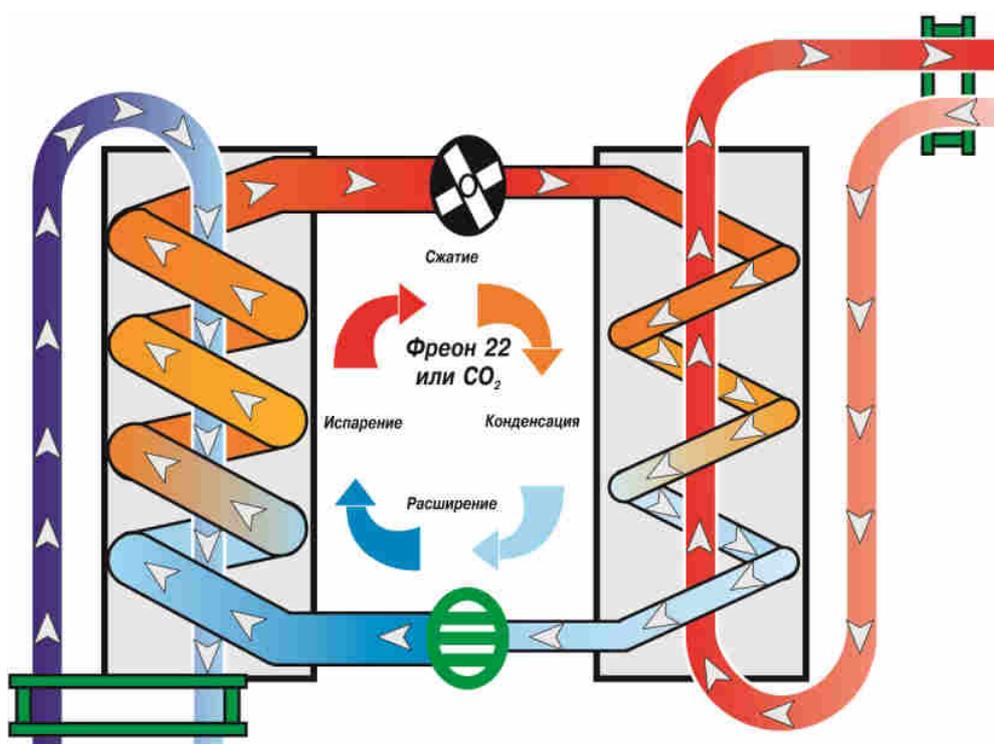


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Вятская государственная сельскохозяйственная академия
Инженерный факультет
Кафедра тепловых двигателей, автомобилей и тракторов

П.Н. Вылегжанин, А.А. Лопарев, О.П. Лопатин

ТЕПЛОТЕХНИКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ



Киров 2020

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Вятская государственная сельскохозяйственная академия
Инженерный факультет
Кафедра тепловых двигателей, автомобилей и тракторов

П.Н. Вылегжанин, А.А. Лопарев, О.П. Лопатин

ТЕПЛОТЕХНИКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

**Учебно-методическое пособие для выполнения
лабораторных работ по дисциплине «Теплотехника»
для студентов инженерного факультета,
обучающихся по направлению подготовки
35.03.06 Агроинженерия**

Киров 2020

УДК 521.1: 658.264

ББК 31.31я73-4

Вылегжанин П.Н., Лопарев А.А., Лопатин О.П. Теплотехника и применение теплоты в агропромышленном комплексе: Учебно – методическое пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теплотехника» для студентов инженерного факультета, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия. - Киров: Вятская ГСХА, 2020. - 67 с.

Рецензенты: доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» С.А. Плотников;
кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых двигателей автомобилей и тракторов ФГБОУ ВО Вятская ГСХА Р.Р. Деветьяров.

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к печати учебно-методической комиссией инженерного факультета Вятской ГСХА (протокол № 06 от 20.02.2020 г.).

В учебно-методическом пособии изложен алгоритм проведения лабораторных работ по дисциплине «Теплотехника». Пособие позволяет ознакомиться с методикой снятия энергетического баланса тепловых двигателей, процессами теплопроводности, конвективного теплообмена, теплоотдачи, теплопередачи и холодильными установками.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

© ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, 2020

© П.Н. Вылегжанин, А.А. Лопарев, О.П. Лопатин, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель изучения теплотехники - овладение методами интенсификации производственных процессов с целью экономии топлива и улучшения экономических показателей производства. Владение этими методами предполагает умение анализировать работу энергоиспользующего оборудования и испытывать его в натуре и на моделях. Проведение лабораторных работ по общей теплотехнике способствует развитию соответствующих навыков. При организации лабораторных работ по общей теплотехнике для обучающихся инженерного факультета ставились следующие задачи:

1. Знакомство обучающихся с теплотехническим оборудованием, применяемым в агропромышленном комплексе.

2. Усвоение методики теплотехнических испытаний.

2. Применение знаний теоретических основ теплотехники для исследования и анализа теплотехнических процессов, имеющих место в различного рода технических устройствах агропромышленного комплекса.

Лабораторные работы проводятся на лабораторных моделях и реальном оборудовании. Теплотехнические наблюдения и испытания преследуют две основные цели: исследование энергобаланса и определение интенсивности теплообмена. В опытах измеряют величины, на основе которых может быть проведен анализ энергобаланса и интенсивности теплообмена.

Основные теоретические положения к лабораторным работам излагаются на лекциях. Учебно-методическое пособие включает описание и схемы лабораторных установок, методику проведения испытаний и обработку опытных данных, требования к оформлению отчета по работе. Кроме того, предлагается ряд вопросов, на которые следует обратить внимание при анализе результатов работы. При подготовке к лабораторным занятиям и оформлении отчета бакалавры должны пользоваться, кроме учебно-методического пособия, практикумом по теплотехнике и другими учебниками, указанными в списке рекомендуемой литературы.

Лабораторная работа № 1

СНЯТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ДВС

Цель работы

Освоение методики снятия энергетического баланса тепловых двигателей и изучение энергетического баланса двигателя внутреннего сгорания.

Задачи работы

1. Определение мощности двигателя, секундного расхода топлива и секундного расхода охлаждающей воды, проходящей через двигатель.
2. Определение коэффициента избытка воздуха и состава продуктов сгорания.
3. Определение составляющих энергетического (теплового) баланса двигателя с составлением сводной таблицы.

Согласно второму закону термодинамики, в идеальном тепловом двигателе (идеальном цикле) непременно происходит отдача части подведенного тепла холодному источнику. В реальном двигателе имеются дополнительные расходы подведенной энергии, вызванные необратимостью процессов (трение, дросселирование), теплообменом между рабочим телом и охлаждающей средой, а также затратой энергии на приведение в действие вспомогательных механизмов.

Энергетический баланс двигателя, называемый обычно тепловым балансом, показывает распределение энергии, подведенной в двигатель. Подведенной, или располагаемой энергией, является химически связанная энергия топлива, выделяющаяся в процессе сгорания. Часть подведенной (располагаемой) энергии превращается в полезную работу, которая снимается с вала двигателя. Остальная подведенная энергия расходуется бесполезно.

Описание установки

Лабораторная установка (рисунок 1.1) состоит из двигателя внутреннего сгорания 1, электротормоза 2, топливного бака 3, расходомера воздуха 4, счетчика расхода воды 5, системы трубопроводов и измерительных приборов. Топливо на двигатель подается из промежуточного бака 6, установленного на весах.

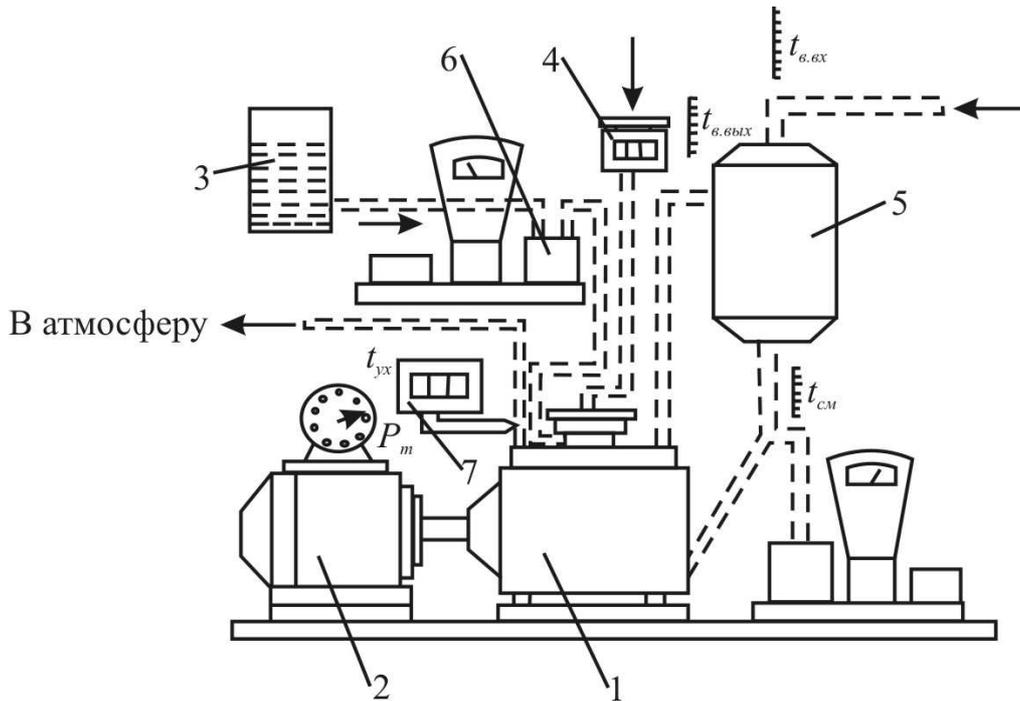


Рисунок 1.1 - Схема установки для снятия энергетического баланса двигателя внутреннего сгорания: 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – электротормоз; 3 – топливный бак; 4 – расходомер воздуха; 5 – счетчик расхода воды; 6 – промежуточный топливный бак; 7 – термометр для определения температуры продуктов сгорания в выхлопном трубопроводе

Проведение испытаний

1. Ознакомиться с установкой, измерительными приборами и устройствами, составить схему установки. Подготовить журналы наблюдений.
2. Подготовить установку к испытанию. После запуска двигателя и достижения установившегося режима, характеризующегося стабильностью показаний термометров, начинают работу.

3. По сигналу следует приступить к записи показаний приборов. Сигнал об окончании испытания дается по израсходовании 50 г топлива. В процессе испытания записываются следующие величины:

- показания тормоза, P_m , кг;
- расход воды, $M_{вод}$;
- температуру воды, поступающей в двигатель ($t_{в.вх}$) и на выходе из двигателя ($t_{в.вых}$);
- температуру продуктов сгорания в выхлопном трубопроводе $t_{ухг}$;
- температуру воздуха в помещении t_o ;
- барометрическое давление $P_{бар}$;
- количество воздуха, поступающего в двигатель $V_{сч}$;
- частоту вращения вала двигателя n мин⁻¹;
- время испытания, τ , с.

Обработка результатов испытания

1. Определение секундного расхода топлива:

$$G_c = \frac{\Delta G}{\tau} \cdot 10^{-3}, \text{ кг/с,}$$

где τ - время испытания, с;

ΔG - масса топлива, израсходованного за опыт, г.

2. Располагаемое количество энергии, выделяемой при полном сгорании топлива, равно:

$$Q_{расч} = Q_H \cdot G_c, \text{ кДж/с.}$$

где Q_H - низшая теплота сгорания топлива (для дизельного топлива – 42500 кДж/кг; для бензина - 44000 кДж/кг).

3. Определение количества энергии, превращенной в полезную работу, т.е. эффективной мощности двигателя, определяемой по крутящему моменту:

$$N_e = 0,736 \cdot 10^{-3} \cdot P_T \cdot n, \text{ кВт.}$$

4. Определение коэффициента избытка воздуха:

а) действительное количество воздуха (по нормальному объему), поданное в двигатель на 1 кг топлива:

$$V_{\partial} = \frac{V_{сч} \cdot 10^3}{\Delta G} \cdot \frac{P_{окр}}{P_{н}} \cdot \frac{T_{н}}{T_{окр}}, \text{ м}^3/\text{кг},$$

где $V_{сч}$ - расход воздуха за опыт, м³;

б) теоретически необходимое количество воздуха:

$$V_o = 0,0889(C^p + 0,3755S^p) + 0,266H^p - 0,033O^p, \text{ м}^3/\text{кг},$$

где C^p , S^p , H^p , O^p , N^p и W^p - состав рабочей массы топлива (C^p - углерода; S^p - летучей серы; H^p - водорода; O^p - кислорода; N^p - азота; W^p - влаги).

Для дизельного топлива: $C^p=84\%$; $S^p=1,5\%$; $H^p=13\%$; $O^p=0,3\%$; $N^p=0,2\%$.

Для бензина $C^p = 85,5\%$; $H^p = 14\%$; $O^p = 0,3\%$; $N^p = 0,15\%$; $W^p = 0,05\%$.

в) коэффициент избытка воздуха:

$$\alpha = \frac{V_{\partial}}{V_o}.$$

5. Определение неиспользованной разности энтальпий уходящих газов, или количества тепла, переданного уходящими газами окружающей среде:

а) объем продуктов сгорания топлива:

$$V_{CO_2} = \frac{C^p}{54}, \text{ м}^3/\text{кг}, \quad V_{SO_2} = \frac{0,375S^p}{54},$$

$$V_{H_2O} = 0,111H^p + 0,012W^p + 0,0161V_o \cdot \alpha, \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$V_{N_2} = 0,79V_o + 0,008N^p, \text{ м}^3/\text{кг};$$

б) избыток воздуха в продуктах сгорания:

$$\Delta V_{возд} = (\alpha - 1) \cdot V_o, \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$\Delta V_{yx.z} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + \Delta V, \text{ м}^3/\text{кг};$$

в) объемные доли компонентов продуктов сгорания

$$r_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{yx.z}}, \quad r_{SO_2} = \frac{V_{SO_2}}{V_{yx.z}} \text{ и т.д.};$$

г) объемная теплоемкость продуктов сгорания

$$c_{p_{yx.z}} = \sum_{i=1}^{i=n} c_{pi} \cdot r_i, \text{ кДж}/(\text{м}^3 \text{ К}),$$

где c_{pi} - средние объемные теплоемкости компонентов при постоянном давлении, кДж/(м³ К);

д) неиспользуемая разность энтальпий уходящих газов:

$$Q_{yx.z} = G_c (V_{yx.z} \cdot c_{p_{yx.z}} \cdot t_{yx.z} - V_o \cdot c_{pv} \cdot t_o), \text{ кДж}/\text{с},$$

где c_{pv} - объемная изобарная теплоемкость воздуха при t_o °С.

6. Количество тепла, переданного охлаждающей воде, определяется из теплового баланса по формуле:

$$Q_{охл.в} = M_{вс} \cdot 4,19(t_{в.вых} - t_{в.вх}), \text{ кДж}/\text{с},$$

где $M_{вс} = M_{в}/\tau$ - расход водопроводной воды в единицу времени, кг/с.

7. Неиспользованное количество энергии вследствие химической неполноты сгорания:

$$Q_{хн} = 14600(1 - \alpha) \cdot 4,19 \cdot G_c, \text{ кВт}$$

8. Количество тепла, переданного в окружающую среду, и неучтенные потери:

$$Q_{ост} = Q_{расп} - N_e - Q_{yx.z} - Q_{охл.в} - Q_{хн}.$$

Оформление отчета

Отчет должен содержать схему установки с кратким ее описанием, таблицу опытных данных 1.1, обработку результатов испытания. Элементы теплового баланса должны быть сведены в таблицу 1.2.

Таблица 1.1 - Опытные данные

№ п/п	Измеряемая величина	Обозначение	Единицы измерения	Полученные данные
1.	Расход топлива	ΔG	г	
2.	Время опыта	τ	с	
3.	Частота вращения	n	мин ⁻¹	
4.	Усилие на тормозе	P_m	кг	
5.	Температура окружающей среды	t_o	°С	
6.	Давление окружающей среды	B	МПа	
7.	Температура уходящих газов	$t_{ух.г}$	°С	
8.	Температура воды на входе	$t_{в.вх}$	°С	
9.	Температура воды на выходе	$t_{в.вых}$	°С	
10.	Расход охлаждающей воды на опыт	$M_в$	кг	
11.	Расход воздуха на опыт	$V_{сч}$	м ³	

Таблица 1.2 - Элементы теплового баланса

№ п/п	Элементы баланса	Формула для вычисления	Величина	
			кВт	%
1.	Располагаемое количество энергии			
2.	Полезная работа			
3.	Тепло, переданное охлаждающей воде			
4.	Тепло, отданное окружающей среде уходящими газами			
5.	Остаточный член баланса			

Контрольные вопросы

1. Что такое энергетический баланс двигателя внутреннего сгорания?
2. Опишите лабораторную установку.
3. Как определяется мощность двигателя?
4. Как определяется количество теплоты, унесенной охлаждающей жидкостью?
5. Как определяется количество теплоты, уходящее с отработавшими газами?
6. Что такое коэффициент избытка воздуха и как он определяется?
7. Как определяется неиспользованное количество теплоты вследствие химической неполноты сгорания?

Лабораторная работа №2**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ****Цель работы**

Освоение методики определения теплопроводности жидкостей и изучение теплопроводности воды.

Задачи работы

1. Ознакомиться с устройством установки и контрольно-измерительными приборами.
2. Определить распределение температурного напора по высоте водяного столба, нагреваемого сверху.
3. Определить величину коэффициента теплопроводности воды.
4. Определить величину температуропроводности воды.

Описание установки

Определение коэффициента теплопроводности воды проводится на установке, схема которой представлена на рисунке 2.1.

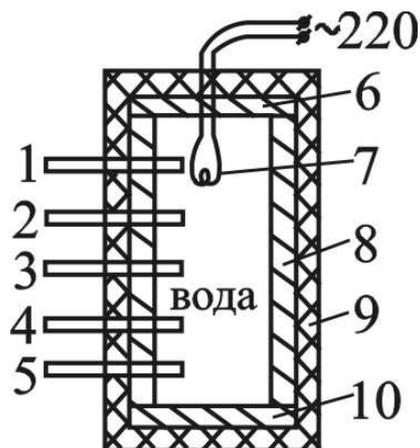


Рисунок 2.1 - Схема установки для определения коэффициента теплопроводности воды: 1, 2, 3, 4, 5 - термометры; 6 - фланец верхний; 7 - нагревательный элемент; 8 - труба; 9 - теплоизоляция; 10 - фланец нижний

Основная часть установки - вертикальная цилиндрическая труба длиной 1500 мм, с внутренним диаметром 94 мм. Труба с торцов заглушена фланцами. Труба заполнена водой. В верхнем фланце установлен электрический нагревательный элемент. По боковой образующей трубы через 250 мм установлены пять термометров. Вся наружная поверхность трубы покрыта теплоизоляцией.

Проведение работы

1. Ознакомиться с установкой, измерительными приборами, составить схему установки. Подготовить таблицу наблюдений.
2. Записать показания термометров установки.
3. Включить установку, зафиксировав время включения.
4. Через каждые две минуты производить запись показаний измерительных приборов. Такие замеры производить до начала кипения воды (термометр № 1 зафиксирует температуру 100°C).
5. Подсчитать величину коэффициента теплопроводности и величину температуропроводности.

Обработка полученных результатов

1. Величина коэффициента теплопроводности подсчитывается по формуле:

$$\lambda = \frac{U \cdot I \cdot S}{(t_1 - t_2) \cdot F \cdot 3600}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

где U - показания вольтметра, В;

I - показания амперметра, А;

S - расстояние между термометрами, равное 0,25 м;

F - площадь сечения трубы, м²;

t_1 и t_2 - показания термометров под номерами 1 и 2.

2. Вычислить величину термического сопротивления:

$$\zeta = \frac{S}{\lambda}.$$

3. Температуропроводность воды определяется по выражению:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho_{cp} \cdot C_{cp}},$$

где ρ_{cp} - средняя между сечениями 1 и 2 плотность воды, кг/м³;

C_{cp} - средняя между сечениями 1 и 2 теплоемкость воды, Дж/(кг·К).

Значения плотности и теплоемкости воды следует выбирать из таблицы 2 приложения.

Оформление отчета

Отчет должен содержать схему установки с кратким ее описанием, таблицу опытных и полученных в результате расчетов данных 2.1. В конце построить графические зависимости:

1. $T = f(\tau, S_i)$. Для этого по оси ординат отложить значения T , по оси абсцисс - τ , по оси аппликат - S_i , где i = номер термометра.

2. $S/\lambda = f(T_{cp})$, где $T_{cp} = \frac{T_1 + T_2}{2}$.

3. $\alpha = f(T_{cp})$.

Таблица 2.1 - Данные замеров и результаты расчетов

№ п/п	τ , мин	Показания термометров, °С					λ , Вт/(м·К)	S/λ	α	ρ_1 , кг/м ³	C_1 , кДж/(кг·К)	ρ_2 , кг/м ³	C_2 , кДж/(кг·К)	T_{cp} , К
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5								

Контрольные вопросы

1. Дайте определение коэффициента теплопроводности тела.
2. Что такое теплопроводность воды?
3. Что такое температуропроводность воды?

4. Опишите установку для определения коэффициента теплопроводности воды.
5. Что такое термическое сопротивление и как оно определяется?
6. Как зависит термическое сопротивление воды от температуры?
7. Как зависит температуропроводность воды от температуры?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Цель работы

Освоение методики определения конвективного теплообмена в жидкостях и газах. Изучить конвективный теплообмен в воде в вертикальной цилиндрической трубе.

Задачи работы

1. Ознакомиться с устройством установки и контрольно-измерительными приборами.
2. Определить распределение температурного напора по высоте водяного столба, нагреваемого снизу.
3. Определить величины циркуляционного давления в воде по сечениям.

Описание установки

Исследование конвективного теплообмена представляет собой весьма сложную задачу из-за большого количества факторов, которые необходимо учитывать. Поэтому, как правило, исследование конвективного теплообмена проводят с использованием методов подобия, т.е. находят зависимости между безразмерными комплексами. Безразмерный комплекс представляет из себя сочетание ряда величин, характеризующих процесс, явление, составленное по определенным правилам.

При конвективном теплообмене в жидкости вследствие разности ее плотности в различных сечениях наблюдается движение частиц (циркуляции жидкости) без внешней побудительной силы.

Установка (рисунок 3.1) состоит из вертикальной цилиндрической стальной трубы, обмурованной теплоизоляцией. Длина трубы 1500 мм, внутренний

диаметр – 94 мм. В нижнем фланце установлены нагревательные элементы. По боковой образующей трубы через 250 мм установлены пять термометров.

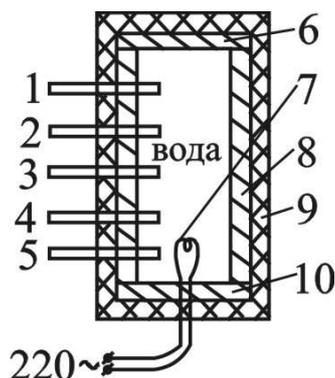


Рисунок 3.1 - Схема установки для исследования конвективного теплообмена в воде: 1, 2, 3, 4, 5 - термометры; 6 - фланец верхний; 7 - нагревательный элемент; 8 - труба; 9 - теплоизоляция; 10 - фланец нижний

Проведение работы

1. Ознакомится с установкой, измерительными приборами, составить схему установки. Подготовить таблицу наблюдений (таблица 3.1).
2. Записать показания термометров.
3. Включить установку, записав время включения.
4. Через каждые пять минут производить запись показаний измерительных приборов. Такие замеры производить до начала кипения воды (термометр № 5 регистрирует температуру 100°C).
5. Подсчитать величины циркуляционного давления для каждого сечения.

Обработка полученных результатов

Циркуляционное давление подсчитывается по следующей формуле:

$$P = 9,81(\rho_5 - \rho_i)(1,5 - S_i), \text{ кПа},$$

где ρ_5 - плотность воды в выбранном верхнем сечении трубы, кг/м³;

ρ_i - плотность воды в i -ом сечении трубы, кг/м³;

S_i - расстояние между сечениями, равное 0,25 м.

Оформление отчета

Отчет должен содержать схему установки с кратким ее описанием, таблицу опытных данных и результатов расчетов. В конце следует построить графики:

1. $T = f(\tau, S_i)$. Для этого по оси аппликат откладывается номер S_i - сечения, по оси абсцисс - время τ , по оси ординат - температура T .

2. $P = f(T)$ для своего выбранного сечения.

Плотность воды в зависимости от температуры следует выбирать из таблицы 2 приложения.

При построении графика необходимо строго выдерживать масштабы.

Таблица 3.1 - Данные опытов и результаты расчетов

№ п/п	Показания термометров, °С					Плотность воды, кг/м ³					Циркуляционное давление, кПа				
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5

Контрольные вопросы

1. Что такое конвективный теплообмен в жидкости?
2. Что такое циркуляционное давление в жидкости? Природа его возникновения.
3. Опишите установку для определения конвективного теплообмена в жидкости.
4. Как зависит циркуляционное давление в жидкости от ее температуры?

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ В ПОДОГРЕВАЕМОМ ЦИЛИНДРЕ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ВОЗДУХА

Цель работы

Определение коэффициента теплоотдачи трубы при свободной конвекции воздуха при различных температурах поверхности трубы.

Задачи работы

Ознакомление с методами расчета коэффициентов теплоотдачи поверхности различных тел с окружающим воздухом.

Содержание работы

1. Изучить прямой метод расчета коэффициента теплоотдачи по экспериментальным данным о тепловом потоке и температурном напоре и косвенный, основанный на решении уравнения с помощью теории подобия.
2. Изучить лабораторную установку для проведения исследований.
3. Выполнить лабораторные исследования.
4. Обработать полученные результаты.

Общие сведения

Причиной возникновения свободной конвекции является неустойчивое распределение плотностей жидкости (газа), обусловленное неравномерностью нагрева. При этом температурный напор определяет разность плотностей и величину подъемной силы, а площадь поверхности – зону распространения процесса.

Обобщение результатов различных экспериментов по теплообмену в свободном потоке тел различных форм и размеров, омываемых различными жид-

костями или газами, позволило подобрать общую зависимость между критериями подобия. Эту зависимость для горизонтальных труб можно представить в виде:

$$10^4 < G_r P_r < 10^7: N_u = 0,5(G_r P_r)^{0,25}, \quad (4.1)$$

где N_u - критерий Нуссельта, $N_u = \alpha d / \lambda$;

G_r - критерий Грасгофа, $G_r = b g d^3 \Delta T / n^2$;

P_r - критерий Прандтля, $P_r = m c / l$;

α - коэффициент теплоотдачи (характеризует условия теплообмена между жидкостью и поверхностью твердого тела), Вт /м²·К;

λ - коэффициент теплопроводности, Вт /м²·К;

d - характерный размер (диаметр трубы), м;

b - коэффициент объемного расширения жидкости (газа), м;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,8$ м/с²;

$n = \mu / \rho$ - кинематическая вязкость жидкости, м²/с;

μ - динамическая вязкость, Па·с;

ρ – плотность, кг/м³;

c – удельная массовая теплоемкость, Дж/кг·с.

Применяя эти уравнения для инженерных расчетов средних значений коэффициентов теплоотдачи α , нужно иметь в виду следующее:

1. Число P_r и l в диапазоне температур от 20 до 100°С изменяются существенно, поэтому для точности расчета следует пользоваться написанными ниже эмпирическими соотношениями или таблицами физических свойств воздуха:

$$P_r = -0,0002 t + 0,7068; l = 8 t 10^{-5} + 0,0244, \text{ Вт /м} \cdot \text{К},$$

$$n = (0,1015 t + 12,94) 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

2. Все физические константы, входящие в состав критериев, берутся при средней температуре жидкости (t – в градусах Цельсия).

3. В качестве определяющего размера в критериях для горизонтальных труб принимают их диаметр, а для вертикальных поверхностей (труб, пластин) – их высоту.

Итак, для трубы, находящейся в воздухе, уравнение (4.1) имеет вид:

$$Nu=0,5 (GrPr)^{0,25},$$

$$Gr=(gd^3\Delta T)/(n^2T),$$

где ΔT - разница температур между окружающей средой и поверхностью трубы;

T - средняя температура воздуха.

$$a=Nu l /d.$$

С другой стороны, средний коэффициент теплоотдачи от поверхности трубы можно рассчитать по закону Ньютона-Рихмана:

$$q = a \Delta T, \quad (4.2)$$

отсюда:

$$a=q/\Delta T,$$

где q - плотность теплового потока через наружную стенку трубы, Вт/м².

Если считать, что теплоотдача осуществляется преимущественно путем конвекции (т.е. не учитывать излучение), то плотность теплового потока определяется по формуле:

$$q = Q/F = (U_n I_n) / (dlp), \quad (4.3)$$

где $I_n=U_o/R_o$,

R_o – образцовое сопротивление, Ом;

U_o - перепад напряжения на образцовом сопротивлении, В;

U_n - перепад напряжения на нагревателе, В;

Q – теплота выделяемая нагревателем, Вт;

F – площадь образующей цилиндрической поверхности трубы, м².

Для расчета средней температуры поверхности трубы $t_{ср}$ используется формула:

$$t_{cm}=(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) /5 \quad (4.4)$$

Описание установки

Лабораторная установка (рисунки 4.1 и 4.2) состоит из отрезка медной тонкостенной трубы 1, внешний диаметр которой равен 28 мм. На поверхности трубы по её длине расположены 5 термодпар $t_1 \dots t_5$ с интервалом 100 мм. Третья термодпара t_3 находится в центре трубы, термодпары t_1 и t_5 находятся на расстоянии 10 мм от концов трубы. Указанные термодпары монтируются изнутри трубы. Труба устанавливается так, что спаи термодпар находятся в верхних точках цилиндрической поверхности трубы. Еще одна термодпара t_6 находится снизу на середине трубы. На концах трубы находятся заглушки 2 из теплоизолирующего материала. Термодпара t_0 измеряет температуру воздуха вблизи трубы.

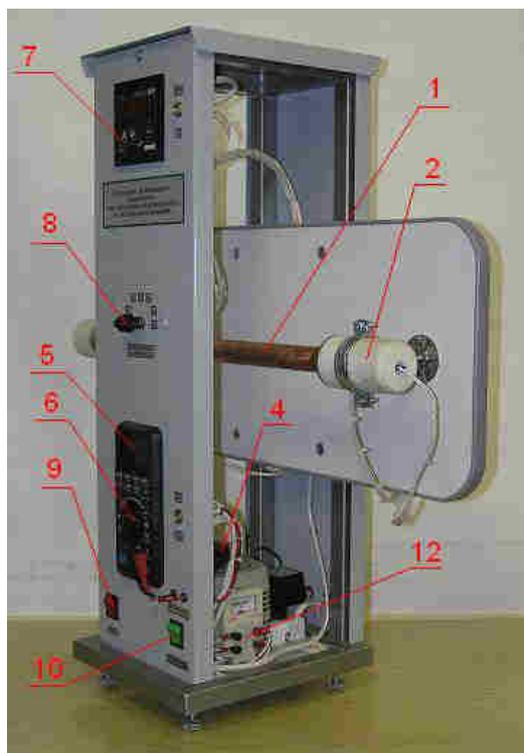


Рисунок 4.1 - Общий вид установки

В центре трубы находится электрический нагреватель 3, подключённый через образцовое сопротивление R_o к источнику переменного напряжения 12 (ЛАТР). Напряжение на нагревателе U_H и падение напряжения на образцовом сопротивлении U_O измеряется вольтметром 5. Нагреватель 3 размещается в медном цилиндрическом термостате 11.

На передней панели модуля расположены гнезда для подключения вольтметра, а также тумблер 6 для переключения вольтметра для измерения напряжения на нагревателе U_H и падения напряжения на образцовом сопротивлении U_O . Все термопары подключены к измерителю 7 температуры ТРМ200 через переключатель 8. Включение установки производится тумблером 9, включение нагревателя – тумблером 10. Установка необходимого напряжения на нагревателе и его регулирование производится ручкой 4 ЛАТРа.

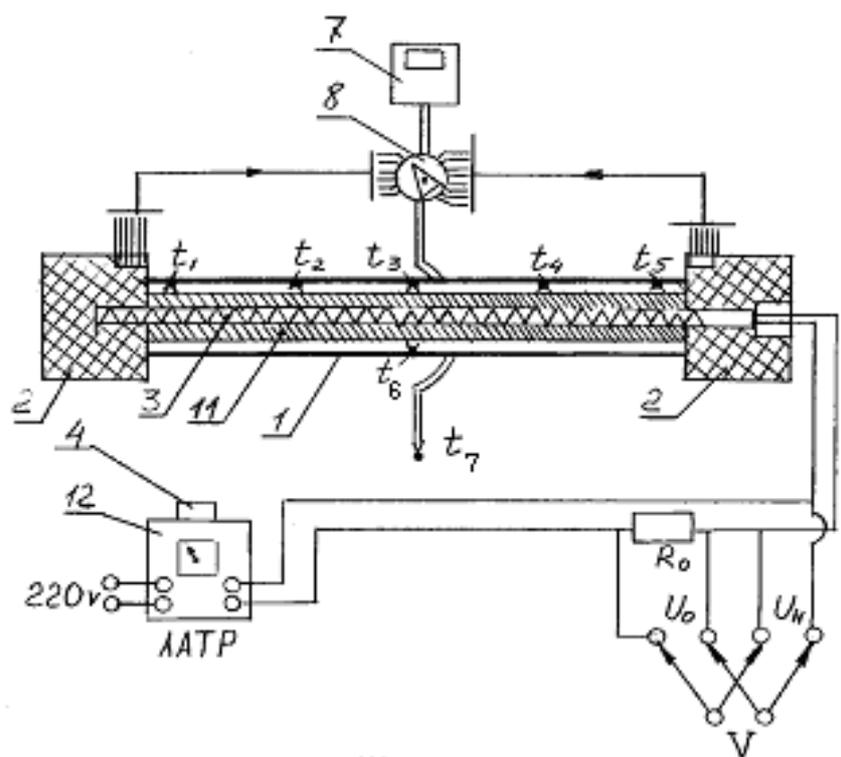


Рисунок 4.2 - Схема включения установки:

- 1 – медная тонкостенная труба; 2 - заглушка из теплоизолирующего материала; 3 – нагреватель; 4 – регулятор ЛАТРа; 5 – мультиметр;
- 6 - переключатель мультиметра; 7 – измеритель температуры;
- 8 – переключатель измерения температуры; 9 – тумблер;
- 10 – тумблер включения нагревателя; 11 – термостат;
- 12 - источник переменного напряжения (ЛАТР)

На задней панели находится преобразователь интерфейса АС-4 для подключения к компьютеру и создания графического и табличного протокола измеренных величин температур с последующей обработкой экспериментальных данных.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение коэффициента теплоотдачи.
2. Что такое естественная конвекция воздуха?
3. Что такое температурный напор?
4. Какие критерии подобия используются при исследовании теплопередачи горизонтальных труб?

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ ЖИДКОСТНОГО РАДИАТОРА И РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯТОРА ДВС

Цель работы

Изучение теплопроводности жидкостного радиатора и расчет вентилятора.

Задачи работы

1. Ознакомиться с опытной установкой для определения коэффициента теплопередачи.
2. Ознакомиться с контрольно-измерительными приборами.
3. Определение коэффициента теплопередачи.
4. Определение мощности вентилятора охлаждения.

Общие сведения

Для обеспечения оптимального и стабильного теплового состояния двигателя на любом режиме его работы путем принудительного отвода теплоты от его деталей предназначена система охлаждения.

В автотракторных двигателях применяют жидкостные системы охлаждения закрытого типа с принудительной циркуляцией охлаждающего теплоносителя. Она состоит из жидкостного и воздушного трактов. Регулирование температуры охлаждающей жидкости осуществляется изменением массового расхода горячего и холодного теплоносителей, циркулирующих в жидкостном и воздушном трактах системы. Тепло, получаемое жидкостью от нагретых деталей двигателя, охлаждается в радиаторе воздухом, подаваемым вентилятором. Поэтому важной характеристикой этой системы является коэффициент теплопередачи, а также необходимая мощность вентилятора.

Описание установки

Опыт проводится на установке (рисунок 5.1), которая представляет собой бак 1 для нагрева воды, включающий в себя электротэны 3 и термопару 2, а также водяной насос 5 и радиатор 6. Для обдува радиатора имеется вентилятор 7. Измерение температуры воды производится термопарами 8 и 9, а температуры воздуха термопарами 10 и 11.

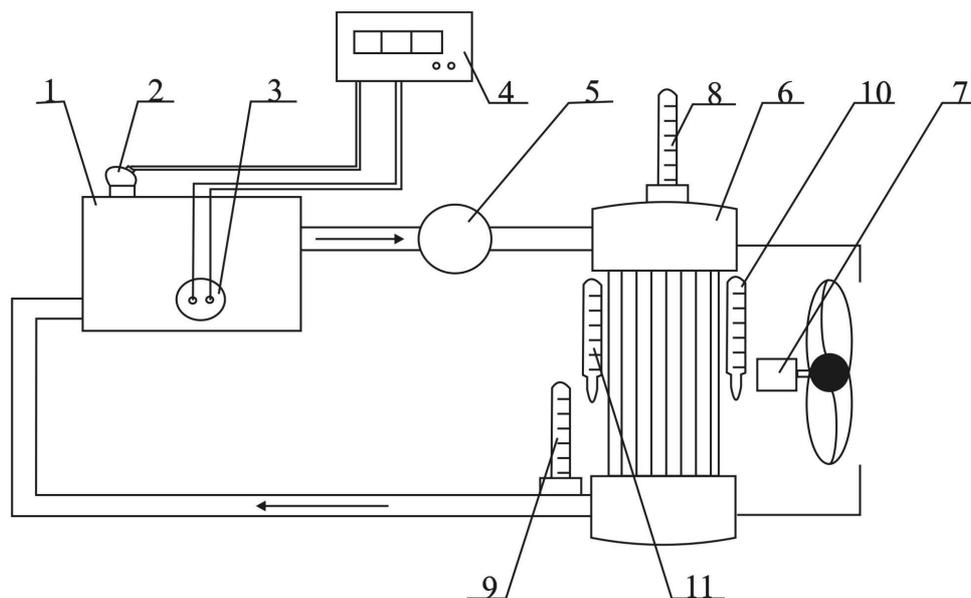


Рисунок 5.1 - Схема установки для определения теплоотдачи и теплопередачи жидкостного радиатора: 1 – бак с водой; 2 – термопара; 3 – нагревательный элемент; 4, 12 – прибор ОВЕН; 5 – водяной насос; 6 – радиатор; 7 – вентилятор; 8, 9 – термопары для определения температуры воды, соответственно, на входе и выходе из радиатора; 10, 11 - термопары для определения температуры воздуха до и после радиатора

Проведение работы

Перед началом работы проверяют правильность включения измерительных приборов. Включают нагреватель в электрическую сеть и нагревают жидкость до необходимой температуры. Дают поработать установке в установившемся режиме в течение 5 минут, после чего проводят необходимые измерения при трех положениях заслонки: закрытое, промежуточное и открытое.

Обработка результатов

Коэффициент теплопередачи радиатора определяется:

$$\kappa = \frac{Q_{ж}}{F \cdot (T_{ср.ж.} - T_{ср.возд.})},$$

где $Q_{пол}$ – количество теплоты, отводимое жидкостью;

F – поверхность охлаждения радиатора, м²;

$T_{ср.ж.}$ – средняя температура жидкости в радиаторе, К;

$T_{ср.возд.}$ – средняя температура воздуха, проходящего через радиатор К;

Полное количество тепла определяется по расходу электроэнергии на нагреватель:

$$Q_{пол} = I \cdot U \cdot \tau, \text{ Вт}$$

где I – сила тока нагревателя, А;

U – напряжение на клеммах нагревателя, В;

t – время нагрева, с.

Исходя из полученных значений $T_{ж.вх.}$ и $T_{ж.вых.}$, соответственно показания термометров 8 и 9 (см. рисунок 5.1), и значений $T_{воз.вх.}$ и $T_{воз.вых.}$, соответственно показания термометров 10 и 11 (рисунок 5.1), определяем среднюю температуру воды в радиаторе и среднюю температуру воздуха, проходящего через радиатор:

$$T_{ср.ж.} = \frac{T_{ж.вх.} + T_{ж.вых.}}{2},$$

$$T_{ср.возд.} = \frac{T_{возд.вх.} + T_{возд.вых.}}{2}.$$

По данным расчета жидкостного радиатора проводим расчет вентилятора. Определяем плотность воздуха при средней его температуре в радиаторе:

$$\rho_{возд.} = P_o \cdot 10^6 / R_g \cdot T_{ср.возд.},$$

где P_o – атмосферное давление, $P_o = 0,1$ МПа;

R_g – газовая постоянная воздуха, $R_g = 287$ Дж/кмоль·К.

Тогда производительность вентилятора определится

$$G_{возд.} = G_{возд.} / \rho_{возд.},$$

где $G_{возд.}$ – количество воздуха, проходящего через радиатор, равное

$$G_{\text{возд}} = Q_{\text{пол}} / c_{\text{возд}} \cdot \Delta T_{\text{возд}},$$

где $\Delta T_{\text{возд}}$ – температурный перепад воздуха в решетке радиатора, К.

Определяем фронтную поверхность радиатора:

$$F_{\phi} = G_{\text{возд}} / w_{\text{возд}},$$

где $w_{\text{возд}}$ – скорость воздуха перед фронтом радиатора без учета скорости движения автомобиля, $w_{\text{возд}} = 20$ м/с.

Определяем диаметр вентилятора:

$$D_{\text{вент}} = 2 \left(\frac{F_{\phi}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Определяем окружную скорость вентилятора:

$$u = \psi_{\text{л}} \left(\frac{\Delta p_{\text{тр}}}{\rho_{\text{возд}}} \right)^{\frac{1}{2}},$$

где $\psi_{\text{л}}$ – безразмерный коэффициент для плоских лопастей, $\psi_{\text{л}} = 3,41$;

$\Delta p_{\text{тр}}$ – напор, создаваемый вентилятором, $\Delta p_{\text{тр}} = 800$ Па.

Тогда частота вращения вентилятора равна

$$n_{\text{вент}} = 60 u / \pi D_{\text{вент}}.$$

Отсюда мощность, затрачиваемая на привод осевого вентилятора определяется

$$N_{\text{возд}} = G_{\text{возд}} \Delta p_{\text{тр}} / 1000 \eta_{\text{в}},$$

где $\eta_{\text{в}}$ – КПД вентилятора, $\eta_{\text{в}} = 0,38$.

Оформление отчета

Отчет должен содержать схему установки с кратким её описанием, таблицу опытных данных и полученных результатов. Сделать выводы по работе.

Таблица 5.1 - Опытные данные и результаты расчета

Показатели	Положение заслонки		
	закрытое	полуоткрытое	открытое
Температура $t_{ж.вх.}$, °С			
Температура $t_{ж.вых.}$, °С			
Температура $t_{возд.вх.}$, °С			
Температура $t_{возд.вых.}$, °С			
Полное количество тепла, Вт			
Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² К			
Мощность, затраченная на привод вентилятора, кВт			

Контрольные вопросы

1. Дайте определение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи.
2. Как определяется мощность на привод вентилятора?
3. Какие способы охлаждения радиаторов применяются?
4. Какие радиаторы используются в карбюраторных двигателях?
5. Как регулируется работа вентилятора для охлаждения радиатора?

Лабораторная работа №6

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИОННЫХ КОМПРЕССОРОВ

Цель работы:

Освоение методики определения основных показателей ротационных компрессоров.

Задачи работы

1. Определение производительности роторного компрессора.
2. Определение мощности на привод компрессора.
3. Определение затраченной работы компрессора.

Описание установки

Ротационные компрессоры работают по тому же принципу, что и поршневые машины, т.е. по принципу вытеснения. Основная часть энергии, передаваемая газу, сообщается при непосредственном сжатии. Сущность действия ротационного компрессора заключается в том, что независимо от его конструктивных особенностей всасывание газа или воздуха производится той полостью компрессора, объем которой увеличивается при вращении ротора. Засасываемый газ попадает в замкнутую камеру, объем которой, перемещаясь при вращении ротора, уменьшается. Сжатие за счет уменьшения объема приводит к увеличению давления и выталкиванию газа в нагнетательный патрубок.

Ротационные компрессоры могут быть с катящимся, качающимся и вращающимся ротором. Последний тип с двумя, четырьмя и более пластинами, с круглым и эллипсным цилиндром, с трохойдным цилиндром и ротором.

На предприятиях молочной и мясной промышленности применяют ротационные пластинчатые компрессоры (рисунок 6.1). На вал, расположенный эксцентрично по отношению к цилиндру, насажен ротор с фрезерованными по всей длине пазами, в которых расположены пластины. Пластины прижимаются

к поверхности цилиндра, образуя замкнутые вдоль оси полости. Всасываемый воздух поступает в полости, расположенные в верхней части цилиндра. При вращении цилиндра объем полости уменьшается, и воздух сжимается. Сжатый воздух нагнетается через патрубок, расположенный в зоне нагнетания.

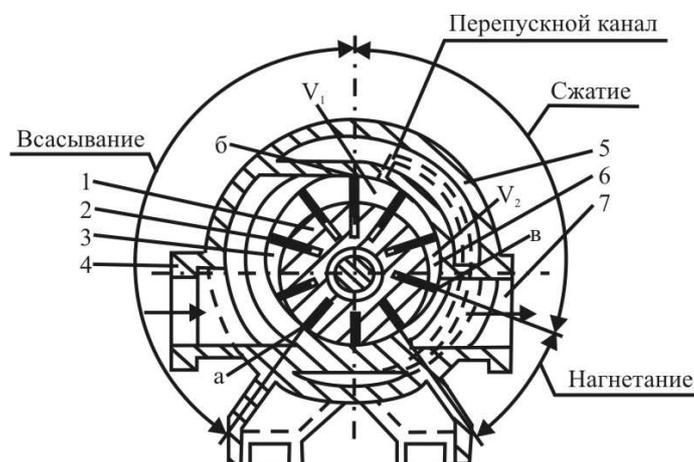


Рисунок 6.1 - Ротационный компрессор с катящимся ротором:
 а - б - полость всасывания; б - в - полость нагнетания; 1 - ротор, насаженный на вал; 2 - пластины асботекстолитовые; 3 – всасывающая полость компрессора; 4 - всасывающий патрубок; 5 - цилиндр; 6 - нагнетательная полость компрессора; 7 - нагнетательный патрубок

Ротационные компрессоры имеют небольшую массу, обеспечивают равномерную подачу газа, но не позволяют добиться высокой степени сжатия, а следовательно, высоких давлений нагнетания.

Проведение испытания

1. Ознакомиться с установкой, измерительными приборами и устройствами, составить схему установки. Подготовить журналы наблюдений.

2. Подготовить установку к испытанию. После запуска компрессора начинают работу.

3. По сигналу следует приступить к записи показаний приборов. В процессе испытания записываются следующие величины:

- давление нагнетания;
- время опыта.

Обработка результатов испытания

Производительность пластинчатого ротационного компрессора определяется по его размерам.

При длине ротора $l=0,025$ м, внутреннем диаметре $D=0,055$ м эксцентриситете $m=0,003$ м и числе оборотов $n = 480$ мин⁻¹ средняя скорость верхнего края пластин составляет πDn (м/мин). Максимальное сечение одной камеры осевой плоскостью без вредного зазора - $2ml$ (м²).

Теоретическая производительность пластинчатого компрессора

$$V_o = \pi \cdot D \cdot n \cdot 2 \cdot m \cdot l, \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Действительная производительность определяется с учетом коэффициента подачи $\lambda_{рот}$, толщины пластинок, уменьшающих длину окружности πD на величину $z \cdot s$, где $z = 2$ - число пластин, а $s=0,008$ м - толщина пластины, м.

Тогда действительная производительность равна:

$$V_{рот} = \left(\lambda_{рот} \cdot \frac{\pi D - zs}{\pi D} \right) \cdot V_o = \lambda_{рот} \cdot (\pi D - zs) \cdot 2mnl, \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Коэффициент подачи ротационного компрессора

$$\lambda_{рот} = 1 - \frac{a \cdot p_{вс}}{p_{наг}},$$

где a – коэффициент, $a=0,5$;

$p_{наг}$ - давление нагнетания, кПа;

$p_{вс}$ - давление всасывания, кПа.

Давление нагнетания определяется:

$$p_{наг} = p_{бар} + p_m$$

где $p_{бар}$ – атмосферное давление, кПа;

p_m – давление манометра, кПа.

Эффективная мощность равна:

$$N_{e.рот} = \frac{R \cdot T_o}{1000 \cdot \eta_{из}} \cdot \ln \frac{p_{наг}}{p_{вс}} \cdot V_{рот} \cdot \rho_{вс}, \text{ кВт,}$$

где R - газовая постоянная, кДж/(кг·К);

T_o - температура всасываемого газа, К;

$\eta_{из}$ - изотермический КПД (для ротора с двумя пластинами $\eta_{из}=0,65$; для ротора с четырьмя пластинами $\eta_{из}=0,55$);

$p_{наг}$ и $p_{вс}$ - давление нагнетания и всасывания, кПа;

$V_{рот}$ - объемная производительность компрессора, м³/с;

$\rho_{вс}$ - плотность сжимаемой среды при параметрах всасывания, кг/м³.

Работа, затраченная компрессором, определяется по формуле:

$$L = N_{в.рот} \cdot \tau, \text{ кДж},$$

где τ – время опыта, с.

Объем, нагнетаемый компрессором, определяется из выражения::

$$\frac{p_{наг}}{p_{вс}} = \left(\frac{V_p}{V_{наг}} \right)^\kappa,$$

где V_p – объем ресивера, $V_p=0,02$ м³;

$V_{наг}$ – объем, нагнетаемый компрессором, м³;

κ – показатель адиабаты, $\kappa=1,4$.

Пластинчатые компрессоры могут применяться и как вакуум-насосы с вакуумом 95%. Регулирование производительности осуществляется или изменением числа оборотов, или соединением нагнетательного патрубка со всасывающим.

Пластинчатые ротационные компрессоры устанавливаются в холодильных машинах, используемых в пищевой промышленности.

Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Схему установки с кратким ее описанием.
2. Таблицы опытных данных и обработанных результатов.
3. График зависимости давления от объема ($p_{наг} V_{наг}$).
4. Выводы о проделанной работе.

Таблица 6.1 - Опытные данные

Давление $P_{наг}$, атм	τ , с
1,2	
1,4	
...	

Таблица 6.2 - Обработанные результаты

$P_{наг}$, атм	$V_{рот}$, м ³ /с	$V_{наг}$, м ³	$N_{в.рот}$, кВт	L , кДж
1,2				
1,4				
...				

Контрольные вопросы

1. Назначение ротационных компрессоров.
2. Принцип работы ротационного компрессора.
3. Чем отличается работа ротационного компрессора от поршневого компрессора?
4. Для чего применяется ресивер?
5. Как определяется работа на привод ротационного компрессора?
6. Как определяется производительность роторного компрессора?
7. Как определяются затраты мощности на привод ротационного компрессора?

Лабораторная работа № 7
ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Цель работы

Изучение принципа работы компрессионных и абсорбционных холодильных агрегатов и область их применения.

Задачи работы

Ознакомление с классификацией холодильных машин, с схемами и принципом работы компрессионных и абсорбционных холодильных машин.

Содержание работы

1. Изучить принцип работы компрессионных и абсорбционных холодильников.
2. Изучить назначение и свойства холодильных агентов.
3. Изучить назначение, устройство и работу герметичных холодильных агрегатов.
4. Изучить принцип работы холодильных машин, применяемых в сельском хозяйстве.

Общие сведения

Для получения искусственного холода может быть применен любой физический процесс, связанный с отводом тепла. Наиболее эффективными являются процессы, сопровождаемые изменением агрегатного состояния в другое.

Наиболее распространенные методы получения холода связаны с кипением или испарением некоторых жидкостей, а также плавлением и сублимацией определенных твердых тел.

Сублимацией называется процесс перехода твердого вещества в жидкое состояние. Однако охлаждение путем плавления и сублимации твердого тела имеет недостаток: с изменением агрегатного состояния вещества его охлаждающие свойства теряются, и для обеспечения непрерывного процесса охлаждения необходимо это вещество все время пополнять новым.

Вещества, отбирающие тепло от охлаждающего объекта, называются рабочими веществами, или холодильными агентами (хладагентами).

В качестве холодильных агентов, в зависимости от требуемого охлаждения, используют различные жидкости с низкими температурами кипения (испарения). Например, смесь дихлорэтилена кипит при температуре 50°C (при нормальном атмосферном давлении), аммиак - при минус $33,4^{\circ}\text{C}$, трифтометан - при минус $82,2^{\circ}\text{C}$ и т.д.

Получение искусственного холода, т.е. снятия тепла холодильным агентом от охлаждаемого объекта и отдача его более теплой окружающей среде, невозможно без затраты энергии в виде работы или тепла. Такой процесс осуществляют холодильные машины.

Холодильные машины, работа которых сопровождается кипением (испарением) жидкого холодильного агента, называют паровыми.

Принцип работы паровой холодильной машины заключается в следующем. В замкнутой системе машины циркулирует хладагент. Одна из основных частей холодильной машины, называемая испарителем, находится в среде, подлежащей охлаждению. Остальные элементы помещаются вне охлаждаемого объекта. Если температура среды, окружающей испаритель, будет выше температуры кипения (испарения) хладагента при существующем в испарителе давлении, то жидкий хладагент, попав в испаритель, будет кипеть или испаряться за счет теплоты среды, окружающей испаритель.

Так как температура кипения жидкостей зависит от давления насыщенных паров и с понижением давления жидкости кипят при более низких температурах, в испарителе создается пониженное давление.

Для последующего использования хладагента, имеющегося в холодильной машине, его необходимо вновь перевести из парообразного состояния в жидкое. В связи с этим необходимо повысить давление паров хладагента и охладить их до температуры, при которой пары будут конденсироваться. Охлаждение паров хладагента и переход их в жидкое состояние (конденсация) происходят в конденсаторе, охлаждаемом водой или окружающим воздухом.

Отдавая тепло этой среде и переходя в жидкое состояние, хладагент вновь поступает в испаритель, и процесс снова повторяется.

В бытовых холодильниках применяют паровые машины двух типов - компрессионные и абсорбционные.

Машины существенно отличаются по своему устройству. В компрессионных холодильниках циркуляция хладагента и сжатие его паров для конденсации осуществляются компрессором, который приводится в действие электродвигателем. В бытовых холодильниках наибольшее распространение получили компрессионные холодильные машины. Они имеют высокие эксплуатационные качества и надежны в работе, выделяются экономичным расходом электроэнергии и достаточно низким уровнем шума.

Классификация холодильных машин. Холодильные машины различают:

- по способу получения холода - компрессионные и абсорбционные;
- по холодильному агенту - фреоновые, аммиачные и др.;
- по холодопроизводительности - малые, средние, крупные.

В бытовых холодильниках устанавливают самые малые (мелкие) холодильные машины. Компрессионные холодильные машины отличаются также друг от друга степенью герметизации. В бытовых холодильниках уже много лет применяют исключительно герметичные холодильные машины, или, как их называют, герметичные холодильные агрегаты. В таких агрегатах отсутствуют какие-либо разъемные соединения наружных частей. Все отдельные узлы соединены снаружи сваркой или пайкой.

Схема устройства и принцип работы компрессионной холодильной машины. Компрессионная холодильная машина (рисунок 7.1) состоит из компрессора К, испарителя И, конденсатора КД и регулирующего вентилятора РВ.

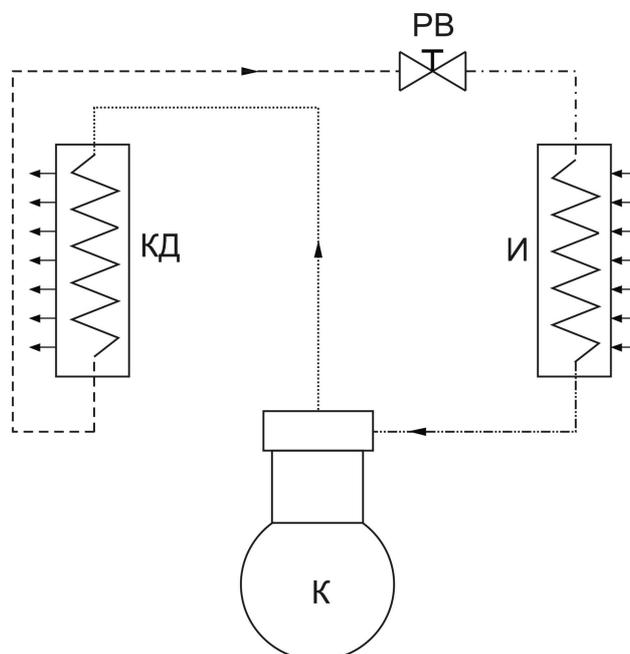


Рисунок 7.1 - Принципиальная схема компрессионной холодильной установки:
 К – компрессор; КД – конденсатор; И – испаритель; РВ – регулирующий вентиль; - пар высокого давления; — — — — жидкость высокого давления; · · — · — — жидкость низкого давления; ······ — пар низкого давления

Все указанные узлы соединены между собой трубопроводами и образуют замкнутую систему, в которой находится холодильный агент. Компрессор обеспечивает циркуляцию хладагента в системе холодильной машины. Он отсасывает из испарителя пары хладагента в цилиндр, сжимает их и нагревает в конденсатор. Компрессор приводится в действие электродвигателем.

В конденсаторе обеспечивается охлаждение паров хладагента до их насыщения и концентрации, т.е. до перехода паров в жидкое состояние. Конденсатор охлаждается воздухом или водой.

Эффект охлаждения объекта достигается в испарителе. В нем жидкий хладагент кипит (испаряется), отбирая тепло от окружающей среды, подлежащей охлаждению. Испаритель и конденсатор являются основными теплообменными аппаратами холодильной машины.

Регулирующее устройство пропускает жидкий хладагент из конденсатора в испаритель. В нем имеется небольшое проходное отверстие, вследствие чего происходит дросселирование жидкости, т.е. жидкий хладагент поступает в испаритель под низким давлением, что необходимо для его кипения (испарения) при низкой температуре. В качестве регулирующего устройства используют вентили или капиллярные трубки. В холодильных агрегатах бытовых холодильников применяют исключительно капиллярные трубки.

Трубопровод, соединяющий компрессор с конденсатором, называется нагнетательным, а с испарителем - всасывающим.

Принцип работы компрессионной холодильной машины заключается в следующем. При работе компрессора в испарителе, находящемся на стороне всасывания, понижается давление имеющегося в нем хладагента. При низком давлении хладагент интенсивно испаряется (кипит), отнимая необходимое для этого тепло из окружающей среды через металлические стенки испарителя.

Пары хладагента отсасываются компрессором и, пройдя по всасывающему трубопроводу, поступают в цилиндр компрессора. В цилиндре пары хладагента сжимаются и под давлением (примерно от 6 до 15 атм) нагнетаются по нагнетательному трубопроводу в конденсатор. В конденсаторе, охлаждаемом водой или воздухом, хладагент при высоком давлении и температуре, соответствующей температуре конденсации, переходит в жидкое состояние и через регулирующийся вентиль поступает в испаритель. В момент прохождения хладагента через малое отверстие вентиля давление его понижается от давления конденсации до давления испарения.

Низкое давление в испарителе, создаваемое компрессором, обеспечивает кипение хладагента при низкой температуре. Таким образом, при работе холодильной машины в ее системе циркулирует холодильный агент, который, отнимая тепло от охлаждаемого объекта через испаритель, отдает его в окружающую среду через конденсатор.

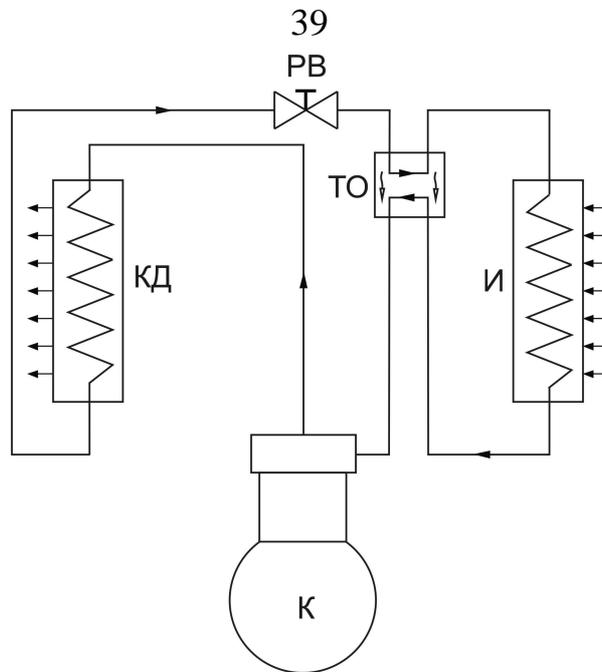


Рисунок 7.2 - Принципиальная схема компрессионной холодильной установки с теплообменником: К – компрессор; КД – конденсатор; И – испаритель; РВ – регулирующий вентиль; ТО - теплообменник

Система холодильной машины разделена регулирующим устройством на две части, отличающиеся разным давлением циркулирующего хладагента. Так, от нагнетательного клапана компрессора до регулирующего устройства холодильный агент находится под высоким давлением конденсации, а от противоположной стороны регулирующего устройства до всасывающего клапана компрессора - под низким давлением испарения.

Эффективность работы компрессионной холодильной машины можно повысить, применив дополнительно теплообменник. Принципиальная схема такой машины приведена на рисунке 7.2.

Теплообменник представляет собой две трубки, имеющие между собой тепловой контакт. По одной трубке проходят холодные пары из испарителя, поступающие в компрессор, по другой - противотоком жидкий, относительно теплый хладагент из конденсатора, поступающий через регулирующее устройство в испаритель. При прохождении через теплообменник холодные пары хладагента подогреваются за счет охлаждения жидкого хладагента.

Дополнительное (после конденсатора) охлаждение жидкого хладагента (переохлаждение жидкости) перед его поступлением в испаритель увеличивает

количество тепла, отнимаемое хладагентом от охлаждаемой среды. Одновременно подогрев холодных паров хладагента (перегрев паров), выходящих из испарителя, предотвращает попадание в цилиндр компрессора жидкого хладагента, что исключает возможность гидравлического удара.

Основные свойства холодильных агентов. В качестве холодильных агентов используют различные жидкости, при испарении которых можно отвести тепло от окружающей их среды. Однако такие жидкости могут существенно отличаться по количеству отнимаемого ими тепла (в единицу времени) и другим свойствам.

Для получения искусственного холода известно около тридцати различных хладагентов, из них наиболее распространены около девяти, в том числе для бытовых холодильных машин применяют всего лишь три-четыре.

К основным свойствам холодильных агентов относятся: объемная холодопроизводительность, температуры и давления кипения, температуры и давления конденсации их насыщенных паров, токсичность, воздействие на различные материалы, температура застывания и др.

Рассмотрим некоторые из них.

Объемная холодопроизводительность. Холодопроизводительность характеризуется количеством тепла, которое отбирает 1 м³ паров хладагента, образующихся при кипении хладагента. Чем больше объемная холодопроизводительность, тем при меньшем количестве хладагента, поступающего в единицу времени в испаритель, может быть отнято то же количество тепла от охлаждаемого объекта. Следовательно, при использовании хладагента с относительно большой объемной холодопроизводительностью холодильная машина может быть более компактна.

Температуры и давления кипения. Температура кипения любой жидкости зависит от давления ее насыщенных паров. С понижением давления температура кипения жидкости понижается. Однако при требуемых низких температурах кипения рабочие давления в испарителе не должны быть ниже атмосфер-

ного. В противном случае появляется возможность подсоса атмосферного воздуха. Подсос воздуха нежелателен, так как при этом ухудшается передача тепла от охлаждаемой среды хладагенту в испарителе и передача его хладагентом окружающей среде в конденсаторе. Кроме того, с атмосферным воздухом попадают водяные пары, которые будут замерзать и закупоривать трубопроводы, а также растворяться в смазочном масле и ухудшать его качество. Наконец, подсос воздуха будет повышать рабочие давления в конденсаторе.

Для сравнения холодильных агентов обычно приводятся их нормальная температура кипения, т.е. температура кипения при нормальном атмосферном давлении.

Температуры и давления конденсации насыщенных паров. Предпочтительно, чтобы давления, при которых конденсируются насыщенные пары хладагентов, были невысоки. Если конденсация паров хладагента при существующих температурных условиях окружающего воздуха происходит при высоких давлениях, то это потребует применения более мощного компрессора и электродвигателя, а также повышения механической прочности частей холодильной машины. С повышением давления хладагента в машине увеличивается также возможность его утечки.

Холодильный агент должен быть химически стойким (инертным) по отношению к металлическим частям холодильной машины.

Холодильные агенты бывают различной вредности. Многие из них в случае утечки из машины или баллонов, в которых их транспортируют и хранят, могут оказывать вредное действие на людей, портить пищевые продукты и различные материалы в помещении. Применявшийся в бытовых холодильниках компрессорного типа до 1980 г. сернистый ангидрид (SO_2) относится к классу наиболее вредных хладагентов. Используемый в настоящее время фреон-12 практически безвреден.

Хладагенты холодильных машин бытового назначения. В бытовых холодильниках абсорбционного типа в качестве хладагента применяется ис-

ключительно аммиак, в компрессионных холодильниках и кондиционерах - фреон-12 и фреон-22.

Аммиак (NH_3). В качестве хладагента аммиак используют с 70-х годов прошлого столетия. Это бесцветный газ, вызывающий раздражение слизистых оболочек (слезотечение, кашель) даже при малой концентрации в воздухе. Допустимая концентрация аммиака в воздухе помещения, где человек должен пребывать в течение нескольких часов, не более 0,01% (объемных). При более значительных концентрациях газ вызывает удушье, воспаление глаз, резкие головные боли и даже отравление, вплоть до смертельного исхода. При содержании аммиака в воздухе в количестве 16-25% (объемных) открытое пламя вызывает взрыв. Поэтому при работе с крупными аммиачными холодильными машинами, содержащими большие количества аммиака, а также с баллонами с аммиаком необходимо строго соблюдать правила техники безопасности.

Резкий запах аммиака позволяет быстро обнаружить даже самую небольшую утечку его из машины и принять соответствующие меры.

Аммиак является одним из лучших холодильных агентов по своим термодинамическим свойствам: он имеет большую объемную холодопроизводительность, относительно небольшие рабочие давления конденсации насыщенных паров и пр.

Аммиак не вызывает коррозии черных металлов (чугун и сталь) и алюминия, однако в присутствии влаги разъедает медь, цинк и бронзу. Он не растворяется в масле и интенсивно поглощается водой. Аммиак - дешевый хладагент.

Фреон-12 (CHF_2Cl_2) - дифтордихлорметан. В 30-х годах прошлого столетия в холодильной технике начали применять холодильные агенты, получившие название фреонов. Фреоны относятся к галоидным производным углеводов и содержат в различных соотношениях хлор и фтор.

Каждому из таких хладагентов присвоено цифровое обозначение, что удобно для использования. Например, монофтортрихлорметану ($CHFCl_3$) при-

своено название фреон-11 (Ф-11), дифтордихлорметану - фреон-12 (Ф-12) и т.д. В настоящее время насчитывают около 20 различных фреонов, два из которых фреон-12 и фреон-22 получили широкое применение в бытовых компрессионных холодильниках и установках кондиционирования воздуха.

Фреон-12 - один из наиболее распространенных в настоящее время холодильных агентов. Это бесцветный тяжелый (примерно в 4 раза тяжелее воздуха) газ с очень слабым запахом, ощущается лишь при объемной концентрации в воздухе более 20%. Ф-12 безвреден (в атмосферных условиях), что является важным его преимуществом по сравнению с другими фреонами. Он не оказывает какого-либо раздражающего действия на органы дыхания, а его пары не влияют на пищевые продукты. Однако при температуре свыше 400°C и непосредственном контакте с пламенем или раскаленными поверхностями происходит разложение фреона-12 с выделением следов ядовитого газа - фосгена. Поэтому в производственных помещениях, где в воздухе может находиться фреон-12, курить запрещается.

По своим термодинамическим свойствам Ф-12 несколько уступает аммиаку: у него меньшая объемная холодопроизводительность. Поэтому при одной и той же холодопроизводительности аммиачной и фреоновой компрессионных машин размеры фреонового компрессора больше, чем аммиачного.

Фреон-12 химически инертен почти ко всем металлам, в то же время он хорошо смывает окалину, песок и другие наслоения с поверхностей. Следовательно, поверхности деталей, находящиеся внутри машины, должны быть особенно чистыми. Фреон-12 хорошо растворяет различные органические вещества и лаковые покрытия, что следует учитывать при использовании в фреоновых машинах резиновых уплотнительных прокладок, обмоток электродвигателей с лаковыми покрытиями и др. Фреон-12 и смазочное масло хорошо взаимно растворяются. В связи с этим снижается вязкость масла, а часть масла уносится из картера компрессора вместе с фреоном. В то же время Ф-12 плохо растворяет

воду. При ее наличии в фреоновой машине даже в незначительных количествах могут произойти серьезные нарушения в работе.

Для холодильных машин отечественная промышленность выпускает так называемый сухой фреон-12 (ГОСТ 19212-78). В нем содержится не более чем 0,0006% влаги по весу, т.е. 6 мг влаги в 1 кг фреона.

Фреон-22 (CHF_2Cl) - дифторхлорметан. Фреон-22 - бесцветный газ, не имеющий запаха, он не горит и взрывобезопасен. По термодинамическим свойствам близок к аммиаку, а по физическим - к фреону-12. Фреон-22 растворяется в масле несколько меньше, по сравнению с фреоном-12, и в то же время несколько больше растворяет воду. По физическим свойствам Ф-22 относится к наименее вредным хладагентам, но несколько уступает в этом фреону-12.

Фреон-22 широко применяют в холодильных машинах различного назначения (в быту главным образом в низкотемпературных холодильниках, а также в кондиционерах).

Компрессоры холодильных машин. Компрессоры холодильных машин отличаются большим разнообразием и разделяются:

- по устройству: поршневые, ротационные и центробежные;
- по степени герметизации: открытые (сальниковые), полугерметичные (бессальниковые) и герметичные;
- по способу передачи движения поршня: с кривошипно-шатунным и кулисным механизмами.

Кроме того, компрессоры различают по расположению и количеству цилиндров, по оборотам вала, движению хладагента в цилиндре (прямоточный и непрямоточный) и пр.

В холодильных агрегатах отечественных бытовых холодильников используют исключительно герметичные, поршневые, одноцилиндровые компрессоры с кривошипно-шатунным и кулисным механизмами и частотой вращения вала, соответственно, 1500 и 3000 в минуту.

Поршневой компрессор. Поршневым называется компрессор, у которого поршень совершает в цилиндре возвратно-поступательные движения.

В корпусе компрессора, изготовленном из чугуна, находится цилиндр и картер, в котором расположен коленчатый вал. В нижней части картера залито масло для смазки трущихся деталей компрессора. Коренные шейки коленчатого вала лежат в подшипниках, а к шатунной шейке прикреплен своей нижней головкой шатун.

Шейка вала, выходящая из картера наружу, уплотнена сальником, чтобы не было течи хладагента через зазор между валом и подшипником. На шейке вала напрессован маховик, который вращается вместе с валом от электродвигателя при помощи ременной передачи.

Шатун соединен своей верхней головкой с поршнем при помощи поршневого пальца. При вращении вала поршень попеременно движется вдоль оси цилиндра от одного крайнего положения до другого на величину двойного радиуса кривошипа. На поршне надеты кольца, трущиеся по зеркалу цилиндра и уплотняющие (благодаря своей упругости) рабочую полость цилиндра, чтобы пары хладагента не могли попасть в картер.

Верхний торец цилиндра закрыт головкой. Головка цилиндра состоит из двух камер: всасывания и нагнетания. В каждой камере находится клапан, соответственно называемый всасывающим и нагнетательным. Клапаны расположены по обе стороны клапанной плиты и закрывают имеющиеся в ней отверстия, которые соединяют камеры головки с цилиндром. К камере всасывания подходит всасывающий трубопровод, соединенный с испарителем, к камере нагнетания – нагнетательный трубопровод, соединенный с конденсатором.

Компрессор работает следующим образом. При движении поршня вниз рабочий объем цилиндра (объем цилиндра над поршнем) увеличивается и давление паров хладагента в нем падает. Когда давление в цилиндре станет ниже, чем давление в камере всасывания головки (в испарителе), откроется всасывающий клапан, и пары хладагента из испарителя по всасывающему трубопро-

воду будут поступать в цилиндр. Начнется процесс всасывания. Он будет продолжаться до тех пор, пока поршень, достигнув крайнего положения (нижняя мертвая точка) в цилиндре, не начнет двигаться вверх. Рабочий объем цилиндра будет уменьшаться, а давление паров соответственно расти. Как только давление паров в цилиндре превысит давление в камере всасывания головки, всасывающий клапан закроется и процесс всасывания закончится. Начнется сжатие паров. Процесс сжатия будет происходить до тех пор, пока давление паров в цилиндре не превысит давление в камере нагнетания головки (в конденсаторе), в результате чего откроется нагнетательный клапан. Начнется процесс нагнетания, т.е. выталкивание сжатых паров из цилиндра компрессора в конденсатор. Однако при этом небольшое количество сжатых паров хладагента неизбежно останется в цилиндре. Это происходит потому, что при крайнем верхнем положении поршня (верхняя мертвая точка) в цилиндре должен быть зазор между доньшком поршня и клапанной плитой, чтобы поршень не ударялся о нее своим доньшком. Зазор создает вредный («мертвый») объем, в который также входит объем, образуемый проходным сечением отверстия в клапанной плите, соединяющего цилиндр с камерой нагнетания головки. Сжатые пары, оставшиеся в мертвом объеме (пространстве), будут расширяться в цилиндре при последующем движении поршня вниз до тех пор, пока их давление, т.е. давление в цилиндре, не станет ниже, чем давление паров хладагента в камере всасывания головки.

Таким образом, при движении поршня вниз происходит расширение паров, оставшихся в цилиндре, и всасывание новых паров хладагента из испарителя, а при движении поршня вверх – сжатие паров и нагнетание их в конденсатор.

Холодопроизводительность компрессора. Холодопроизводительность является важнейшим показателем компрессора, по которому можно судить о его приемлемости для охлаждения того или иного объекта. Холодопроизводительность компрессора не является постоянной, так как объемная холодопро-

изводительность агента и действительная производительность компрессора изменяются в зависимости от температурных условий работы компрессора. Особенно влияет на холодопроизводительность компрессора изменение температуры кипения хладагента, а также температуры конденсации.

С понижением температуры кипения хладагента холодопроизводительность компрессора резко снижается. Объясняется это резким снижением объемной холодопроизводительности хладагента. Так, если при всех прочих равных условиях объемная холодопроизводительность фреона-12 при температуре кипения минус 15°C соответствует 319 кДж/м³, то при температуре кипения минус 30°C объемная холодопроизводительность снижается до 170 кДж/м³.

Холодопроизводительность компрессора снижается также при повышении температуры конденсации хладагента. С повышением температуры конденсации повышается давление в конденсаторе, что приводит к снижению коэффициента подачи компрессора.

Из изложенного следует, что сравнение компрессоров и холодильных машин по холодопроизводительности можно делать только при условии их работы в одинаковых режимах. Поэтому для возможности сравнения компрессоров и холодильных машин по холодопроизводительности приняты определенные условные температурные режимы: температура кипения хладагента минус 15°C, температура конденсации 30°C, температура переохлаждения 25°C и перегрев 15°C. Холодопроизводительность, определяемая при таких температурных режимах, называется стандартной холодопроизводительностью.

На производстве при ремонте компрессоров производительность каждого компрессора проверяют по воздуху, определяя его расход: у больших компрессоров в кубических метрах за час (м³/ч), у компрессоров бытовых холодильников – в литрах в минуту (л/мин).

Теплообменные аппараты. Теплообменными аппаратами принято называть устройства, предназначенные для передачи тепла от одних тел к другим.

В теплообменных аппаратах могут происходить различные тепловые процессы: изменение температуры, испарение, кипение, конденсация и др. В холодильных машинах применяются различные по назначению теплообменные аппараты: конденсаторы, испарители, абсорберы, генераторы (кипяильники), жидкостные и газовые теплообменники и др.

Конденсаторы, испарители, абсорберы и генераторы принято считать основными теплообменными аппаратами, остальные – вспомогательными.

Назначение конденсатора и его действие. Конденсатор - теплообменный аппарат, в котором пары холодильного, охлаждаясь, до температуры его конденсации, переходят в жидкое состояние. Для этого у хладагента должна быть отнята теплота: во-первых, полученная им от охлаждаемого агента и, во-вторых, дополнительно полученная перед поступлением в конденсатор. В компрессионной холодильной машине пары хладагента сильно нагреваются перед поступлением в конденсатор при сжатии в цилиндре компрессора, в абсорбционной машине пары хладагента нагреваются в генераторе от подведенного тепла для выделения их из раствора.

Конденсатор представляет собой трубопровод, обычно изогнутый в виде змеевика, внутрь которого поступают пары хладагента. Змеевик охлаждается снаружи окружающим воздухом или водой (в больших холодильных машинах). Наружная поверхность змеевика обычно не достаточна для отвода тепла воздухом, поэтому при воздушном охлаждении конденсатора поверхность змеевика увеличивают за счет большого количества ребер, креплением змеевика к металлическому листу и другими способами. Змеевик обычно располагают горизонтально с подачей хладагента в верхний виток.

Рассмотрим действие конденсатора на примере работы компрессионной холодильной машины. Когда компрессор не работает, нижние витки змеевика конденсатора наполнены жидким хладагентом, а остальные витки – его насыщенными парами. Температура хладагента в конденсаторе будет равна температуре окружающей среды (воды или окружающего воздуха), а его давление

будет соответствовать давлению насыщенных паров хладагента при данной температуре.

При работе компрессора сжатые в его цилиндре перегретые пары хладагента поступают в конденсатор с температурой примерно на $30-40^{\circ}\text{C}$ выше температуры охлаждающей среды. В связи с тем, что выход из конденсатора ограничен малой пропускной способностью регулирующего вентиля, а компрессор нагнетает пары хладагента, давление их в конденсаторе постепенно повышается. Происходит перенасыщение паров и постепенная их конденсация.

При нормальной работе холодильной машины температура конденсации устанавливается примерно на $10-15^{\circ}\text{C}$ выше температуры охлаждающей среды, а давление конденсации соответствует давлению насыщенных паров хладагента при этой температуре. Жидкий хладагент, заполняя конечные витки змеевика, образует перед регулирующим вентилем жидкостный зазор, препятствующий попаданию в испаритель частиц парообразного хладагента.

В случае повышения температуры охлаждающей среды (окружающего воздуха или воды) условия конденсации хладагента ухудшаются, так как повысятся температура и давление конденсации. Повышение температуры и давления конденсации приведет к снижению холодопроизводительности машины, так как с повышением противодействия снизится производительность компрессора, а с ухудшением условий конденсации хладагента в испаритель будет поступать парожидкостная смесь, из-за чего уменьшится количество тепла, отводимого от охлаждаемого объекта хладагентом при его кипении (испарении) в испарителе.

Однако с повышением противодействия не только снизится производительность компрессора, но и увеличится потребляемая мощность двигателя. Все это, а также неизбежное при повышении температуры окружающего воздуха увеличение притока внешнего тепла в охлаждаемый объект приведет к увеличению расхода электроэнергии. Высокое давление конденсации ухудшает

также условия герметизации холодильной машины, способствует утечкам хладагента и может привести к авариям.

Классификация конденсаторов. Конденсаторы классифицируются по разным признакам: по виду хладагента (аммиачные, фреоновые и пр.), по способу охлаждения (воздушные и водяные), а также по конструктивным особенностям (кожухотрубные, ребристотрубные, листотрубные и др.).

В холодильных агрегатах бытовых холодильников применяют ребристотрубные и листотрубные конденсаторы с воздушным охлаждением. Охлаждение таких конденсаторов окружающим воздухом обеспечивает конденсацию хладагента и не вызывает каких-либо неудобств, связанных с применением проточной воды при водяном охлаждении.

Конструкции конденсаторов холодильных агрегатов бытовых холодильников отличаются большим разнообразием. Объясняется это главным образом экономическими соображениями – стоимостью материалов, затратами труда, металлоемкостью конструкции, возможностью механизации и автоматизации производства и др.

Испарители, их назначение и разновидности. Испаритель – теплообменный аппарат, в котором происходит передача тепла от охлаждаемого объекта к испаряющемуся (кипящему) вследствие этого холодильному агенту.

По принципу действия испарители аналогичны конденсатору, но отличаются тем, что в конденсаторах холодильный агент отдает тепло окружающей среде, в испарителях поглощает его из охлаждающей среды.

Испарители, применяемые в холодильных агрегатах бытовых холодильников, как и конденсаторы, разделяют на ребристотрубные и листотрубные. Листотрубные наиболее распространены, так как они удобнее для размещения пищевых продуктов. Испарители ребристотрубного типа устанавливают в абсорбционных холодильниках, не имеющих морозильных отделений, в двухкамерных холодильниках для охлаждения высокотемпературной камеры и при

устройстве в них принудительной циркуляции воздуха в камерах с помощью вентилятора.

Испарители изготавливают из коррозионно-устойчивых материалов либо применяют для защиты антикоррозионные покрытия, не оказывающие вредного влияния на пищевые продукты.

Устройство испарителей. Ребристотрубные испарители, применяемые в абсорбционных холодильных агрегатах, конструируют обычно в виде змеевика из стальной трубы с горизонтально расположенными витками, между которыми помещают стальную коробочку с полочками для ледоформ.

В компрессионных холодильных агрегатах ребристотрубный испаритель представляет собой змеевик из оребренной трубки. Для этого часто применяют алюминиевую профильную трубку с продольными ребрами или насаженными ребрами из тонких алюминиевых пластин. Испарители с тонкими пластинчатыми ребрами ограждают защитной решеткой, предохраняющей от травмирования.

Листотрубные испарители могут быть трех видов в зависимости от способа их изготовления:

- из листа с закрепленным на нем змеевиком из трубки;
- из двух сваренных стальных листов со штампованными в них каналами;
- из двух алюминиевых листов, сваренных под давлением с последующим раздутием каналов (прокатно-сварной метод).

Испарители, сделанные из листа с закрепленным на нем змеевиком, предназначаются для морозильных камер двухкамерных холодильников. Алюминиевому листу придают форму коробки соответствующих размеров и на наружных её сторонах закрепляют змеевик. В конечной части змеевика впаивают емкость в виде трубы большого диаметра, предназначенную для сбора пара хладагента (паросборник).

На протяжении многих лет в бытовых холодильниках устанавливают в основном алюминиевые прокатно-сварные испарители с раздутыми каналами.

Такой испаритель делают из двух алюминиевых заготовок толщиной по 3 мм каждая, шириной, соответствующей ширине испарителя, и длиной примерно в 4 раза меньше испарителя. Поверхность заготовок тщательно зачищают и на одну из них наносят по трафарету специальной краской рисунок каналов, уменьшенных по длине в 4 раза. Печатная краска состоит из вещества, препятствующего сварке алюминия. Обе заготовки, наложенные друг на друга, пропускают через валки прокатного стана. В результате большого давления при прокате обе заготовки свариваются по всей поверхности, за исключением нанесенного рисунка каналов. При этом сваренный лист утоньшается до 1,5 мм, соответственно удлиняясь примерно в 4 раза.

После сварки каналы раздувают жидкостью под давлением 80-100 атм.

Назначение и устройство абсорбера, ректификатора и дефлегматора.

Абсорбер является теплообменным аппаратом, в котором происходит абсорбция (поглощение) паров аммиака абсорбентом (водой). Выделяющееся при этом тепло передается в окружающий воздух или отводится водой (в крупных машинах).

Абсорберы холодильных агрегатов бытовых холодильников внешне схожи с конденсаторами. Они представляют собой змеевик из стальной трубы, витки которого, однако, не оребряют, так как поверхности трубы обычно достаточно для охлаждения.

Ректификатор и дефлегматор – это теплообменные аппараты, в которых происходит разделение парожидкостной или парогазовой смесей на их (практически чистые) компоненты (составные части) – это пар, газ, жидкость. Этот процесс происходит путем массо- и теплообмена между движущимися навстречу друг другу жидкостью и паром.

Выделение жидкости происходит в дефлегматоре в результате его охлаждения окружающей средой. Жидкость, образующаяся путем конденсации некоторого количества паров такой смеси, называется флегмой.

Ректификатор абсорбционно–диффузионного агрегата конструктивно представляет собой трубку, внутри которой находятся перегородки, образующие своеобразные лабиринты. Перегородки тормозят поток парожидкостной (парогазовой) смеси, что благоприятствует ее сепарации (разделению).

Жидкостные и газовые теплообменники. В компрессионных герметичных агрегатах имеется теплообменник, в котором происходит обмен тепла между относительно теплым хладагентом, поступающим по капиллярной трубке в испаритель, и холодными парами хладагента, всасываемыми в кожух компрессора из испарителя.

Существует два вида теплообменника. Наиболее распространен теплообменник в виде спаянных между собой всасывающей и капиллярной трубок. Общая длина спаянного участка не превышает 1200 мм. При большой длине всасывающей трубки капилляр располагают и припаивают вдоль трубки, при небольшой длине капилляр припаивают, навивая спиралью вокруг всасывающей трубки.

В теплообменнике другого вида капиллярная трубка находится внутри всасывающей. Такой теплообменник удобен при использовании испарителя с вводом капилляра и всасывающей трубки через один и тот же канал.

В абсорбционно-диффузионных агрегатах теплообменники разделяют на жидкостные, в которых теплоносителями являются водоаммиачные растворы разной концентрации и температуры, и газовые. В газовом теплообменнике происходит теплообмен между парогазовыми (водородно-аммиачными) смесями: теплой, поступающей в испаритель из абсорбера, и холодной, выходящей из испарителя.

Конструктивно все теплообменники представляют собой трубки разного диаметра, вставленные одна в другую.

Регулирующие устройства, фильтры и осушители. Для кипения хладагента в испарителе при низких температурах и эффективной работы холодильной машины необходимо, чтобы в испарителе поддерживалось низкое давле-

ние и в него поступало столько хладагента, сколько его испаряется. В этом случае испаряющийся хладагент будет омывать всю поверхность испарителя и она будет полностью участвовать в отводе тепла от охлаждаемого объекта, а компрессор, отсасывая пары хладагента, будет поддерживать в испарителе низкое давление испарителя. Для этого необходимо, чтобы давление жидкого хладагента, поступающего в испаритель, не превышало давление паров хладагента в испарителе. Однако и в этих условиях, если компрессор будет в единицу времени отсасывать из испарителя хладагента больше, чем его будет поступать, количество хладагента в испарителе будет уменьшаться, часть поверхности испарителя не будет участвовать в теплопередаче, снизится эффективность работы испарителя и холодильная машина будет работать менее экономично.

Если же в испаритель будет поступать хладагента больше, чем его в состоянии отсосать компрессор, то избыток жидкости переполнит испаритель и она будет кипеть во всасывающем трубопроводе, из-за чего снизится холодопроизводительность машины.

Притоки тепла к испарителю, а также производительность компрессора не постоянны. Поэтому количество хладагента, испаряющегося в испарителе, и, следовательно, количество жидкого хладагента, поступающего в испаритель, должно регулироваться в соответствии с изменениями тепловой нагрузки.

Для обеспечения необходимых условий кипения хладагента в испарителе имеется регулирующее устройство, которое снижает давление жидкого хладагента, поступающего в испаритель, от давления конденсации до давления кипения и одновременно регулирует его количество.

Капиллярная трубка. Капиллярная трубка является наиболее простым и весьма надежным в работе регулирующим устройством. Она представляет собой медную полужесткую трубку длиной примерно 1,5 – 4,0 м, внутренним диаметром 0,80 – 0,85 мм. Технология её изготовления позволяет получить гладкую внутреннюю поверхность и равномерное сечение по всей длине трубки. Следует отметить, что термин «капиллярная трубка» является неточным,

так как при указанных размерах трубки явления капиллярности в ней не происходит. Однако такой термин общепринят и нагляднее отражает существенную разницу в проходных сечениях этой трубки и остальных трубопроводов в агрегате. Малое отверстие и большая длина капиллярной трубки представляют сопротивление для проходящего через трубку жидкого хладагента, поэтому её пропускная способность (количество жидкости, которое трубка в состоянии пропустить в единицу времени) невелика.

Пропускная способность трубки зависит от диаметра отверстия и длины трубки. С уменьшением диаметра отверстия и увеличением длины трубки её пропускная способность уменьшается. Однако пропускная способность любой трубки не постоянна. Она будет изменяться в зависимости от разности давлений на входе и выходе из трубки. Так, с повышением давления жидкости, входящей в трубку, и понижением давления среды, в которую поступает жидкость из трубки, количество жидкости, проходящей через трубку в единицу времени, будет увеличиваться.

Фильтры. Фильтр устанавливают в герметичном агрегате для предохранения капиллярной трубки от засорения.

Капиллярная трубка, имея малый внутренний диаметр, может засориться при попадании в неё какой-либо твердой частицы. Произойдет закупорка капилляра, из-за чего прекратится поступление хладагента в испаритель, и холодильный агрегат потеряет работоспособность.

В герметичных агрегатах бытовых холодильников применяют два типа фильтров: из мелких бронзовых шариков или из мелкой металлической (латунь, нержавеющая сталь) сетки.

Устройство фильтра из шариков показано на рисунке 7.3, а. Такой фильтр состоит из большого количества бронзовых шариков диаметром 0,25 мм, которые в результате спекания между собой образуют столбик конической формы. Между прилегающими друг к другу поверхностями шариков имеются мельчайшие зазоры, образующие многочисленные лабиринты, не представляющие,

однако, сопротивления для прохода жидкого хладагента. Для увеличения поверхности фильтра в торце большого основания конуса имеется глухое отверстие.

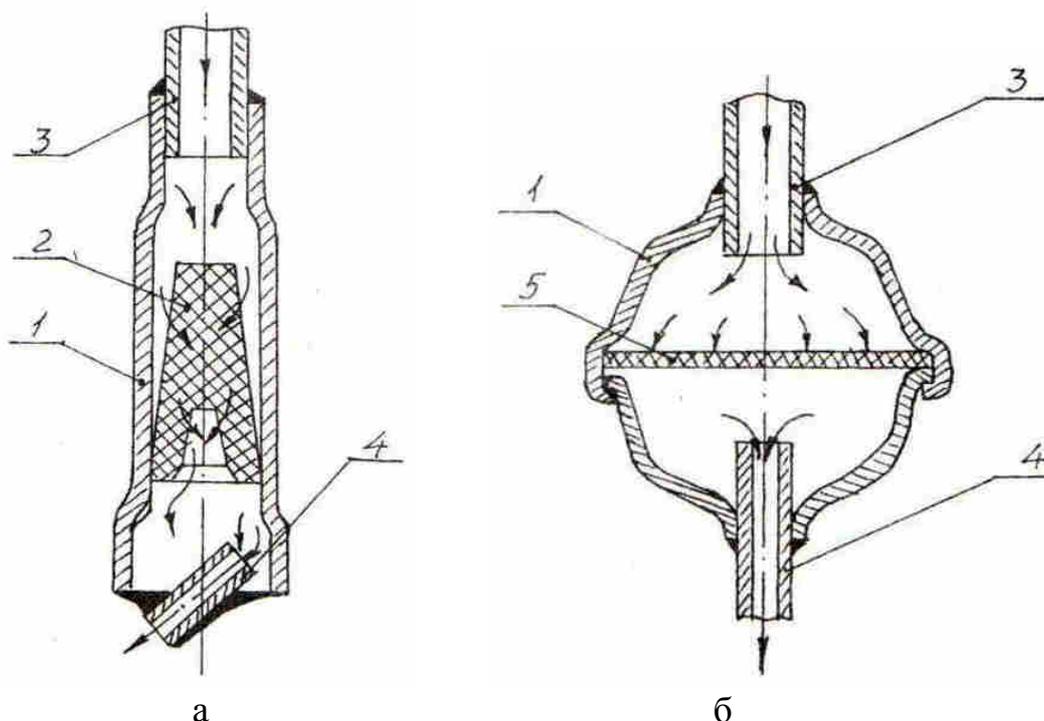


Рисунок 7.3 - Фильтры капиллярные: а – металлокерамический; б – сетчатый; 1 - корпус; 2 - фильтр; 3 - трубка конденсатора; 4 - капиллярная трубка; 5-фильтрующая сетка

Сетчатый фильтр в настоящее время имеет большое распространение. Объясняется это удобством его совмещения в одном корпусе вместе с осушителем. Существуют различные конструкции сетчатых фильтров. Наиболее типичный приведен на рисунке 7.3, б. Сетка такого фильтра зажата между двумя половинками стального корпуса, которые герметично сварены. Жидкий хладагент поступает из конденсатора в корпус фильтра и попадает в капиллярную трубку, пройдя через мелкую сетку фильтра.

Осушители. Пагубное влияние даже незначительного количества воды на работоспособность фреоновых герметичных агрегатов вызывает необходимость тщательной осушки всех частей, находящихся внутри агрегата. Однако никакими технологическими мероприятиями не представляется возможным га-

рантировать такую сушку агрегата, чтобы в нем не осталось несколько миллиграммов влаги. Кроме того, влага может появиться в течение многолетнего срока службы агрегата, так как в статоре электродвигателя имеются не металлические материалы с некоторым влагосодержанием. При многолетней работе агрегата не исключается возможность выделения паров воды из этих материалов в результате их систематического нагрева. Поэтому, несмотря на тщательную сушку холодильных агрегатов в процессе их производства, в герметичных агрегатах применяют осушители влаги. В таких агрегатах в отличие от более крупных холодильных машин открытого типа осушители впаяны и являются постоянной арматурой агрегата. В холодильных машинах открытого типа осушители применяют лишь при монтаже машины, после чего их снимают.

Осушитель представляет собой металлический корпус (патрон), в котором находится твердое вещество, активно поглощающее воду. Такое вещество называется абсорбентом. Поглотительная способность абсорбента выражается массой (в граммах) поглощенной воды на 100 г абсорбента. Поглотительная способность разных абсорбентов различна, однако во всех случаях она зависит от температуры абсорбента и с повышением температуры уменьшается. Это дает возможность при необходимости извлечь из абсорбента поглощенную им воду, нагревая его до определенной температуры. Такой процесс называется регенерацией абсорбента, а температура, при которой происходит регенерация, - температурой десорбции абсорбента.

Схема устройства и принцип работы абсорбционной холодильной машины. Абсорбционная холодильная машина по своему устройству значительно отличается от компрессионной. В ней отсутствует компрессор, а кроме хладагента в ее системе циркулирует также жидкость, называемая абсорбентом.

В качестве хладагента в абсорбционных машинах обычно используют аммиак, а абсорбентом для него служит вода. Так, в одном объеме воды при 0⁰С растворяется более 1000 объемов аммиака. Вследствие хорошей раствори-

мости аммиака в воде они находятся в системе абсорбционной машины в виде водоаммиачного раствора с различной концентрацией в нем аммиака в отдельных частях машины.

Основные узлы абсорбционной машины генератор (кипятильник), конденсатор, испаритель, абсорбер, два регулирующих вентиля, а также насос, соединенные между собой соответствующими трубопроводами и образующие замкнутую систему.

Наиболее простая схема абсорбционной машины приведена на рисунке 7.4.

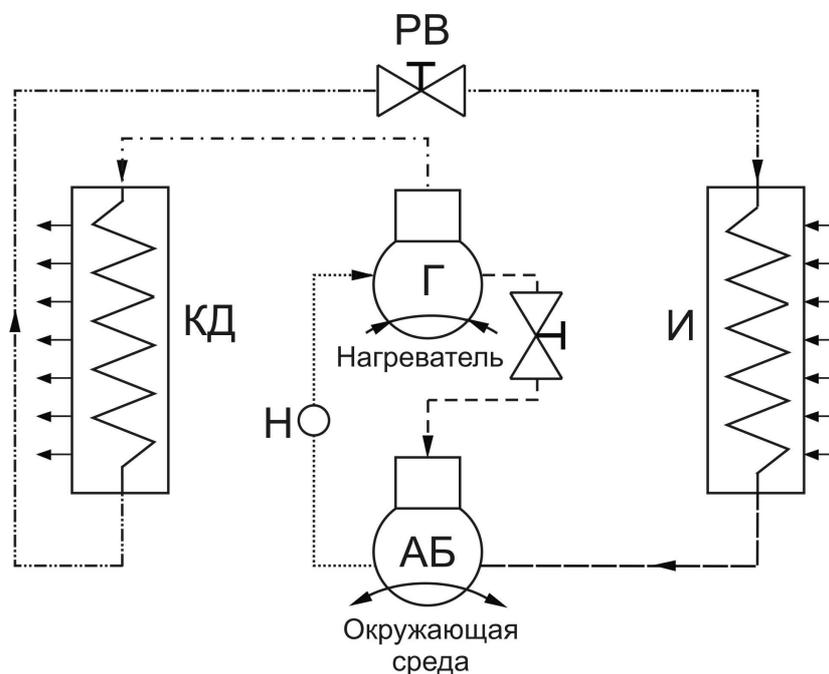


Рисунок 7.4 - Упрощенная схема абсорбционной холодильной машины: Г – генератор; АБ – абсорбер; КД – конденсатор; И – испаритель; Н – насос; РВ – регулирующий вентиль; - крепкий водоаммиачный раствор; — — — — слабый водоаммиачный раствор; · · — · — — пар аммиака высокого давления; - - - - - жидкий аммиак высокого давления; ······ - жидкий аммиак низкого давления; — — — — пар аммиака низкого давления

Холодильная машина работает следующим образом. В испарителе, находящемся в охлаждаемой среде, из имеющегося в нем водоаммиачного раствора выделяются пары кипящего аммиака. Происходит это потому, что температура кипения аммиака при одинаковом давлении значительно ниже, чем воды (температура кипения аммиака при атмосферном давлении минус 33,4⁰С).

Выделяющиеся пары аммиака из испарителя непрерывно как бы отсасываются в абсорбер (давление в абсорбере несколько ниже, чем в испарителе) и поглощаются находящимся в абсорбере водоаммиачным раствором. Насыщение водоаммиачного раствора аммиаком сопровождается повышением температуры, что ухудшает его растворимость. Во избежание этого абсорбер охлаждают водой или окружающим воздухом, поддерживая тем самым активное насыщение аммиаком водоаммиачного раствора в абсорбере.

Насыщенный аммиаком крепкий (концентрированный) водоаммиачный раствор перекачивается насосом в генератор (кипятильник), который обогревается каким-либо источником тепла (электронагревателем, паром и др.).

В результате нагрева водоаммиачный раствор в генераторе кипит. При кипении раствора из него выделяются пары аммиака высокого давления, которые поступают в конденсатор, а оставшийся в генераторе слабо концентрированный раствор возвращается через регулирующий вентиль $PВ_1$ в абсорбер, где снова насыщается парами аммиака, поступающими из испарителя.

В конденсаторе, охлаждаемом водой или окружающим воздухом, пары аммиака высокого давления превращаются в жидкость. Жидкий аммиак проходит через регулирующий вентиль $PВ_2$, дросселируется и при низком давлении поступает в испаритель. Таким образом, в замкнутой системе абсорбционной машины, так же как и в компрессионной, циркулирует (не расходуясь) холодильный агент, который отбирает тепло от охлаждаемого объекта через испаритель и отдает его в окружающую среду через конденсатор.

Рассматривая несколько видоизмененные (для удобства их сравнения) принципиальные схемы (рисунок 7.5) компрессионной и абсорбционной холодильных машин, нетрудно заметить, что при наличии в них одинаковых частей - конденсатора, испарителя и регулирующих вентилей, - имеющих в обеих машинах одинаковое назначение, в абсорбционной машине вместо компрессора применен узел генератор-абсорбер. При этом генератор как бы представляет нагнетательную часть компрессора, а абсорбер - всасывающую.

Сравнивая работу компрессионной и абсорбционной машин и циркуляцию хладагентов в их системах, следует обратить внимание на имеющиеся различия. Так, если в компрессионной машине по замкнутому кольцу ее системы циркулирует только хладагент, то в абсорбционной машине имеются два циркуляционных кольца. Одно из них – большое кольцо (рисунок 7.5, а), по которому циркулирует хладагент, другое – малое, между абсорбером и генератором, по которому циркулирует водоаммиачный раствор различной концентрации (оно является звеном большого кольца).

Работа абсорбционной машины по схеме, приведенной на рисунке 7.5, б, оказывается недостаточно эффективной. Так, при кипении раствора в генераторе из него будут выделяться не только пары аммиака, но и водяные пары. Водяные пары, попадая вместе с парами аммиака в конденсатор, превратятся в воду, которая будет поглощать аммиак. Вследствие этого количество жидкого аммиака, поступающего в испаритель, уменьшится, а следовательно, снизится эффективность работы испарителя.

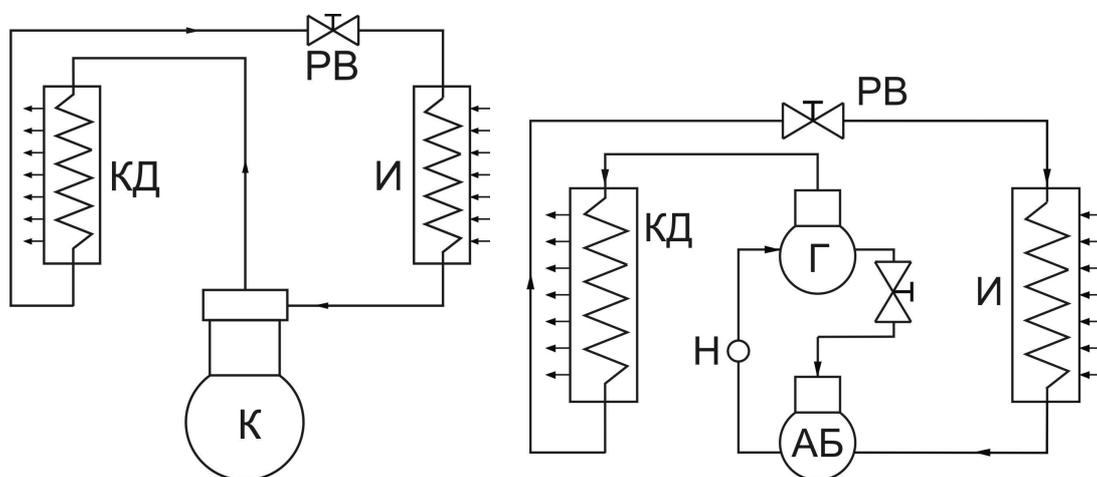


Рисунок 7.5 - Сравнительные схемы компрессионной (а) и абсорбционной (б) холодильных машин: К – компрессор; КД – конденсатор; И – испаритель; РВ – регулирующий вентиль; Г – генератор; АБ – абсорбер; Н – насос

Кроме того, при поглощении в конденсаторе аммиака водой будет выделяться тепло, из-за чего снизится эффективность работы конденсатора.

Для устранения указанных явлений и повышения эффективности работы абсорбционной машины в ее системе устанавливают дополнительные аппараты – теплообменник растворов, ректификатор и дефлегматор.

Принцип устройства и работы абсорбционно-диффузионного холодильного агрегата. В таком агрегате (рисунок 7.6) водородно-аммиачная смесь из абсорбера 8 поступает по внутренней трубке газового теплообменника не в нижнюю, а в верхнюю часть испарителя, куда также поступает жидкий переохлажденный в теплообменнике аммиак из конденсатора 4. Поэтому в испарителе более низкая температура создается в верхней его части. Наибольшее понижение температуры в момент поступления хладагента в испаритель приводит к устойчивой низкой температуре в морозильном отделении.

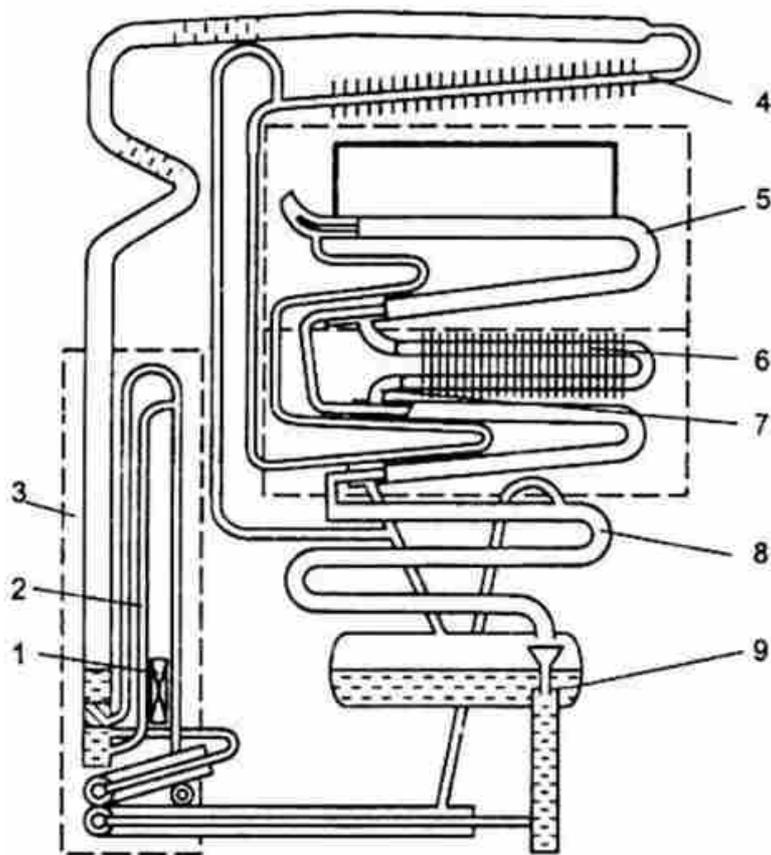


Рисунок 7.6 - Схема устройства абсорбционно-диффузионного агрегата: 1 – электродвигатель, 2 – термосифон, 3 – генератор; 4 – конденсатор, 5, 6 – испарители; 7 – газовый теплообменник; 8 – абсорбер; 9 – бачок абсорбера

Абсорбционные агрегаты изготовляют из металлических труб, соединенных сваркой. Внутренние поверхности системы агрегата тщательно очищают

от окалины, ржавчины и загрязнений, подвергая все узлы перед сваркой специальной обработке. Сварку проводят обязательно с газовой защитой для предохранения мест сварки от окисления.

Электронагреватель (для уменьшения потерь тепла) закрывают слоем теплоизоляции и заключают в кожух из листовой стали. Холодильные агрегаты заполняют концентрированным раствором аммиака (временно 550 – 1000 мл 30 – 40%-го раствора) и водородом до избыточного давления 15 – 20 кгс/см. Водоаммиачный раствор готовят на дистиллированной воде двойной перегонки (бидистиллят). Для защиты внутренних поверхностей от коррозии в раствор добавляют примерно 2% (от массы всего заряда) двуххромовокислого натрия. Заправляют агрегаты через штуцер, расположенный обычно на бачке абсорбера.

Контрольные вопросы

1. Принцип работы компрессионных холодильных агрегатов.
2. Принцип работы абсорбционных холодильных агрегатов.
3. Перечислите хладагенты, применяемые в холодильных агрегатах. Их свойства.
4. Классификация холодильных машин.
5. Классификация и устройство компрессоров холодильных машин.
6. Холодопроизводительность компрессора.
7. Назначение, классификация и принцип работы конденсатора.
8. Назначение, разновидности и устройство испарителей.
9. Назначение и устройство абсорбера, ректификатора и дефлегматора.
10. Назначение, устройство и принцип работы регулирующих устройств, фильтров и осушителей.

Литература

1. Драганов Б.Х., Кузнецов А.В., Рудобашта С.П. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. - М.В.О. Агропромиздат, 1990.-324 с.
2. Есин В.В., Кретьева Н.П., Кузнецов А.В. Практикум по теплотехнике и применению теплоты в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1971.-189 с.
3. Захаров А.А. Применение тепла в сельском хозяйстве. - М.: Колос, 1980.-287 с.
4. Кругляк И.Н. Бытовые холодильники. – М.: Легкая индустрия, 1984. – 267 с.
5. Григоренко Н.П., Журавлев Ю.Г. Холодильные установки в сельском хозяйстве. – Киев: Урожай, 1981. – 189 с.
6. Лопарев А.А., Лиханов В.А., Вылегжанин П.Н. Сборник задач по теплотехнике и применению теплоты в автомобильном хозяйстве: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». - Киров: Вятская ГСХА, 2015. - 326 с.

Таблица 2 – Плотность и теплоемкость воды при различной температуре

Температура, t , °С	Плотность, ρ , кг/м ³	Теплоемкость, C , (кДж/кг·К)
20	997,6	4,189
25	997,1	4,185
30	995,7	4,183
35	994,1	4,181
40	992,2	4,181
50	988,1	4,185
60	983,3	4,189
70	977,8	4,197
80	971,8	4,202
90	965,3	4,210
95	961,3	4,215
100	958,3	4,218
105	955,1	4,218
110	957,0	4,218

Оглавление

Введение	3
Лабораторная работа № 1. Снятие энергетического баланса ДВС	4
Лабораторная работа № 2. Определение коэффициента теплопроводности воды	10
Лабораторная работа № 3. Исследование конвективного теплообмена в вертикальной цилиндрической трубе	14
Лабораторная работа № 4. Определение коэффициента теплоотдачи в подогреваемом цилиндре при естественной конвекции воздуха	17
Лабораторная работа № 5. Определение коэффициента теплоотдачи жидкостного радиатора и расчет вентилятора ДВС	24
Лабораторная работа № 6. Исследование ротационных компрессоров	29
Лабораторная работа № 7. Холодильные установки, применяемые в сельском хозяйстве	34
Литература	63
Приложение	64

Учебное издание

**Вылегжанин Павел Николаевич,
Лопарев Аркадий Афанасьевич,
Лопатин Олег Петрович**

ТЕПЛОТЕХНИКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Учебно-методическое пособие для выполнения
лабораторных работ по дисциплине «Теплотехника»
для студентов инженерного факультета,
обучающихся по направлению подготовки
35.03.06 Агроинженерия

Редактор И.В. Окишева

Формат 60x84 1/16. Объем усл. печ. л. 4,19. Тираж 100 экз.
Бумага офсетная. Цена договорная. Отпечатано с оригинал-макета.
Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО Вятская ГСХА
610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133