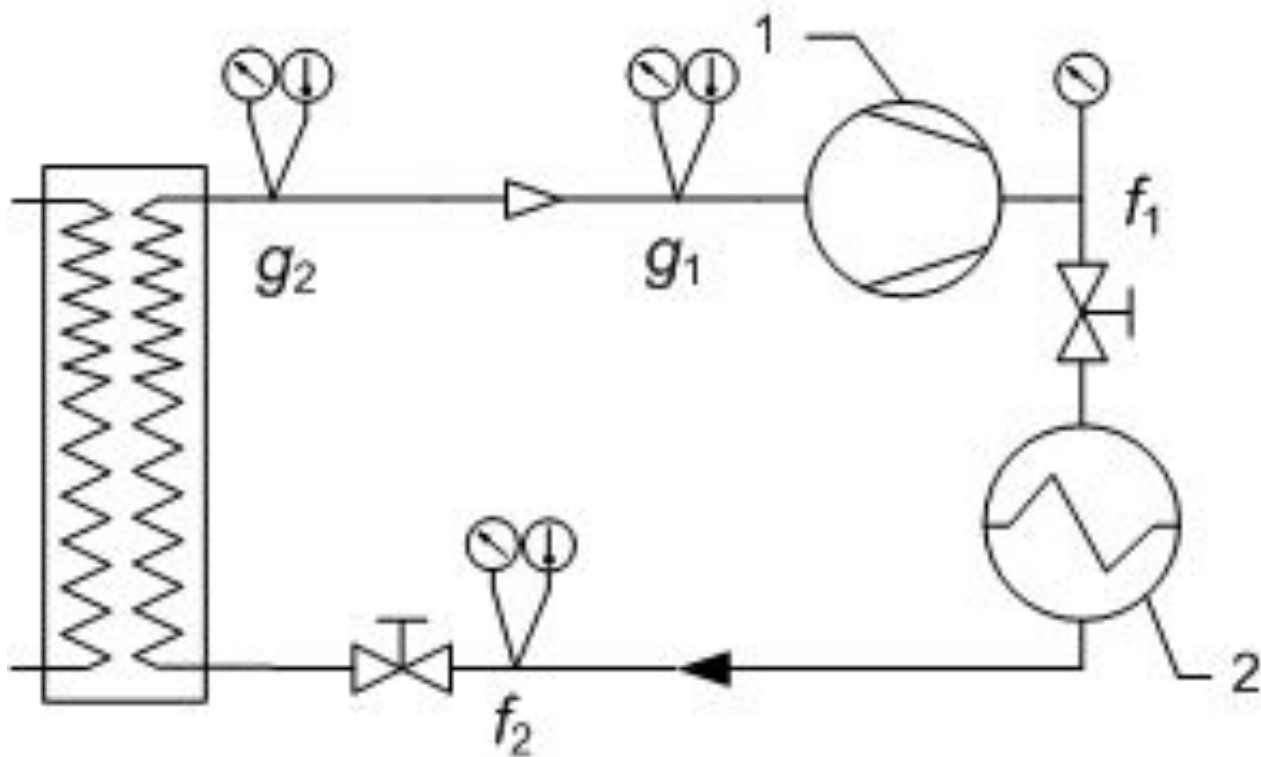


Схема испытательной установки для метода С:
1—компрессор; 2 — конденсатор; 3 — калориметр

Методы измерения холодопроизводительности

Режим по давлению и температуре всасывания в компрессор, а также по давлению нагнетания устанавливается так же, как и при измерении, методом А.

Методы измерения холодопроизводительности

Калориметр теплоизолирован. Удельную потерю теплоты в окружающую среду q_h определяют с помощью измерений:

$$q_h = Q_h / (t_n - t_{o.c})$$

где Q_h — потери теплоты в окружающую среду; t_n — температура наружной поверхности калориметра; $t_{o.c}$ — температура окружающей среды.

Методы измерения холодопроизводительности

После достижения установившегося режима замеряют следующие параметры:

- давление пара холодильного агента на выходе из испарителя;
- температуру пара холодильного агента на выходе из испарителя;
- давление жидкого холодильного агента перед регулирующим вентилем;
- температуру жидкого холодильного агента перед регулирующим вентилем;
- температуру среды, окружающей калориметр;
- температуру нагревающей жидкости на входе в калориметр t_1 ;
- температуру нагревающей жидкости на выходе из калориметра t_2 ;
- массовый расход нагревающей жидкости m_j ;
- потребляемую мощность нагревателя калориметра Q_j ;
- среднюю температуру поверхности калориметра.

Методы измерения холодопроизводительности

Массовый расход холодильного агента при испытании m_a вычисляют по следующим формулам:

- при нагреве жидкостью

$$m_a = [c(t_1 - t_2)m_i + q_h(t_{o.c} - t_n)] / (h_{g2} - h_{f2})$$

Методы измерения холодопроизводительности

- при электронагреве

$$m_a = [Q_n + q_n(t_{o.c} - t_n)] / (h_{g2} - h_{f2})$$

здесь $h_{g2} - h_{f2}$ — разность значений удельной энтальпии холодильного агента.

Методы измерения холодопроизводительности

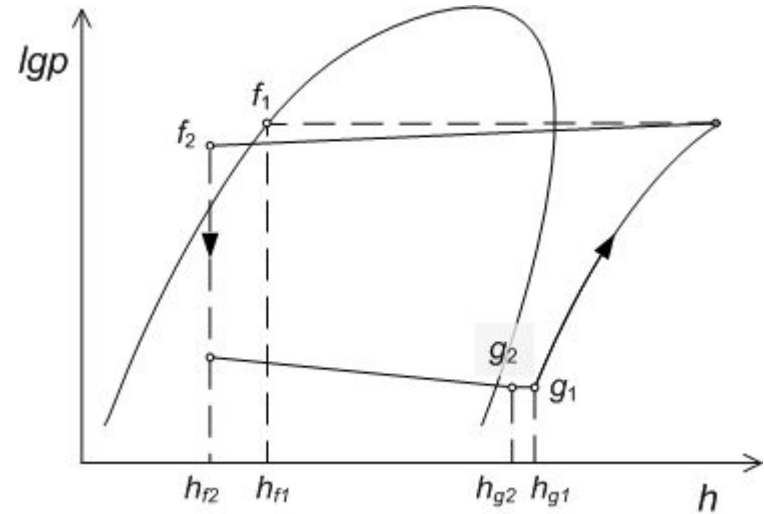
Холодопроизводительность Q_0 , соответствующую предписанным условиям испытания, вычисляют по форму

$$Q_0 = m_a (h_{g1} - h_{f1}) \frac{v_{g1}}{v_{всy}}$$

где v_{g1} — удельный объем пара холодильного агента на входе в компрессор; $v_{всy}$ — удельный объем пара холодильного агента на всасывании, соответствующий заданным условиям испытаний.

Методы измерения холодопроизводительности

Диаграмма h, p цикла



Описанные выше методы позволяли определять массовый расход холодильного агента путем измерения теплоты, подведенной в калориметре без непосредственного измерения расхода холодильного агента.

Методы измерения холодопроизводительности

Расходомер, измеряющий расход m_a протекающего холодильного агента с точностью $\pm 2\%$, устанавливают во всасывающем или нагнетательном трубопроводе в месте, через которое протекает весь холодильный агент. Необходимо предусмотреть мероприятия, обеспечивающие полную гомогенность перегретого пара в этом месте, прежде всего за счет наиболее полного отделения жидкости и масла.

Методы измерения холодопроизводительности

Расчеты по определению

холодопроизводительности основываются на измерении расхода чистого пара, поэтому даже незначительное количество масла в паре является причиной неточности измерения расхода холодильного агента через диафрагму (или сопло), а следовательно и холодопроизводительности компрессора. Диафрагмы (или сопла) можно применять только там, где доля масла в паре по массе не превышает 1%.

Методы измерения холодопроизводительности

Метод D. Метод предусматривает использование расходомера для измерения расхода пара холодильного агента. Испытательная система состоит из холодильного компрессора, регулирующего вентиля для понижения давления холодильного агента от давления нагнетания до давления всасывания, а также включает в себе сосуды для отделения жидкости и масла и снижения пульсаций давления пара в измерительном устройстве, оборудование для охлаждения паров до температуры всасывания.

Методы измерения холодопроизводительности

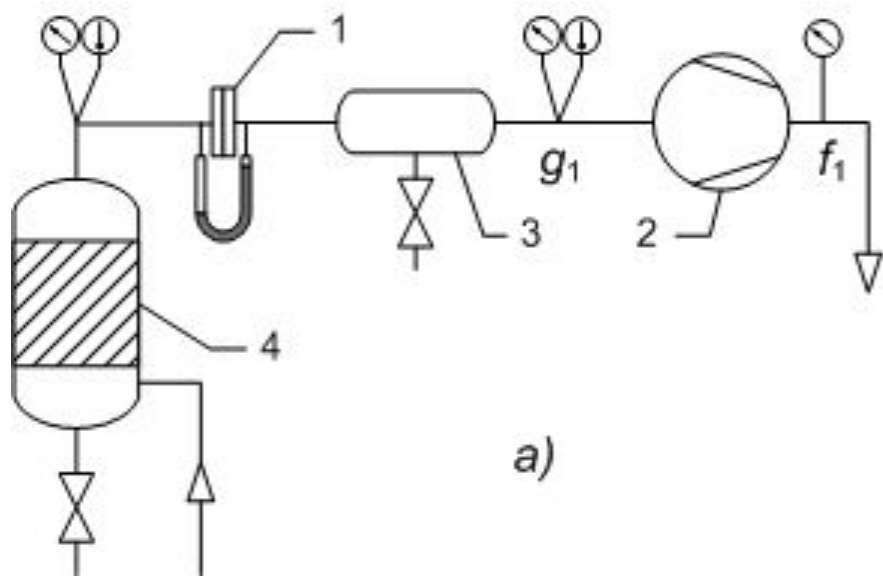
Давление на всасывании и нагнетании компрессора устанавливается регулирующим вентилем; при этом может меняться количество холодильного агента, циркулирующего в системе. Температуру на всасывании в компрессор регулируют изменением степени охлаждения пара.

Методы измерения холодопроизводительности

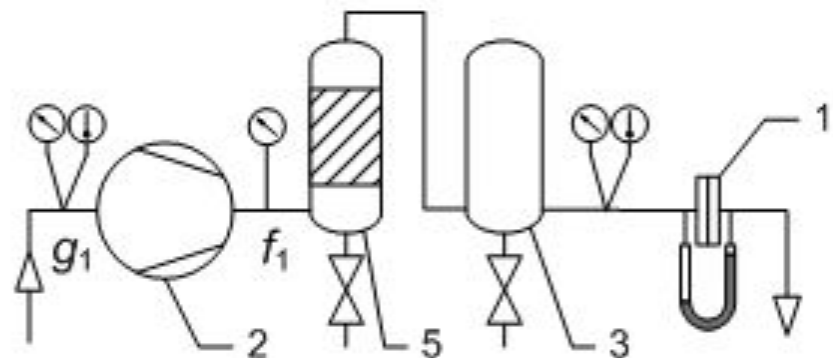
После достижения установившегося режима измеряют следующие параметры:

- температуру пара холодильного агента перед расходомером;
- давление пара холодильного агента перед расходомером;
- перепад давления на расходомере;
- массовый расход холодильного агента, измеренный расходомером, m_a .

Методы измерения холодопроизводительности



а)



б)

Схемы испытательных установок для метода D: а – расходомер на всасывающем трубопроводе; б – расходомер на нагнетательном трубопроводе:

1 – расходомер; 2 - компрессор; 3- буферная емкость, 4 — отделитель жидкости; 5 — маслоотделитель

Методы измерения холодопроизводительности

Холодопроизводительность Q_0 , соответствующую заданным условиям испытаний, вычисляют по формуле

$$Q_0 = m_a (h_{g1} - h_{f1}) \frac{v_{g1}}{v_{всy}}$$

где $h_{g1} - h_{f1}$ — разность значений удельной энтальпии холодильного агента v_{g1} — удельный объем пара холодильного агента на входе в комг $v_{всy}$ сор; — удельный объем пара холодильного агента на всасывании, соответствующий условиям испытаний.

Методы измерения холодопроизводительности

Метод обеспечивает требуемую точность измерения холодопроизводительности компрессора при использовании расходомеров, обеспечивающих точность измерения $\pm 1\%$.

Методы измерения холодопроизводительности

Метод Е. Метод предусматривает использование измерительных сосудов для измерения расхода жидкого холодильного агента.

Для измерения применяются два термоизолированных вертикальных сосуда высотой около 1,2 м. Диаметр сосуда выбирают таким, чтобы высота накопленного жидкого холодильного агента в течение 2 мин была не менее 150 мм. Сосуды соединены параллельно горизонтальными коллекторами в верхней и нижней частях и снабжены запорными вентилями в каждой верхней и нижней частях трубопровода между коллекторами и сосудом.

Методы измерения холодопроизводительности

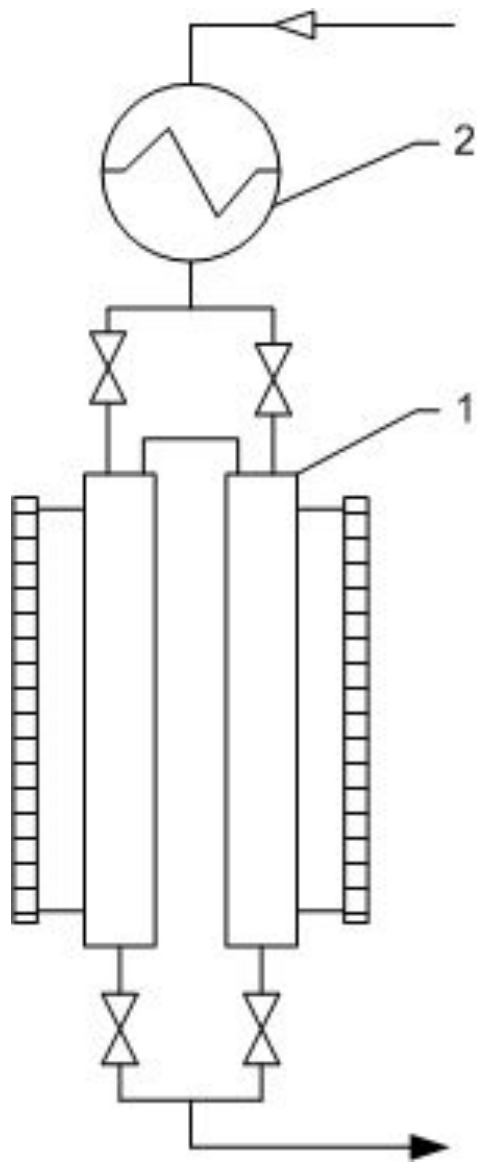


Схема испытательной
установки для метода

Е:

1 — измерительные
сосуды; 2 —
конденсатор

Методы измерения холодопроизводительности

Верхний коллектор соединяется с выходным патрубком конденсатора, а нижний коллектор — с ресивером жидкого холодильного агента, если последний применяется, или с входным патрубком регулирующего вентиля. Давление в сосудах постоянно уравнивается с помощью паропровода малого диаметра, который соединяет верхние полости обоих сосудов.

Методы измерения холодопроизводительности

Каждый измерительный сосуд снабжен указателем уровня со шкалой соответствующей градуировки жидкостью. Для сосудов разных диаметров рекомендуется следующая градуировка: для сосудов диаметром 100 мм — через 0,2 л, для сосудов диаметром 200 мм — через 2,0 л; для сосудов диаметром 300 мм — через 10,0 л.

Методы измерения холодопроизводительности

Определение расхода жидкого холодильного агента производят измерением времени, в течение которого определенный объем наполняется жидкостью. После опорожнения одного из мерных сосудов производят переключение и осуществляют питание регулирующего вентиля (или ресивера) из другого сосуда. Необходимо следить за тем, чтобы в опорожняющемся сосуде сохранялся жидкостный затвор на выходе. Регистрируют время заполнения сосуда до заданного уровня и температуру жидкости в сосуде. Режим считается установившимся, если изменение суммарного объема жидкого холодильного агента в двух сосудах в течение испытания составляет $\pm 1\%$.

Методы измерения холодопроизводительности

Определяют содержание масла в жидком холодильном агенте. Пробу отбирают после измерительных сосудов перед ресивером или регулирующим вентилем в предварительно тщательно взвешенный и вакуумированный сосуд, а затем взвешивают сосуд с пробой. После испарения холодильного агента сосуд вновь взвешивают.

Методы измерения холодопроизводительности

Для удовлетворения необходимой точности, значения трех последовательных измерений массы сосуда и оставшегося масла должны отличаться не более чем на $\pm 1\%$. Внешнюю часть сосуда перед взвешиванием необходимо сушить во избежание ошибки в результате наличия конденсированной влаги на ее поверхности. Чистую массу смеси и масла определяют путем вычитания из результатов взвешивания порожнего сосуда.

Методы измерения холодопроизводительности

При испытании замеряют следующие параметры:

- время наполнения сосуда жидкостью;
- температуру жидкости в наполненном сосуде;
- объем накопленной в сосуде жидкости;
- содержание масла в смеси жидкого холодильного агента и масла.

Методы измерения холодопроизводительности

Холодопроизводительность Q_0 с учетом поправки на содержание масла, соответствующую заданным условиям испытания, вычисляют по формуле

$$Q_0 = \frac{V \rho_a}{1 - x(1 - \mu)} [(1 - x)(h_{g1} - h_{f1}) - c_M x(t_{f1} - t_{g1})] \frac{v_{g1}}{v_{всу}}$$

где V — объемный расход смеси жидкого холодильного агента и масла; ρ_a — плотность холодильного агента при температуре жидкости в сосуде, при которой измеряется расход; x — массовая доля масла в смеси холодильного агента и масла; μ — отношение плотности масла к плотности холодильного агента при температуре, при которой измерялся расход; c_M — удельная теплоемкость масла; $t_{f1} - t_{g1}$ — разность температур холодильного агента на выходе из конденсатора и на входе в компрессор (см. рис. ниже); v_{g1} — удельный объем пара на входе в компрессор; $v_{всу}$ — удельный объем пара, соответствующий заданным условиям испытаний.

Методы измерения холодопроизводительности

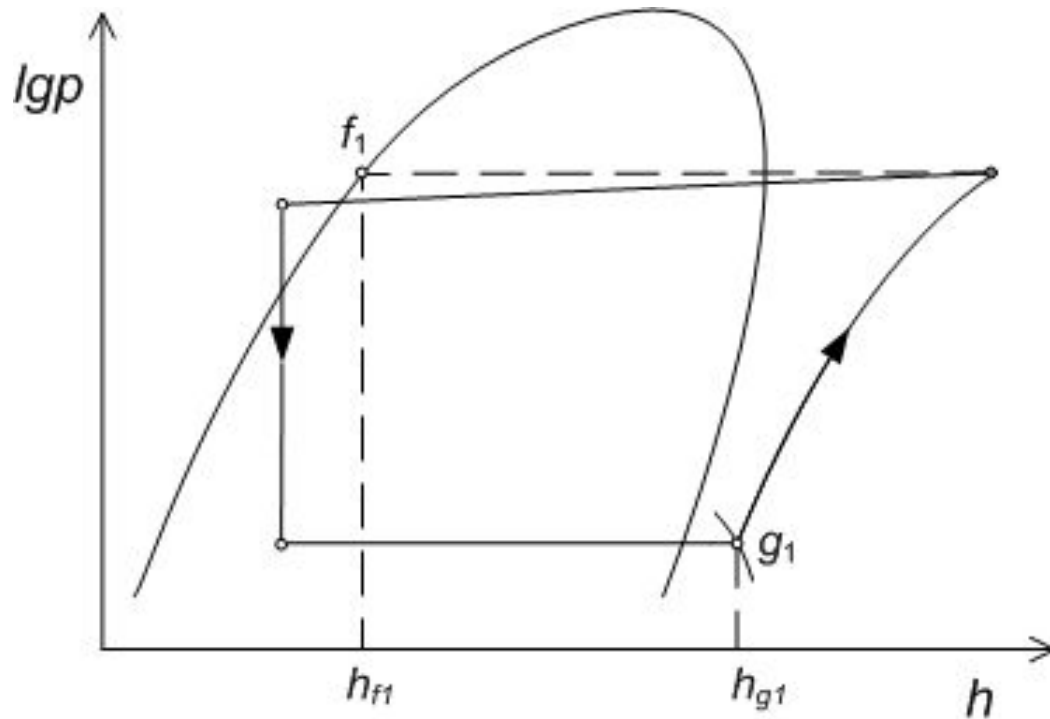


Диаграмма цикла для методов Е и F

Методы измерения холодопроизводительности

Метод F. Метод предусматривает использование расходомеров для измерения расхода жидкого холодильного агента. Метод F по измеряемым параметрам и зависимостям для определения холодопроизводительности аналогичен методу E, но в качестве прибора для измерения расхода применяют не сосуды, а расходомер. Жидкий холодильный агент, поступающий в расходомер, охлаждается не менее чем на 3°C ниже температуры насыщения, соответствующей давлению на выходе из измерительного прибора. Для контроля отсутствия пузырьков пара в жидком холодильном агенте непосредственно за измерителем устанавливают смотровые стекла.

Методы измерения холодопроизводительности

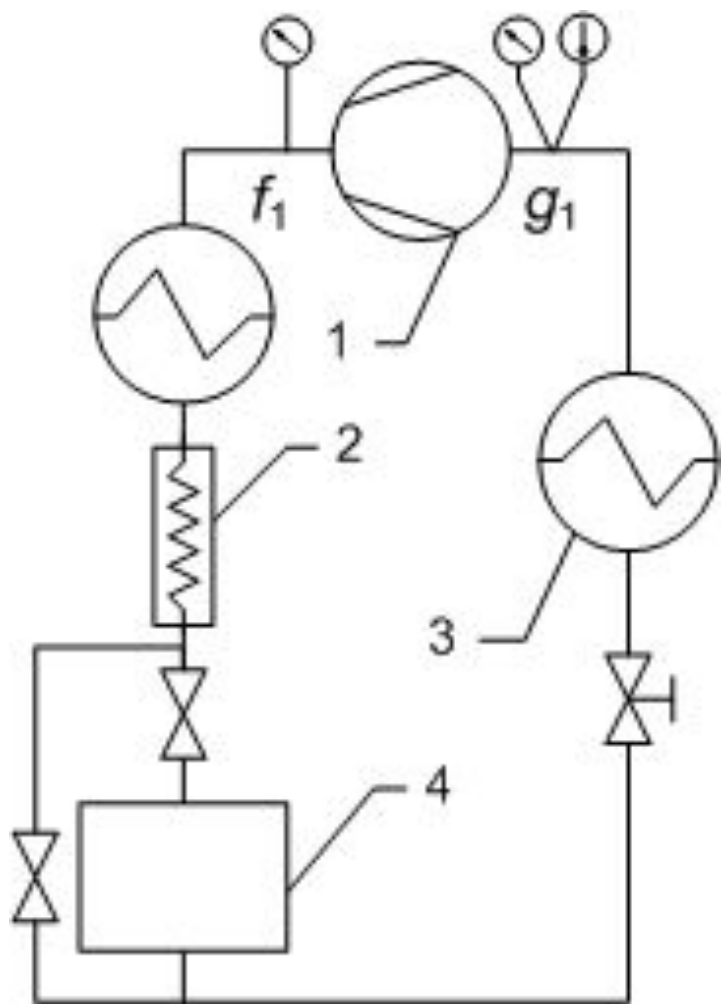


Схема испытательной
установки для метода
F:

- 1 — компрессор;
- 2 — переохладитель
жидкости;
- 3 — испаритель;
- 4 — измеритель
расхода

Методы измерения холодопроизводительности

Метод Г. Метод предусматривает использование конденсатора в качестве калориметра.

Пар холодильного агента после сжатия в компрессоре поступает в конденсатор, оснащенный всеми необходимыми приборами. Для измерения температуры, давления и расхода охлаждающей воды, а также для измерения параметров холодильного агента на входе и выходе из конденсатора.

Методы измерения холодопроизводительности

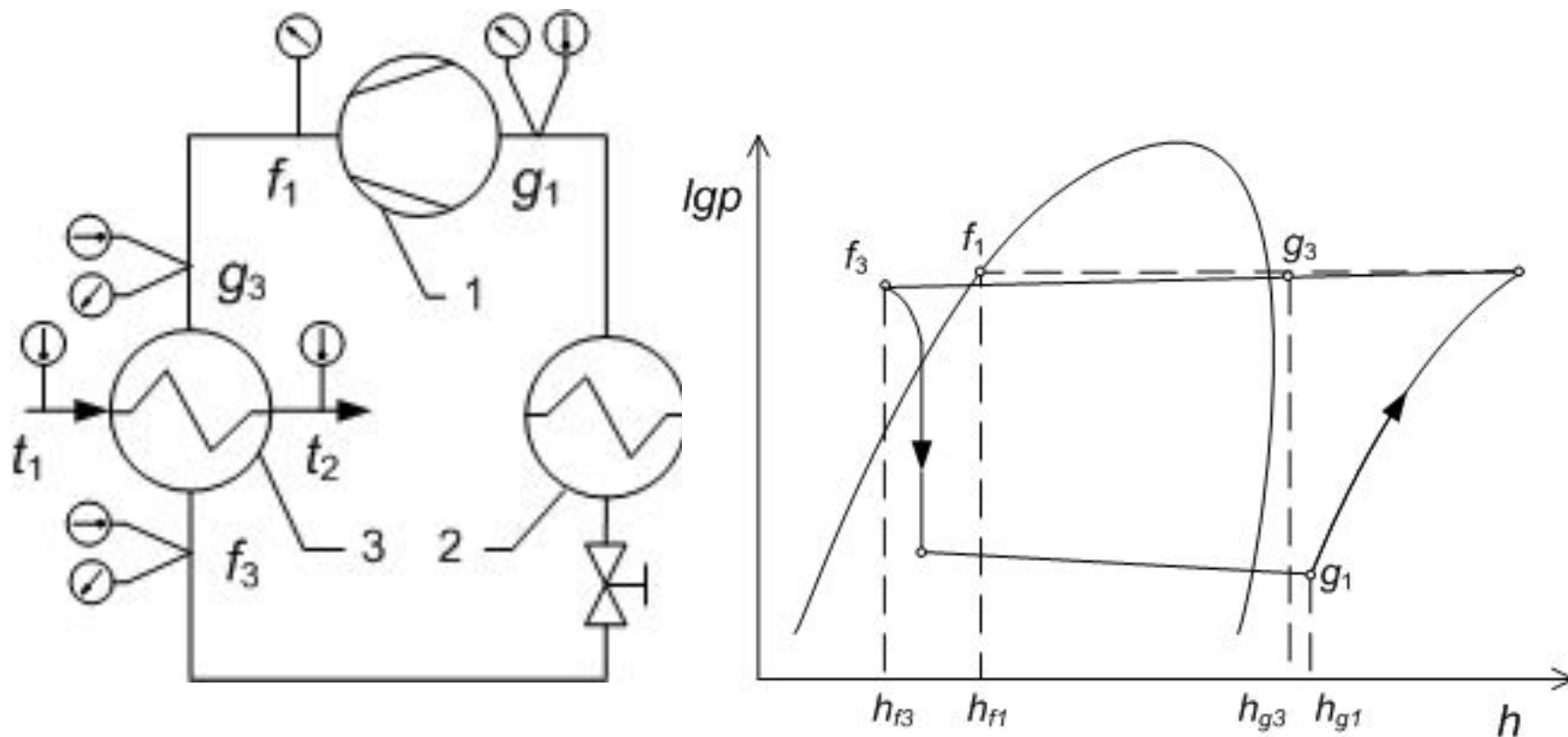


Схема испытательной установки и диаграмма цикла для метода G:

1 — компрессор; 2 — испаритель; 3 — конденсатор

Методы измерения холодопроизводительности

Конденсатор целесообразно теплоизолировать.

Удельную потерю теплоты в окружающую среду q_h определяют с помощью измерений:

$$q_h = Q_h / (t_n - t_{o.c.})$$

где Q_h — потери теплоты в окружающую среду; t_n — температура поверхности конденсатора; $t_{o.c.}$ — температура окружающей среды.

Методы измерения холодопроизводительности

При отсутствии тарировки приблизительно можно считать, что $q_h = 8A$, где A — площадь наружной поверхности конденсатора, м².

Режим по давлению и температуре всасывания в компрессор устанавливается регулированием работы испарителя, а по давлению нагнетания — путем измерения температуры и расхода охлаждающей воды, подаваемой на конденсатор.

Методы измерения холодопроизводительности

После достижения установившегося режима измеряют следующие параметры:

- давление пара холодильного агента на входе в конденсатор;
- температуру пара холодильного агента на входе в конденсатор;
- давление жидкого холодильного агента на выходе из конденсатора;
- температуру жидкого холодильного агента на выходе из конденсатора;
- температуру воды на входе в конденсатор t_1 ;
- температуру воды на выходе из конденсатора t_2 ;
- массовый расход охлаждающей жидкости m_j ;
- температуру окружающей среды $t_{o.c}$;
- среднюю температуру наружной поверхности конденсатора или поверхности изоляции t_n .

Методы измерения холодопроизводительности

Массовый расход холодильного агента m_a
вычисляют по формуле

$$m_a = [c(t_2 - t_1)m_i + q_h(t_n - t_{o.c})] / (h_{g3} - h_{f3})$$

где c — удельная теплоемкость
охлаждающей жидкости,
 $h_{g3} - h_{f3}$ —
изменение удельной энтальпии
холодильного агента в конденсаторе

Методы измерения холодопроизводительности

Холодопроизводительность компрессора Q_0 , соответствующую заданным условиям испытания, находят по

форму

$$Q_0 = m_a (h_{g1} - h_{f1}) \frac{v_{g1}}{v_{всy}}$$

где v_{g1} — удельный объем пара холодильного агента на входе в компрессор; $v_{всy}$ — удельный объем пара холодильного агента на всасывании, соответствующий заданным условиям испытаний.

Методы измерения холодопроизводительности

Метод Н. Метод с использованием сухого пароохладителя в качестве калориметра. В измерительной системе основная часть холодильного агента из компрессора, пройдя маслоотделитель и регулирующий вентиль, поступает в пароохладитель для охлаждения до температуры всасывания в компрессор. Другая часть отбирается после маслоотделителя, конденсируется и направляется в пароохладитель для охлаждения основного потока пара за счет собственного испарения, а затем на всасывание в компрессор.

Методы измерения холодопроизводительности

Теплообменная поверхность

пароохладителя должна быть достаточной для того, чтобы пар, выходящий из испарительной части, был перегрет минимально на $8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Уровень испаряемой жидкости должен быть таким, чтобы исключить попадание капель в выходящий пар. Количество конденсируемого холодильного агента измеряется расходомером или мерными сосудами по методам E и F; может быть использован и метод Q.

Методы измерения холодопроизводительности

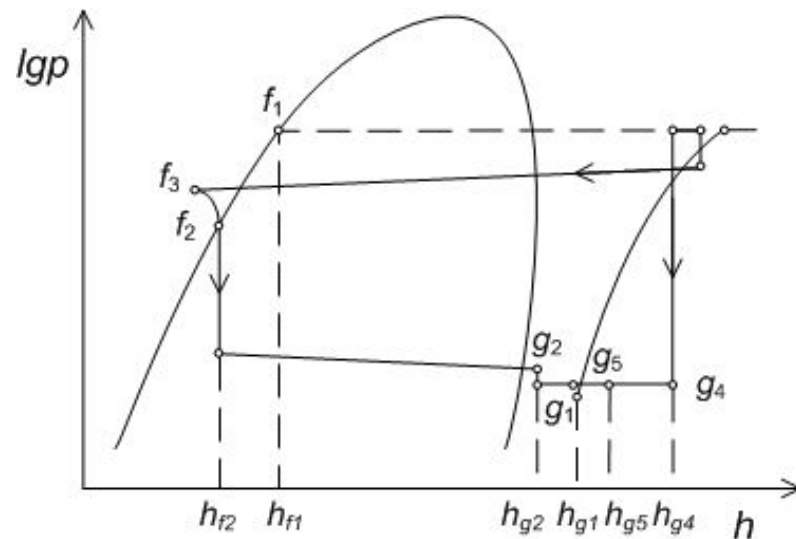
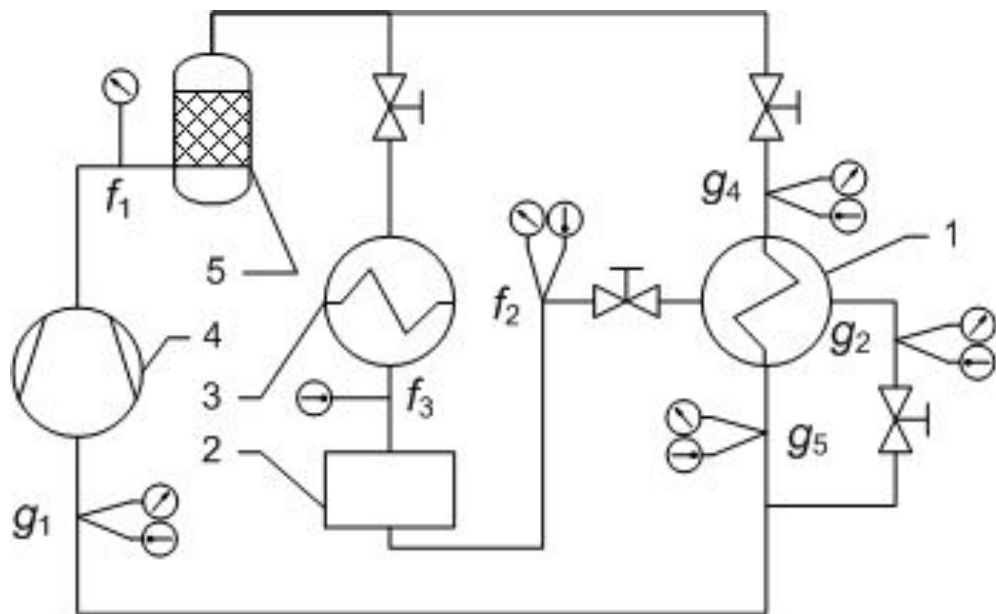


Схема испытательной установки и диаграмма цикла для метода Н:

1 — пароохладитель; 2 — измеритель расхода по методам Е и F;

3 — конденсатор; 4 — компрессор; 5 — маслоотделитель

Методы измерения холодопроизводительности

Давление на всасывании компрессора устанавливают регулирующим вентилем, расположенным между нагнетательным трубопроводом и входом паров в пароохладитель. Температуру на входе в компрессор устанавливают регулирующим вентилем, расположенным на ответвлении нагнетательного трубопровода к конденсатору, а также с помощью регулирования температуры и расхода жидкости, охлаждающей конденсатор.

Методы измерения холодопроизводительности

Теплоизоляция пароохладителя должна быть выполнена так, чтобы потери теплоты были менее 5% от общего количества теплоты, участвующей в теплообмене. С помощью измерений определяют удельную потерю теплоты в окру

$$q_h = Q_h / (t_h - t_{o.c})$$

где Q_h — потери теплоты в окружающую среду; t_h — температура насыщения паров в пароохладителе; $t_{o.c}$ — температура воздуха, окружающего

Методы измерения холодопроизводительности

После достижения установившегося режима замеряют следующие параметры:

- давление пара холодильного агента на выходе из испарительной части пароохладителя;
- температуру пара холодильного агента на выходе из испарительной части пароохладителя;
- давление жидкого холодильного агента перед регулирующим вентилем;
- температуру жидкого холодильного агента перед регулирующим вентилем;
- давление пара холодильного агента на входе в пароохладитель;
- температуру пара холодильного агента на входе в пароохладитель;
- давление пара холодильного агента на выходе из пароохладителя;
- температуру пара холодильного агента на выходе из пароохладителя;
- температуру воздуха, окружающего пароохладитель, t_{oc} ;
- массовый расход сконденсированного жидкого холодильного агента $m_{a\cdot ж}$.

Методы измерения холодопроизводительности

Общий массовый расход холодильного агента при испытании m_a вычисляют по формуле

$$m_a = m_{a,ж} \left[1 + \frac{(h_{g2} - h_{f2}) - \frac{\dot{q}_h}{m_{a,ж}} (t_{o.c} - t_H)}{h_{g4} - h_{g5}} \right]$$

$$h_{g2} - h_{f2}$$

где $h_{g2} - h_{f2}$ — изменение удельной энтальпии жидкого холодильного агента в пароохладителе; $h_{g4} - h_{g5}$ — изменение удельной энтальпии пара холодильного агента в пароохладителе.

Методы измерения холодопроизводительности

Холодопроизводительность Q_0 , соответствующую заданным условиям испытаний, вычисляют по формуле

$$Q_1 = m_a (h_{g1} - h_{f1}) v_{g1} / v_{всy},$$

где $h_{g1} - h_{f1}$ — разность значений удельной энтальпии холодильного агента (см. рис. III—11); v_{g1} — удельный объем пара холодильного агента на входе в компрессор; $v_{всy}$ — удельный объем пара холодильного агента на всасывании, соответствующий заданным условиям испытания.

Методы измерения холодопроизводительности

Метод J. Метод предусматривает использование влажного пароохладителя в качестве калориметра. Метод J отличается от предыдущего метода H тем, что жидкий холодильный агент впрыскивается в пароохладитель и целиком испаряется в нем при смешивании с паром холодильного агента, поступающим в пароохладитель из линии нагнетания компрессора

Методы измерения холодопроизводительности

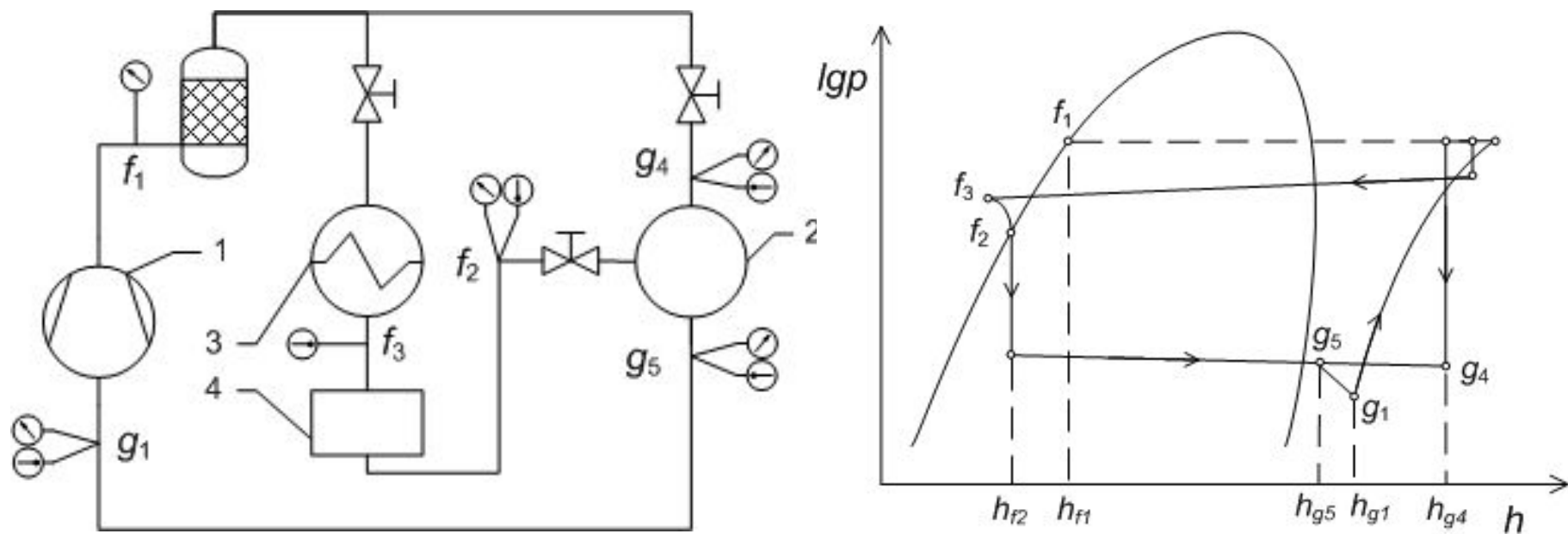


Схема испытательной установки и диаграмма цикла для метода J:

- 1 — компрессор; 2 — пароохладитель; 3 — конденсатор;
- 4 — измеритель расхода по методу E или F

Методы измерения холодопроизводительности

При испытании измеряют:

- давление паров холодильного агента на выходе из пароохладителя;
- температуру паров холодильного агента на выходе из пароохладителя;
- давление жидкого холодильного агента перед регулирующим вентилем;
- температуру жидкого холодильного агента перед регулирующим вентилем;
- давление паров холодильного агента на входе в пароохладитель;
- температуру паров холодильного агента на входе в пароохладитель;
- давление паров холодильного агента в пароохладителе;
- температуру воздуха, окружающего пароохладитель, t_o .
- расход конденсированного жидкого холодильного

Методы измерения холодопроизводительности

Общую массу расходуемого холодильного агента при испытании m_a вычисляют по формуле

$$m_a = m_{a,ж} \left[1 + \frac{(h_{g5} - h_{f2}) - \frac{q_h}{m_{a,ж}} (t_{o.c} - t_H)}{h_{g4} - h_{g5}} \right]$$

где $h_{g5} - h_{f2}$ — изменение удельной энтальпии жидкого холодильного агента в пароохладителе, $h_{g4} - h_{g5}$ — изменение удельной энтальпии паров холодильного агента в пароохладителе.

Методы измерения холодопроизводительности

Холодопроизводительность Q_0 , соответствующую заданным условиям, вычисляют по формуле

$$Q_0 = m_a (h_{g1} - h_{f1}) v_{g1} / v_{всy},$$

где $h_{g1} - h_{f1}$ — разность значений удельной энтальпии холодильного агента; v_{g1} — удельный объем пара холодильного агента на входе в компрессор; $v_{всy}$ — удельный объем пара холодильного агента на всасывании, соответствующий условиям испытаний.

Методы измерения холодопроизводительности

Метод К. Метод предусматривает использование калориметра на нагнетании компрессора. В нагнетательном трубопроводе компрессора устанавливают теплообменник, работающий, как калориметр, через который проходит вся масса холодильного агента, выходящего из компрессора. Для охлаждения или подогрева газообразного холодильного агента через калориметр протекает регулируемое количество жидкой среды, температура которой должна быть выше температуры конденсации холодильного агента, соответствующей давлению на нагнетании компрессора, для исключения частичной конденсации холодильного

Методы измерения холодопроизводительности

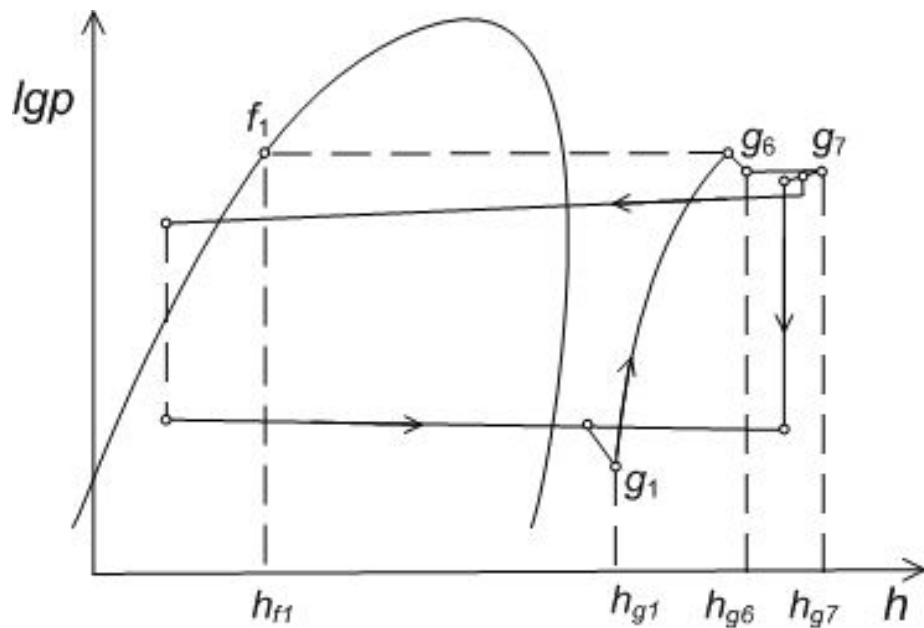
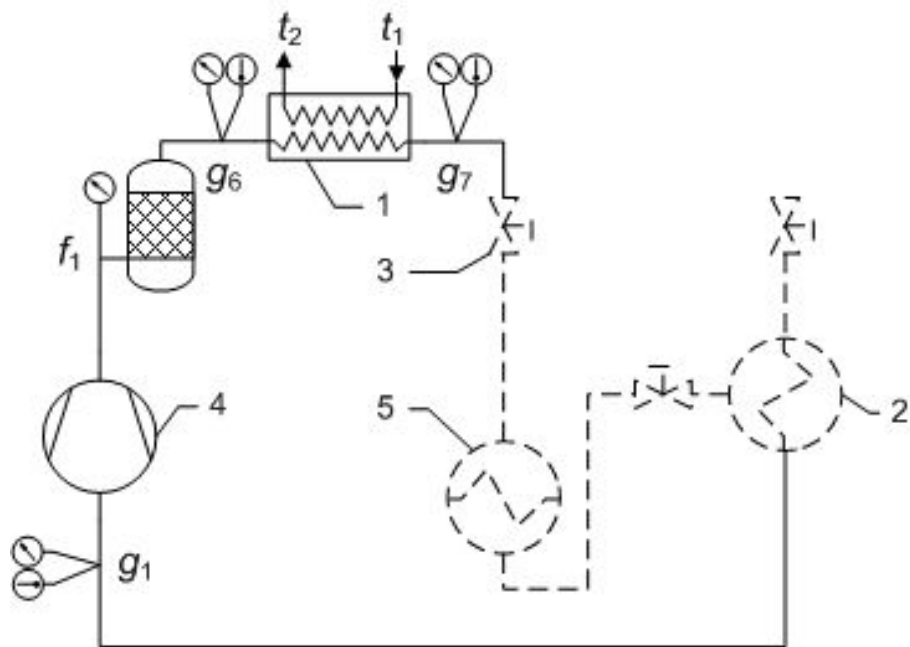


Схема испытательной установки и диаграмма цикла для метода К:

1 — калориметр; 2 — пароохладитель; 3 — дроссельный вентиль; 4 — компрессор; 5 — конденсатор

Методы измерения холодопроизводительности

Калориметр теплоизолируют так, чтобы потери теплоты Q_h не превышали 5% от холодопроизводительности компрессора. С помощью измерений определяют удельную потерю теплоты в окружающую среду:

$$q_h = Q_h / (t_n - t_{o.c})$$

где t_n — температура наружной поверхности калориметра; $t_{o.c}$ — температура воздуха, окружающего калориметр.

Методы измерения холодопроизводительности

Для обеспечения требуемых параметров пара холодильного агента перед компрессором в состав испытательной системы включают пароохладитель, который охлаждает дросселируемые пары до температуры на всасывании компрессора. Охлаждение производят впрыскиванием части сконденсированного холодильного агента в пароохладитель и его испарением. Давление на всасывании в компрессор устанавливают регулирующим вентилем, расположенным между нагнетательным патрубком компрессора и входом паров в пароохладитель. Давление на нагнетании регулируют вентилем, установленным между компрессором и конденсатором, а также изменением температуры и расхода воды, подаваемой в конденсатор.

Методы измерения холодопроизводительности

После достижения установившегося режима измеряют следующие параметры:

- давление пара холодильного агента на входе в калориметр;
- температура пара холодильного агента на входе в калориметр;
- давление пара холодильного агента на выходе из калориметра;
- температуру пара холодильного агента на выходе из калориметра;
- температуру воздуха, окружающего калориметр, ;
- среднюю температуру поверхности калориметра .
- При нагреве жидкостью регистрируют:
- температуру жидкости, поступающей в калориметр, t_1 ;
- температуру жидкости, вытекающей из калориметра, t_2 ;

Методы измерения холодопроизводительности

Теплота, подведенная к калориметру жидкостью,

$$Q_i = c(t_2 - t_1)m_i.$$

При электронагреве регистрируют потребляемую мощность нагревателя калориметра Q_i .

Методы измерения холодопроизводительности

Массовый расход холодильного агента

при испытании m вычисляют по

форм

$$m_a = \frac{Q_i - q_n(t_n - t_{o.c})}{h_{g7} - h_{g6}}$$

где $h_{g7} - h_{g6}$ — изменение удельной энтальпии пара холодильного агента в калориметре.

Методы измерения холодопроизводительности

Холодопроизводительность, соответствующую заданным условиям испытания, Q_0 вычисляют по формуле

$$Q_0 = m_a (h_{g1} - h_{f1}) v_{g1} / v_{всy},$$

где $h_{g1} - h_{f1}$ — разность значений удельной энтальпии холодильного агента; v_{g1} — удельный объем пара холодильного агента на входе в компрессор; $v_{всy}$ — удельный объем пара холодильного агента, соответствующий заданным условиям испытаний.

Определение холодопроизводительности.

Многообразие рекомендуемых методов измерения массового расхода обусловлено рядом причин.

Во-первых, номенклатура холодильных компрессоров чрезвычайно разнообразна по холодопроизводительности и мощности. Организация и проведение испытаний на паровом кольце всегда проще и дешевле, чем на стенде с полным циклом холодильной машины; особенно это ощутимо при испытании компрессоров большой холодопроизводительности, но при этом абсолютная погрешность измерения, как правило, выше.

Определения холодопроизводительности

Во-вторых, для измерения малых массовых расходов следует применять методы, обеспечивающие меньшую абсолютную погрешность измерения. Поэтому для определения массового расхода холодильных компрессоров, кроме аммиачных, холодопроизводительностью до 20 кВт предпочтительными являются методы с использованием электрических калориметров. Массовый расход холодильного агента в аммиачных компрессорах такой холодопроизводительности также рекомендуется определять на стендах с полным циклом холодильной машины. Измерения холодопроизводительности крупных компрессоров целесообразно проводить на паровом кольце.

Определения холодопроизводительности

В-третьих, для достоверности измерения необходимо проверить двумя независимыми методами в процессе каждого испытания. В связи с этим схема испытательного стенда должна обеспечивать возможность определения массового расхода не менее чем двумя измерениями, не зависящими одно от другого

Определения холодопроизводительности

На следующем рисунке представлена рекомендуемая схема теплообменного стенда, работающего по полному циклу холодильной машины.

Определения холодопроизводительности

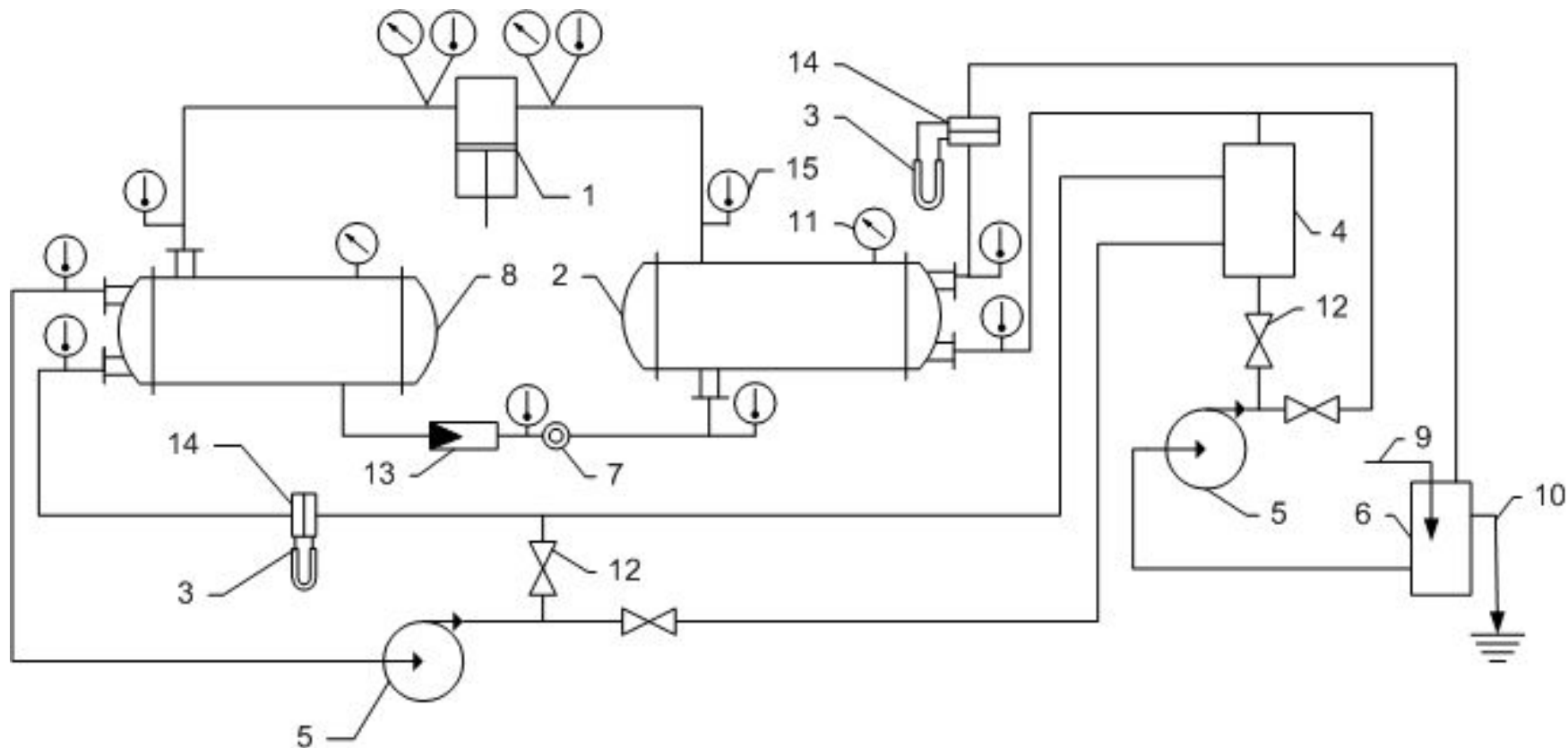


Рис. III — 14. Схема теплообменного стенда:

- 1 — компрессор; 2 — конденсатор; 3 — ртутный дифманометр;
4 — теплообменник «вода — рассол»; 5 — насос; 6 — водяной бак;
7 — смотровое стекло; 8 — испаритель; 9 — подвод воды; 10 — отвод
воды; 11 — манометр; 12 — запорный вентиль; 13 — регулирующий
вентиль; 14 — измерительное сопло; 15 — место измерения
температуры

Определения холодопроизводительности

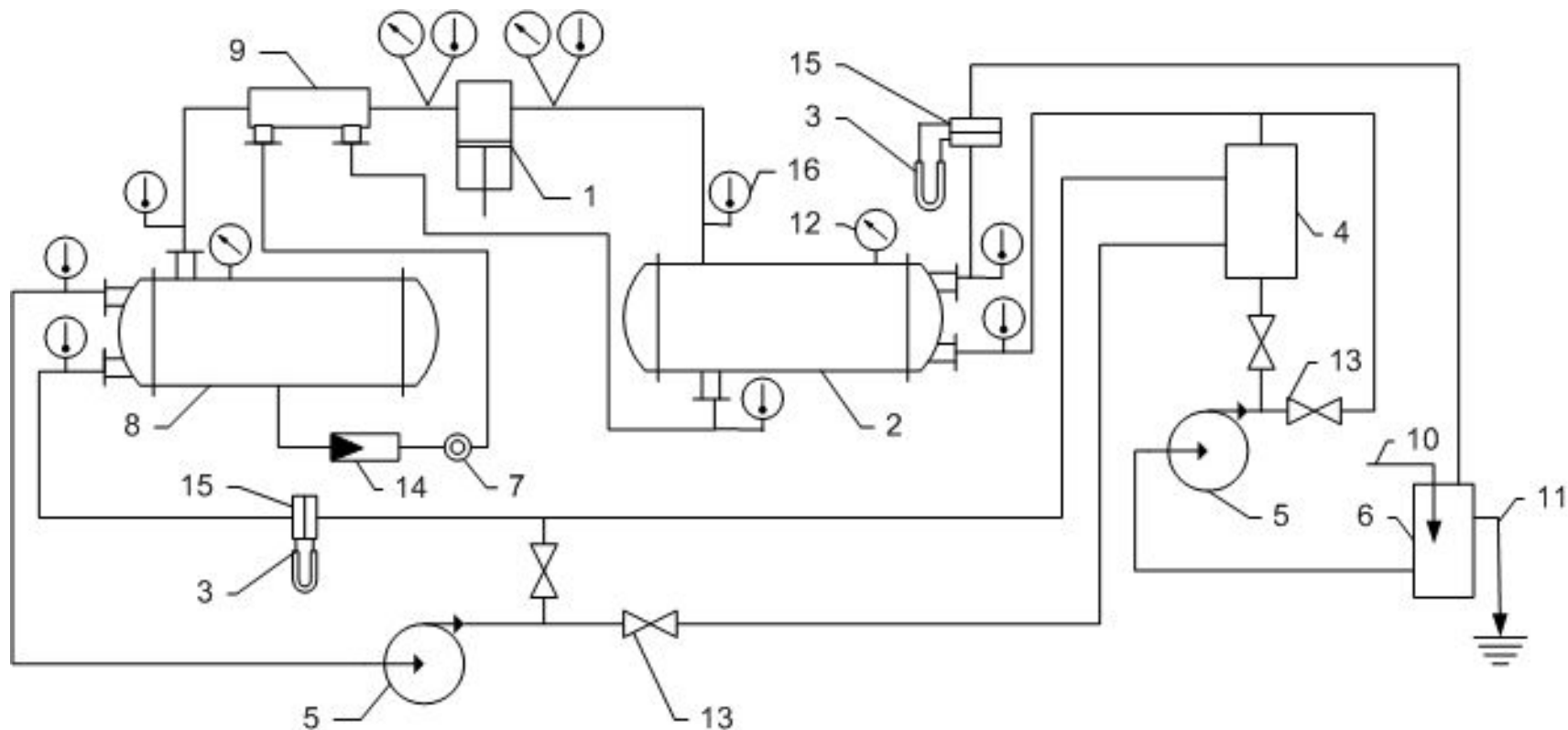


Схема теплообменного стенда с регенеративным теплообменником:

- 1 — компрессор; 2 — конденсатор; 3 — дифманометр;
- 4 — теплообменник «вода—рассол»; 5 — насос; 6 — водяной бак;
- 7 — смотровое стекло; 8 — испаритель;
- 9 — теплообменник; 10 — подвод воды; 11 — отвод воды;
- 12 — манометр; 13 — запорный вентиль; 14 — регулирующий вентиль;
- 15 — измерительное сопло; 16 — место измерения температуры

Определения холодопроизводительности

На обоих стендах массовый расход холодильного агента определяется двумя независимыми методами:

- методом С (с использованием сухого калориметра) и
- методом G (с использованием конденсатора в качестве калориметра).

Определения холодопроизводительности

Далее приведена схема калориметрического стенда, при работе которого конденсация пара холодильного агента, выходящего из компрессора, происходит в конденсаторе, а испарение — в калориметре.

Определения холодопроизводительности

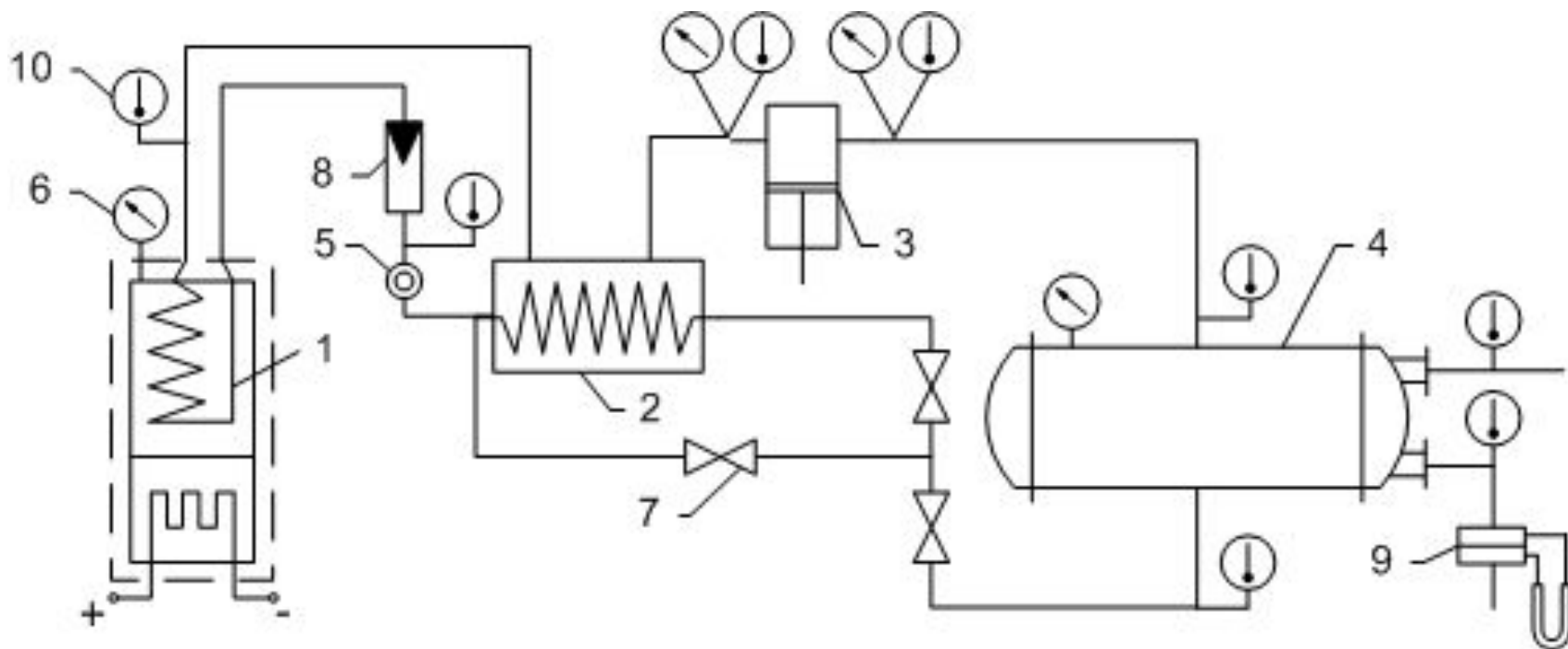


Схема калориметрического стенда:

- 1 — калориметр; 2 — теплообменник; 3 — компрессор;
- 4 — конденсатор; 5 — смотровое стекло; 6 — манометр;
- 7 — запорный вентиль; 8 — регулирующий вентиль;
- 9 — измерительное сопло; 10 — место измерения температуры

Определения холодопроизводительности

Массовый расход измеряют:

- методом А (с использованием калориметра со вторичным холодильным агентом) и
- методом В (с использованием конденсатора в качестве калориметра).

Схема стенда с паровым кольцом предусматривает измерение массового расхода

- методом К (с использованием калориметра на нагнетании компрессора) и
- методом D (с использованием расходомеров для измерения расхода пара холодильного агента).

Определения холодопроизводительности

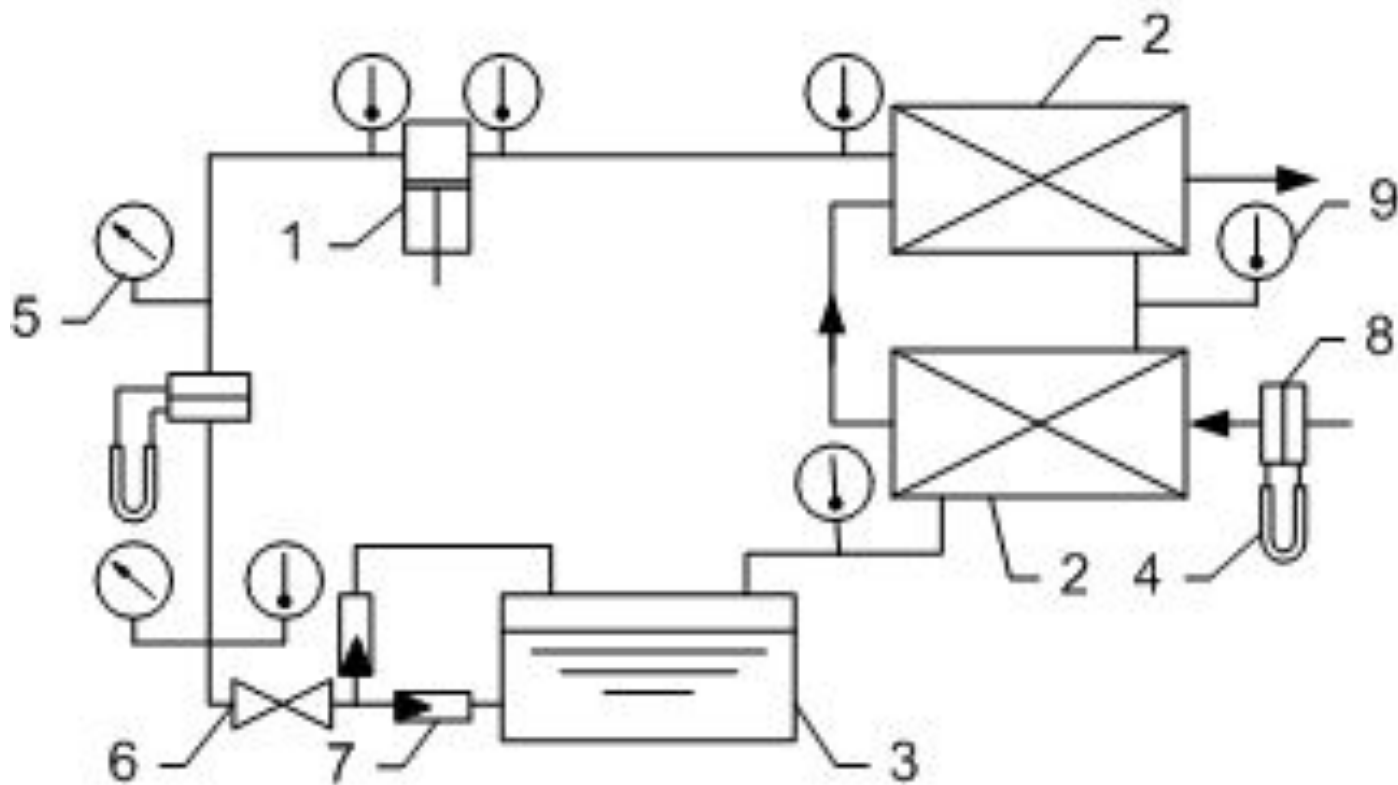


Схема стенда с паровым кольцом:

1 — компрессор; 2 — конденсатор (теплообменник); 3 — ресивер; 4 — дифманометр; 5 — манометр; 6 — запорный вентиль; 7 — регулирующий вентиль; 8 — измерительное сопло; 9 — место измерения температуры

Определения холодопроизводительности

Строгое соблюдение изложенных в настоящем разделе методических указаний и рекомендаций позволяет осуществить измерение холодопроизводительности с требуемой точностью до $\pm 2\%$.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

Для определения эффективной потребляемой мощности N_e на валу компрессора применяют следующие методы :

Непосредственный метод. Измеряют крутящий момент на валу компрессора динамометром или другим прибором, обеспечивающим измерение с точностью до +1%. При испытании измеряют также частоту вращения; при этом используют приборы, обеспечивающие точность измерения до $\pm 0,6\%$. Среднее значение эффективной мощности вычисляют по средним значениям крутящего момента и угловой скорости (частоты вращения в течение испытаний).

Косвенный метод. Для привода применяют электродвигатель с известной характеристикой, позволяющей по мощности, измеренной на клеммах электродвигателя, определить эффективную мощность на валу. Рекомендуется использовать прямое соединение вала электродвигателя с валом компрессора с помощью муфты. В случае привода компрессора через передачу надо учитывать КПД передачи. Для измерения электрической мощности применяют приборы, точность которых составляет $\pm 1\%$.

Методы измерения потребляемой мощности

Для определения электрической потребляемой мощности $N_{\text{э}}$ измеряют потребляемую мощность на клеммах электродвигателя. Приборы, с помощью которых проводят измерение, должны иметь точность $\pm 1\%$.

ИСПАРИТЕЛИ

В холодильных машинах для охлаждения жидких теплоносителей в большинстве случаев применяют испарители кожухотрубной конструкции с кипением холодильного агента как внутри труб, так и в межтрубном пространстве.

Качество испарителя и его потребительские свойства оцениваются следующими основными показателями: площадью теплопередающей поверхности испарителя A (м^2), массой испарителя m (кг), коэффициентом теплопередачи k [$\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$], плотностью теплового потока q_A ($\text{Вт}/\text{м}^2$), гидравлическим сопротивлением испарителя при прохождении холодильного агента Δp_a (кПа), гидравлическим сопротивлением при прохождении теплоносителя $\Delta p_{\text{тн}}$ (кПа).

Коэффициент теплопередачи k и плотность теплового потока q_A относят к одной из теплопередающих поверхностей (внутренней или наружной), как правило, к гладкой поверхности. Поэтому в случае межтрубного кипения чаще пользуются коэффициентом теплопередачи $k_{вн}$ и плотностью теплового потока $q_{Авн}'$, отнесенными к внутренней поверхности, а в случае внутритрубного кипения — коэффициентом теплопередачи k_n и плотностью теплового потока $q_{Ан}'$, отнесенными к наружной поверхности. Площадь теплопередающей поверхности испарителя A определяют, как правило, также по гладкой поверхности.

Испытания испарителей для определения указанных теплотехнических и гидродинамических характеристик осуществляются на теплообменном стенде, работающем по полному циклу холодильной машины на реальном холодильном агенте с использованием реального теплоносителя.

Испарители

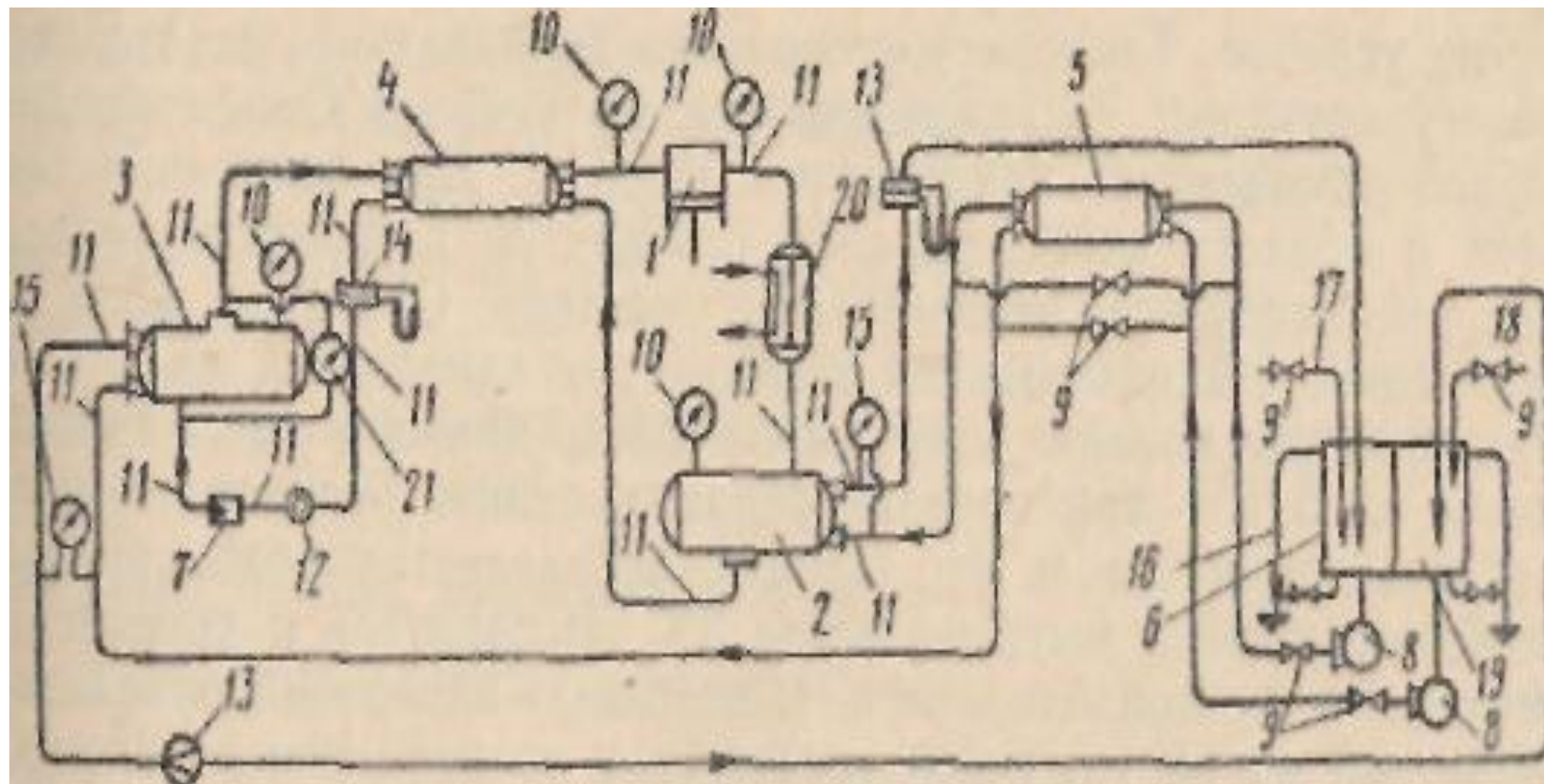


Схема теплообменного стенда для испытаний холодильной машины и ее агрегатов:

- 1 — компрессор; 2 — конденсатор; 3 — испаритель; 4 — регенеративный теплообменник; 5 — теплообменник «вода — теплоноситель»; 6 — водяной бак; 7 — регулирующий вентиль; 8 — насос; 9 — запорный вентиль; 10 — манометр; 11 — место измерения температуры; 12 — смотровое стекло; 13 — измеритель расхода теплоносителя; 14 — измеритель расхода хладагента; 15 — дифманометр; 16 — отвод воды; 17 — подвод холодной воды; 18 — периодический подвод горячей воды; 19 — бак теплоносителя; 20 — водяной теплообменник; 21 — дифманометр

Испарители

Питание испарителя осуществляется терморегулирующим вентилем 7, к которому подводится жидкий холодильный агент, переохлажденный в регенеративном теплообменнике 4. Смотровое стекло 12, установленное перед регулирующим вентилем, позволяет контролировать отсутствие пузырьков пара в жидком холодильном агенте. Отсос паров холодильного агента из испарителя производится компрессором 1. Подвод теплоносителя к испарителю осуществляется из бака 19 насосом 8. Температура теплоносителя на входе в испаритель устанавливается путем подогрева его в теплообменнике 5 водой, подаваемой в конденсатор. После охлаждения в испарителе теплоноситель возвращается в бак 19.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ ИСПЫТАНИЯ ИСПАРИТЕЛЕЙ

Группа температурного режима	Температура, °C		
	кипения холодильного агента	перегретого пара холодильного агента на выходе из аппарата	охлаждаемой среды на входе в аппарат
I	+5	+8	+14
I*	-3	+1	+6
II	-15	-12	-6
III	-25	-23	-17
IV	-40	-38	-33

Для сопоставимости результатов необходимо соблюсти также и другие условия. Температура жидкого холодильного агента перед терморегулирующим вентилем должна быть $25 \pm 3^\circ\text{C}$ при предпочтительной температуре конденсации $30 \pm 3^\circ\text{C}$.

При испытании испарителей в области отрицательных температур в качестве теплоносителя рекомендуется использовать раствор CaCl_2 в воде при концентрации, обеспечивающей температуру замерзания на 8°C ниже температуры кипения при межтрубном кипении холодильного агента и на 5°C — при внутритрубном кипении.

Разность температур охлаждаемой среды, по которой определяется холодопроизводительность, должна быть не менее 3°C. Испаритель и конденсатор рекомендуется теплоизолировать. С помощью измерений определяют теплопритоки из окружающей среды Q_h в зависимости от разности температур окружающей среды и поверхности аппаратов.

ВО ВРЕМЯ ИСПЫТАНИЙ ПОСЛЕ ДОСТИЖЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ОПРЕДЕЛЯЮТ ЗНАЧЕНИЯ СЛЕДУЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ

Параметр	Обозначение	Точность приборов
Температура теплоносителя, °С		
на входе в испаритель	t_{TH1}	±0,06 °С
на выходе из испарителя	t_{TH2}	±0,06 °С
Температура жидкого холодильного агента перед терморегулирующим вентилем, °С	$t_{\text{а.рв}}$	±0,3 °С
Температура холодильного агента на входе в испаритель, °С	$t_{\text{а.и1}}$	±0,3 °С
Температура пара холодильного агента после испарителя, °С	$t_{\text{а.и2}}$	±0,3 °С
Температура холодильного агента, °С		
перед конденсатором	$t_{\text{а.к1}}$	±0,3 °С
после конденсатора	$t_{\text{а.к2}}$	±0,3 °С
Температура воды, °С		
на входе в конденсатор	t_{w1}	±0,06 °С
на выходе из конденсатора	t_{w2}	±0,06 °С
Давление холодильного агента на выходе из испарителя, кПа	$p_{\text{а.и2}}$	±1%

ВО ВРЕМЯ ИСПЫТАНИЙ ПОСЛЕ ДОСТИЖЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ОПРЕДЕЛЯЮТ ЗНАЧЕНИЯ СЛЕДУЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ

Параметр	Обозначение	Точность приборов
Давление холодильного агента на выходе из испарителя, кПа	$p_{a.и2}$	$\pm 1\%$
Разность давлений холодильного агента на входе в испаритель и выходе из него, кПа	$\Delta p_{и.а}$	$\pm 3\%$
Давление теплоносителя на входе в испаритель, кПа	$p_{тн}$	$\pm 3\%$
Гидравлическое сопротивление испарителя при прохождении теплоносителя, кПа	$\Delta p_{тн}$	$\pm 3\%$
Давление холодильного агента в конденсаторе, кПа	$p_{a.к}$	$\pm 1\%$
Объемный расход жидкого хладагента в смеси с маслом, м ³ /с	V_a	$\pm 1\%$
Объемный расход теплоносителя, м ³ /с	$V_{тн}$	$\pm 1\%$
Объемный расход воды через конденсатор, м ³ /с	V_w	$\pm 1\%$
Плотность смеси жидкого холодильного агента и масла перед расходомером, кг/м ³	ρ_a	$\pm 1\%$
Плотность теплоносителя на входе в испаритель, кг/м ³	$\rho_{тн}$	$\pm 1\%$
Массовая доля масла в смеси холодильного агента с маслом	x	$\pm 0,2\%$

По результатам измерений определяют:

1. Тепловой поток в испарителе Q_0 (Вт)

$$Q_0 = V_{\text{ТН}} \rho_{\text{ТН}} c_{\text{ТН}} (t_{\text{ТН1}} - t_{\text{ТН2}})$$

где $c_{\text{ТН}}$ — теплоемкость теплоносителя при средней температуре, равной $(t_{\text{ТН1}} - t_{\text{ТН2}})$, Дж/(кг К).

2. Среднелогарифмический температурный напор Θ (°C)

$$\theta = \frac{t_{\text{ТН1}} - t_{\text{ТН1}}}{\ln \frac{t_{\text{ТН1}} - t_0}{t_{\text{ТН2}} - t_0}}$$

где t_0 — средняя температура кипения, равная $0,5 (t_{\text{а.и1}} + t_{02})$; t_{02} определяется как температура насыщенных паров при давлении $p_{\text{а.и2}}$.

3. Массовый расход холодильного агента $m_{a.и}$ (кг/с) — по тепловому балансу испарителя:

$$m_{a.и} = \frac{Q_0 + q_h(t_{o.c} - t_{п})}{\Delta h_{a.и} - \frac{x}{1-x} c_m(t_{a.pв} - t_{a.и2})},$$

где $\Delta h_{a.и}$ — разность энтальпий, определенная по параметрам холодильного агента на выходе из испарителя ($p_{a.и2}; t_{a.и2}$) и на входе ($p_{a.и2} - \Delta p_{и.а}; t_{a.и1}$) в него; c_m — теплоемкость масла, содержащегося в холодильном агенте, проходящем через испаритель.

Испарители

Уравнение для расчета $m_{a.и}$ получено из условия, что подведенная в испарителе теплота от теплоносителя Q_0 и окружающей среды $q_h(t_{o.c} - t_{п})$ расходуется на изменение энтальпии холодильного агента в испарителе на величину и подогрев масла от температуры холодильного агента на входе $t_{a.и1}$ до температуры холодильного агента на выходе $t_{a.и2}$, а также из условия, что охлаждение масла, содержащегося в жидком холодильном агенте, от температуры перед терморегулирующим вентилем до температуры холодильного агента на входе в испаритель произошло за счет испарения холодильного агента.

4. Тепловой поток в конденсаторе Q_k (Вт)

$$Q_k = V_w \rho_w c_w (t_{w2} - t_{w1}),$$

где ρ_w — плотность воды, определенная при средней температуре в конденсаторе $0,5(t_{w2} - t_{w1})$; c_w — теплоемкость воды, определенная при этой же температуре.

5. Массовый расход холодильного агента $m_{a.k}$ (кг/с) — по тепловому балансу конденсатора:

$$m_{a.k} = \frac{Q_k + q_h(t_{п} - t_{o.c})}{\Delta h_{a.k} - \frac{\chi}{1 - \chi} c_M(t_{a.k1} - t_{a.k2})},$$

где $\Delta h_{a.k}$ — разность удельных энтальпий, определенная по параметрам холодильного агента на входе в конденсатор ($p_{a.k1}; t_{a.k1}$) и на выходе ($p_{a.k2}; t_{a.k2}$) из него; c_M — теплоемкость масла, содержащегося в холодильном агенте, проходящем через конденсатор.

Уравнение для расчета $m_{a.k}$ получено из условия, что отведение в конденсаторе теплоты водой Q_k и в окружающую среду Q_h вызвало изменение энтальпии холодильного агента на величину и охлаждение масла от температуры холодильного агента на входе в конденсатор до температуры на выходе из него.

6. Массовый расход холодильного агента $m_{a.pв}$ (кг/с) — по измерениям расходомером перед терморегулирующим вентилем:

$$m_{a.pв} = (1 - x)V_{a.pв}\rho_{a.pв}.$$

7. Среднее значение массового расхода холодильного агента $m_{a.cр}$ (кг/с)

$$m_{a.cр} = \frac{m_{a.и} + m_{a.к} + m_{a.рв}}{3}$$

Результаты измерений можно считать удовлетворительными, если отклонение каждой из величин $m_{a.и}$, $m_{a.к}$, $m_{a.рв}$ от среднего значения массового расхода холодильного агента $m_{a.ср}$ не превышает 4%.

Тепловой поток в испарителе

$$Q_0 = m_{a, \text{ср}} \Delta h_{a, \text{и}}.$$

В зависимости от конструкции испарителя определяется значение площади внутренней или наружной теплообменной поверхности A .

Основные теплотехнические и гидродинамические показатели испарителя, характеризующие его качество:

1. Коэффициент теплопередачи k [Вт/(м² К)], с

$$k = Q_0 / (A\theta).$$

2. Плотность теплового потока ($\text{Вт}/\text{м}^2$), вычисляемая по формуле

$$q_A = Q_0 / A.$$

3. Гидравлическое сопротивление испарителя при прохождении холодильного агента $\Delta p_{\text{и.а}'}$ определяемое по результатам измерений.
4. Гидравлическое сопротивление при прохождении теплоносителя $\Delta p_{\text{тн}}$ определяемое по результатам измерений.