



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплоэнергетика и прикладная гидромеханика»

## **Методические указания** к лабораторно-практическим занятиям

# **«Экспериментальное определение эксплуатационных параметров бытовой холодильной машины при естественном и вынужденном воздухообмене конденсатора»**

Авторы

Романов В. В., Падалка А. Л., Тепулян А. О.,  
Нестеренко В. А., Ибрахими С. З.

Ростов-на-Дону, 2018



## Аннотация

Практикум предназначен для студентов очной, очно-заочной форм обучения направления 15.04.01 Машиностроение, 16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения.

## Авторы

к.т.н., доцент кафедры «ТиПГ» Романов В.В.,  
магистр Падалка А.Л.,  
магистр Тепулян А.О.,  
магистр Нестеренко В.А.,  
магистр Ибрахими С.З.





## Оглавление

<b>ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА .....</b>	<b>4</b>
Задачи исследования: .....	4
Общие сведения .....	4
Принцип работы холодильной машины.....	8
Экспериментальная установка холодильной машины малой мощности. Параметры и ее характеристики.....	10
Порядок выполнения работы .....	10
Пример выполнения экспериментального расчета.....	12
Вопросы для самоконтроля.....	14
Экспериментальная самостоятельная работа.....	14

## ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

**Цель работы:** экспериментально изучить влияние способа охлаждения конденсатора на эксплуатационные параметры бытовой холодильной машины.

### Задачи исследования:

1. Определить эксплуатационные параметры бытовой холодильной машины и рассчитать термодинамические характеристики холодильной машины при: естественном воздухообмене конденсатора, при горизонтальном и вертикальном обдуве конденсатора. Построить соответствующие диаграммы холодильного цикла.
2. Провести анализ полученных результатов.

### Общие сведения

Бытовая холодильная машина – это замкнутая система, состоящая из устройств, предназначенных для осуществления холодильного цикла. Такие машины используют для охлаждения продукции ниже температуры окружающей среды и поддержания заданной температуры в течении определенного времени.

Основными узлами бытовой холодильной машины являются: испаритель, конденсатор, компрессор, приборы контроля и регулирования (рис. 1).

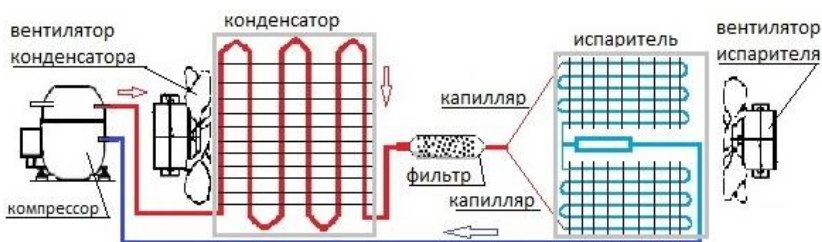


Рис. 1. Схема холодильной машины

**Компрессор** обеспечивает циркуляцию хладагента в си-

«Эксплуатация и сервис холодильной техники», «Перспективные направления развития отечественных и зарубежных холодильных установок, систем кондиционирования воздуха и систем вентиляции помещений»

стеме холодильной машины. Он отсасывает из испарителя пары хладагента в ци- линдр, сжимает их и нагнетает в конденсатор. Компрессоры подразделяются по холодопроизводительности:

- малые (до 12 кВт):
- средние (от 12 до 120 кВт):
- большие (свыше 120 кВт).

Требования к поршневым компрессорам изложены в ГОСТ 17008-85 «Компрессоры хлад новые герметичные. Общие технические условия». Основные параметры компрессоров – объемная производительность, холодопроизводительность, удельная холодопроизводительность и потребляемая мощность.

**Испаритель.** 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.

В бытовых холодильниках применяют прокатно-сварные и листо-трубные испарители.

Прокатно-сварной испаритель изготавливают из двух алюминиевых листов, которые после нанесения на них специальной краской рисунка канала подвергают горячей прокатке. Листы сваривают, исключая закрашенные места. Затем водой или воздухом под давлением 5–10 МПа раздувают каналы. Заготовки с раздутыми каналами поступают на завод-изготовитель холодильников, где их обрезают по нужной конфигурации, изгибают и вваривают в агрегат.

Прокатно-сварные испарители обеспечивают достаточно интенсивный теплообмен, просты в изготовлении и относительно дешевы. Однако они имеют ряд недостатков. Погрешности при нанесении рисунка, не идентичность свойств материала приводит к тому, что внутренний объем каналов колеблется в пределах плюс-минус 12 %.

Листотрубные испарители не имеют указанных недостатков. Их изготавливают из алюминиевых труб, изогнутых «змейкой». На змеевик накладывают алюминиевый лист, который крепят к змеевику с помощью скоб. В выпускаемых в настоящее время бытовых холодильниках испаритель, как правило, является и низкотемпературной камерой. В зависимости от объема низкотемпературной камеры, температуры в ней, общего объема холодильника испа-

«Эксплуатация и сервис холодильной техники», «Перспективные направления развития отечественных и зарубежных холодильных установок, систем кондиционирования воздуха и систем вентиляции помещений»

рители делают различной конфигурации. Поэтому уровень унификации испарителей очень низкий. В основном это внутривзаводская унификация. Это снижает ремонтпригодность холодильника, так как при повреждении испарителя его можно заменить только при наличии поставок данного завода-изготовителя.

**Конденсатор** служит для отвода теплоты от хладагента в окружающую среду, определяя при этом режим работы холодильного агрегата и машины в целом. Главным фактором, влияющим на режим работы конденсатора и агрегата в целом, является температура окружающего воздуха, величина которой определяет температуру конденсации – одного из основных рабочих параметров холодильной машины.

Конденсаторы делят по способу отвода тепла на:

- 1) проточные, в которых тепло отводится водой;
- 2) оросительно-испарительные, в которых тепло отводится водой, испаряющейся в воздухе;
- 3) конденсаторы воздушного охлаждения.

Проточные конденсаторы изготавливают нескольких конструкций: элементные, горизонтальные и вертикальные кожухотрубные и горизонтальные кожухозмеевиковые.

Оросительно-испарительные конденсаторы выполняют двух конструкций: оросительные с промежуточным отбором жидкости и испарительные.

Конденсаторы воздушного охлаждения применяют главным образом в малых холодильных машинах и выполняют в виде ребристых змеевиков, обдуваемых воздухом.

Конденсатор представляет собой трубопровод, изогнутый в виде змеевика, который изготавливают из стальной трубы. Диаметр трубы 4,7–6,5 мм, толщина стенки 0,7–0,8 мм. Для увеличения площади теплоотдачи змеевик оребряют или соединяют с металлическим листом. В компрессионных холодильниках для оребрения чаще всего применяют проволоку. Конденсаторы с проволочным оребрением называют проволочно-трубными, а с металлическим – листотрубными.

**Приборы контроля и регулирования.** Современные холодильные системы должны быть максимально автоматизированы для нормальной работы с минимальным уровнем контроля со стороны человека. При этом необходимо предусмотреть устройства безопасности, отключающие систему в случае выхода каких-либо

«Эксплуатация и сервис холодильной техники», «Перспективные направления развития отечественных и зарубежных холодильных установок, систем кондиционирования воздуха и систем вентиляции помещений»

параметров в область критических значений во избежание выхода из строя отдельных узлов и агрегатов холодильной установки; автоматику поддержания температуры в охлаждаемом объёме, реагирующую на изменение теплопритоков и температуры окружающей среды, и другие системы.

***Дросселирующие устройства бытовых холодильников.*** Для оптимизации работы холодильного агрегата при изменяющихся внешних условиях испаритель должен отбирать различное количество теплоты от охлаждаемого объекта. Количество отбираемой теплоты однозначно определяет и количество хладагента в испарителе. В то же время для создания условий испарения в испарителе должно поддерживаться низкое давление и поступать столько хладагента, сколько испаряется. Следовательно, дросселирующее устройство в идеальном случае должно быть регулируемым. В дросселирующих устройствах регулирование осуществляется путем изменения проходного сечения дросселя. Однако в малых холодильниках и холодильных машинах, к которым относят и бытовые холодильники, расход хладагента небольшой и проходное сечение дроссельного отверстия должно быть 0,2–0,3 мм. Естественно, что регулировать такое отверстие в пределах плюс-минус 10 % крайне сложно. Для регулирования в бытовых холодильниках ранее применяли регулирующие вентили поплавкового типа. Вентиль имел небольшое отверстие, которое перекрывалось золотником, связанным с полым шаровым поплавком, плавающим в жидком хладагенте. Однако такое устройство сложно и ненадежно, поэтому было заменено капиллярными трубками. Капиллярные трубки изготавливают из меди длиной 1,5–5,0 м внутренним диаметром 0,8–0,85 мм. Малое сечение и большая длина трубки создают для хладагента повышенное сопротивление. Пропускную способность трубки подбирают при нормальных условиях окружающей среды. При повышении температуры окружающей среды увеличивается давление конденсации. В то же время из-за повышения противодействия производительность компрессора снижается. В этом случае компрессор будет меньше отсасывать хладагента из испарителя. Однако из-за ухудшения условий конденсации в испаритель вместе с жидким хладагентом будет проникать пар. Это приведет к увеличению давления в испарителе и, как следствие, к повышению производительности компрессора. Наличие пара в капиллярной трубке

«Эксплуатация и сервис холодильной техники», «Перспективные направления развития отечественных и зарубежных холодильных установок, систем кондиционирования воздуха и систем вентиляции помещений»

снижает ее пропускную способность. Таким образом, при повышении температуры окружающей среды производительность компрессора и пропускная способность капиллярной трубки автоматически согласовываются, но наличие пара в капиллярной трубке и на выходе испарителя уменьшает холодопроизводительность агрегата. Аналогичное явление произойдет и при снижении температуры окружающей среды.

Капиллярная трубка позволяет применять двигатель с малым пусковым моментом, так как при остановках компрессора она пропускает хладагент до уравнивания давления по всей системе. При очередном пуске противодействия компрессору в системе не будет. Капиллярная трубка надежна, проста в изготовлении, дешева.

В бытовых холодильниках используют капиллярную трубку ДКРХИ 2,1х0,8НД длиной 6 м. Капиллярную трубку градуируют по необходимости воздухом с точкой росы не выше  $-550\text{ C}$ , давление на выходе 0,785 МПа.

### Принцип работы холодильной машины

При работе холодильной машины компрессионного типа поступающий в испаритель под давлением  $P_0$  жидкий хладагент кипит при отрицательной температуре  $T_0$ , поглощая из холодильной камеры в единицу времени определенное количество тепла  $Q_0$ , называемое холодопроизводительностью машины. Пары хладагента отсасываются компрессором, обеспечивая в испарителе постоянное давление кипения  $P_0$ , и нагнетаются под давлением  $P$  в конденсатор. При  $P_k > P_0$  и температуре  $T_k$  пары хладагента конденсируются, отдавая теплоту конденсации  $Q$  окружающей среде. Жидкий хладагент далее поступает в расширительный цилиндр, где давление хладагента снижается от давления конденсации  $P$  до давления кипения в испарителе  $P_0$ . При этом совершается некоторое количество полезной работы в виде рабочего движения поршня. Поступив в испаритель под давлением  $P_0$ , жидкий хладагент вновь закипает, и теплота холодильной камеры  $Q_0$  расходуется на парообразование. Такой замкнутый цикл движения хладагента в герметичной системе машины происходит непрерывно, пока работает компрессор.

Функциональная схема паровой одноступенчатой холодильной машины представлена на рис. 2.



«Эксплуатация и сервис холодильной техники», «Перспективные направления развития отечественных и зарубежных холодильных установок, систем кондиционирования воздуха и систем вентиляции помещений»

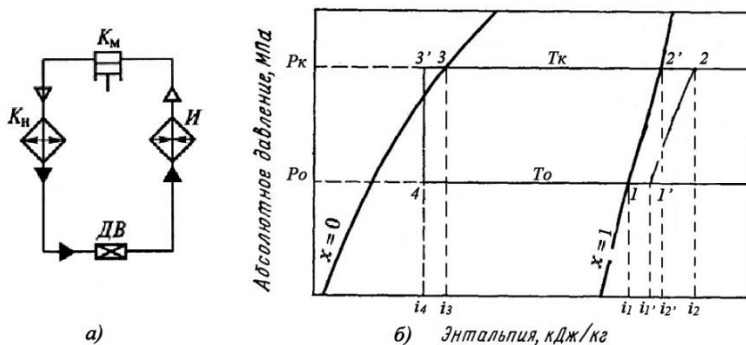


Рис. 2. Функциональная схема паровой одноступенчатой холодильной

машины с детандером и дросселем и холодильный цикл ее работы:

*а* – схема холодильной машины; *б* – диаграмма работы холодильной машины

Жидкий холодильный агент кипит в испарителе *И* при постоянной температуре  $T_k$  (процесс  $4 - 1$ ), в результате чего от охлаждаемого тела, например воздуха, отводится теплота. При кипении холодильного агента происходит поглощение значительного количества теплоты. Образовавшийся пар холодильного агента адиабатически сжимается в компрессоре *К* давления  $P_k$  (процесс  $1' - 2$ ) и поступает в конденсатор *К*, конденсируясь при постоянной температуре  $T_k$  (процесс  $2' - 3$ ) и отдавая поглощенную в испарителе теплоту окружающей среде – воздуху. Количество отведенной 1 кг холодильного агента теплоты  $Q_0$  в испарителе определяется как разность энтальпий  $i_1 - i_4$ . Количество теплоты, отданное 1 кг холодильного агента в конденсаторе, определяется разностью энтальпий  $i_2 - i_3$ . При адиабатическом дросселировании работа расширения переходит в теплоту трения, поэтому часть циркулирующего жидкого холодильного агента, пропорциональная выделенной теплоте, превращается в пар. В испаритель холодильный агент поступает в виде парожидкостной смеси. Поэтому только часть циркулирующего холодильного агента кипит в испарителе, воспринимая теплоту от охлаждаемого тела.

«Эксплуатация и сервис холодильной техники», «Перспективные направления развития отечественных и зарубежных холодильных установок, систем кондиционирования воздуха и систем вентиляции помещений»

## Экспериментальная установка холодильной машины малой мощности. Параметры и ее характеристики

Хладагент – R600a.

Напряжение в сети – 220 V.

Ток I, потребляемый компрессором (зависит от тепловой нагрузки).

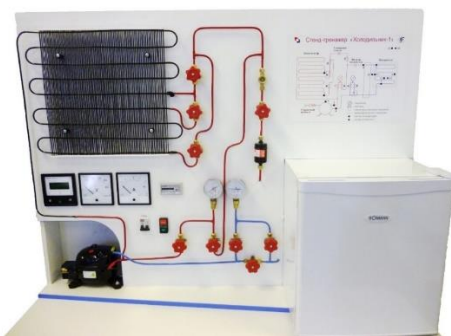


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки стенда-тренажера «Холодильник-1»

Охлаждаемая среда – воздух (источник теплоты).

Нагреваемая среда – воздух (приемник теплоты).

Давление конденсации  $P_k$ , давление на выходе из компрессора.

Давление испарения  $P_0$ , давление на входе в компрессор.

Температура конденсации  $T_k$  зависит от давления конденсации.

Температура кипения  $T_0$  зависит от давления испарения.

### Порядок выполнения работы

1. Включить вилку в розетку.
2. Поднять до щелчка вверх рычажок автомата защитного отключения.
3. Нажать кнопку «Пуск». Раздастся ощутимый щелчок контактора, вольтметр укажет напряжение электросети.
4. Повернуть ручку терморегулятора вправо до щелчка. Запущен компрессор.
5. Ручкой терморегулятора установить нужную глубину

«Эксплуатация и сервис холодильной техники», «Перспективные направления развития отечественных и зарубежных холодильных установок, систем кондиционирования воздуха и систем вентиляции помещений»

охлаждения (положения 1–6).

6. Вращая по направлению часовой стрелки, закрыть вентили Б, В, Д. Агрегат стенда работает в номинальном режиме. **Вентили А, Б и В, Г не должны быть одновременно открыты или закрыты.** Если вентиль А открыт, то вентиль Б должен быть закрыт. То же для вентилях В и Г. Если оба вентиля одного манометра открыты, то поток хладагента может пойти другим путем, нарушая нормальную работу агрегата. Если оба вентиля закрыты, то показания манометра будут оставаться теми же, что были на манометрах на момент закрытия вентилях.

7. Записать необходимые показания температуры в табл. 1.

Таблица 1

Режим работы	Без обдува	С горизонтальным обдувом	С вертикальным обдувом
Точка измерения*			
$T_1$			
$T_2$			
$T_3$			
$T_4$			
$T_5$			
$T_6$			
$T_7$			
$T_8$			

*Примечание.* \*  $T_1$  – температура на выходе из компрессора;  $T_2$  – температура в середине конденсатора;  $T_3$  – температура на выходе из конденсатора;  $T_4$  – температура жидкости перед испарителем;  $T_5$  – температура в начале испарителя;  $T_6$  – температура в середине испарителя;  $T_7$  – температура в конце испарителя;  $T_8$  – температура на входе в компрессор.

8. Включить горизонтальный обдув конденсатора.
9. Подождать 10 минут. Записать необходимые показания температуры в табл. 1.
10. Провести запись необходимых показаний температур для каждого из режимов обдува конденсатора установки.
11. Повернуть ручку терморегулятора стенда против часовой стрелки до щелчка, отключая компрессор.
12. Установить вентили Б, В, Д в закрытом режиме.
13. Нажать кнопку «Стоп».

«Эксплуатация и сервис холодильной техники», «Перспективные направления развития отечественных и зарубежных холодильных установок, систем кондиционирования воздуха и систем вентиляции помещений»

14. Рычажок автомата защитного отключения установить в положение «0- выключено».
15. Вынуть вилку шнура электропитания из розетки.
16. Рассчитать удельную работу цикла, удельную массовую холодопроизводительность и холодильный коэффициент для каждого из режимов обдува конденсатора установки, занести данные в табл. 2.

Таблица 2

Параметры/Режим	Без обдува	С горизонтальным обдувом	С вертикальным обдувом
$q_0$ , кДж/кг			
$l$ , кДж/кг			
$\varepsilon$			

17. Сравнить термодинамические характеристики при разных режимах обдува.

**Пример выполнения экспериментального расчета**

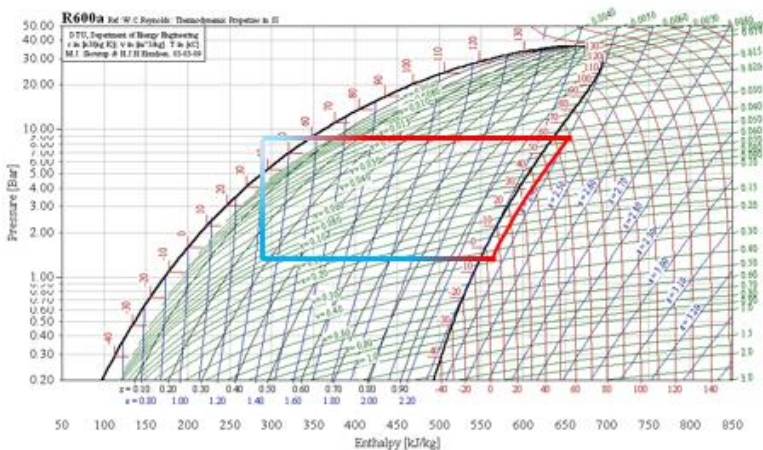


Рис. 4

1. По экспериментальным данным, взятых из табл. 1, на диаграмме хладагента R600a строим холодильный цикл при естественной (без обдува) конвекции конденсатора.
2. Из диаграммы определяем основные термодинамические характеристики цикла. Заносим эти

«Эксплуатация и сервис холодильной техники», «Перспективные направления развития отечественных и зарубежных холодильных установок, систем кондиционирования воздуха и систем вентиляции помещений»

данные в табл. 3.

Таблица 3

Параметры	Точки						
	1	2	3	4	5	6	7
P, МПа	0,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,1	0,1
T, К	280	348	343	343	318	261	261
i, кДж/кг	560	650	645	375	280	280	540
v, м <sup>3</sup> /кг	0,39						

3. Формулы для выполнения расчета:

– Удельная массовая холодопроизводительность:

$$q_0 = i_7 - i_6;$$

$$q_0 = 540 - 280 = 260 \text{ кДж/кг.}$$

– Удельная объемная холодопроизводительность:

$$q_v = q_0 / v_1;$$

$$q_v = 260 / 0,39 = 667 \text{ кДж/м}^3.$$

– Количество теплоты, отводимой от конденсатора:

$$q = i_3 - i_4;$$

$$q = 645 - 375 = 270 \text{ кДж/кг.}$$

– Работа компрессора в теоретическом адиабатном процессе сжатия:

$$l = i_2 - i_1;$$

$$l = 650 - 560 = 90 \text{ кДж/кг.}$$

– Холодильный коэффициент цикла:

$$\varepsilon = q_0 / l = 260 / 90 = 2,9.$$

### Вопросы для самоконтроля

1. Выполнить термодинамический расчет холодильной машины, работающей на фреонах: R134a, R410a.
2. Построить обратный цикл Карно. Дать его характеристику.
3. Что такое конденсатор? На какие типы делят конденсаторы?
4. Принцип работы холодильной машины. Пути усовершенствования эффективной работы холодильной машины.
5. Что входит в состав приборов контроля и регулирования работы холодильной машины?

### Экспериментальная самостоятельная работа

Одним из направлений улучшения эксплуатационных показателей холодильника является использование принципа охлаждения конденсатора с применением метода испарения влаги на его поверхности (предложен аспирантом ЮРГУЭС Ф.В. Корниенко).

Магистрантам следует провести исследование охлаждения конденсатора путем порционного увлажнения его поверхности с последующим обдувом.

Пример реализации разработанного способа обдува конденсатор представлен на рис. 5. Конденсатор выполняется таким образом, что обеспечивается постоянное увлажнение его поверхности и охлаждение при свободном конвективном теплообмене в окружающей среде.

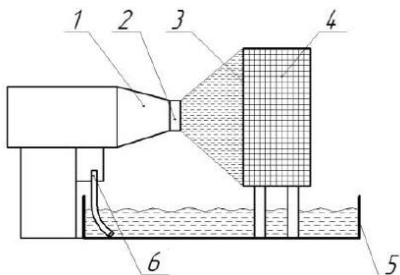


Рис.5. Схема обдуваемого испарительного конденсатора:

«Эксплуатация и сервис холодильной техники», «Перспективные направления развития отечественных и зарубежных холодильных установок, систем кондиционирования воздуха и систем вентиляции помещений»

- 1* – направляющая потока воздуха; *2* – сопла форсунок;  
*3* – обдуваемая и орошаемая поверхность; *4* – корпус конденсатора;  
*5* – поддон с водой; *6* – патрубок забора воды

Результаты этого эксперимента должны показать магистрантам, что охлаждение конденсатора снижает удельное потребление электроэнергии, увеличивает общий КПД холодильного цикла и упрощает конструкцию испарительного конденсатора.