

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. Э. Суслов

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ»
в качестве учебно-методического пособия по лабораторным работам
для студентов бакалавриата по направлению подготовки
19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 621.56

Рецензент

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инжиниринга
технологического оборудования ФГБОУ ВО «КГТУ» О. В. Агеев

Суслов, А. Э.

Холодильная техника и технологии: учеб.-методич. пособие по лабораторным работам для студ. бакалавриата по напр. подгот. 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания / А. Э. Суслов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 26 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по проведению цикла лабораторных работ по дисциплине «Холодильная техника и технологии» студентами, обучающимися по направлению подготовки 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания. Лабораторные работы предназначены для закрепления теоретического материала и изучения холодильной техники, применяющейся при производстве пищевых продуктов.

Рис. 17, таблиц 1, список лит. – 5 наименований

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 21 апреля 2022 г., протокол № 3

Учебно-методическое пособие по выполнению цикла лабораторных работ по дисциплине «Холодильная техника и технологии» рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 15 июня 2022 г., протокол № 7

УДК 621.56

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное учре-
ждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2022 г.
© Суслов А. Э., 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1 Холодильная машина с косвенной системой охлаждения	7
Лабораторная работа № 2 Холодильная машина с непосредственной системой охлаждения	9
Лабораторная работа № 3 Устройство поршневого компрессора	11
Лабораторная работа № 4 Теплообменные аппараты холодильных установок	18
Литература.....	25

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Холодильная техника и технологии» относится к модулю «Производство полуфабрикатов и кулинарных изделий» ОПОП ВО по направлению подготовки 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания.

Изучение дисциплины «Холодильная техника и технологии» студентами сопровождается проведением лабораторного практикума. Его целью является формирование знаний в вопросах устройства холодильных машин и холодильного технологического оборудования, схем холодильных установок, умений и навыков получения низких температур, использования способов охлаждения, замораживания и хранения при низких температурах пищевых продуктов, применения холода на предприятиях общественного питания.

Задачи изучения дисциплины:

- освоение понятий, методов и средств в области холодильной техники;
- формирование навыков расчета холодильных машин, изучение конструкций и схем холодильных машин и установок, морозильных аппаратов, другого холодильного оборудования;
- формирование навыков работы с различными источниками информации, анализа и обобщения необходимых сведений, связанных с выбором холодильного оборудования и с основными требованиями по его эксплуатации.

В результате освоения дисциплины происходит поэтапное формирование умений и навыков. По окончании курса студент должен:

уметь:

- пользоваться методическими и нормативными материалами, техническими условиями и стандартами при расчете холодильных установок;
- выполнять расчеты машин и аппаратов холодильных установок при заданных параметрах и тепловых нагрузках для различных технологических и производственных процессов пищевых производств;

владеть:

- методами интенсификации процессов холодильной технологии и совершенствования аппаратов холодильных установок.

Лабораторные занятия способствуют более глубокому усвоению лекционного курса, формированию навыков расчета холодильных машин, изучение конструкций и схем холодильных машин и установок, морозильных аппаратов, другого холодильного оборудования, навыков работы с различными источниками информации, анализа и обобщения необходимых сведений, связанных с выбором холодильного оборудования, с основными требованиями по его эксплуатации.

Методические указания к каждой лабораторной работе включают теоретические сведения, описание лабораторной установки, указания по организации работы, содержание отчета о выполненной работе и ее защиты.

Прежде чем приступить к выполнению работы, студенты должны изучить методические указания к ней и ознакомиться со схемой установки.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторные работы ставят своей целью изучить устройство холодильной машины, дать студентам навыки по описанию конструкции и работы машин и аппаратов, входящих в ее состав, составлению принципиальной схемы холодильной машины. Работы выполняются в лаборатории холодильных машин на базе установленных для изучения студентами машин.

Бригада студентов (3-4 человека) вначале изучает методические указания, правила охраны труда, а затем путем осмотра машин знакомится с устройством и работой машин в целом, а также изучает конструкцию машин и аппаратов, входящих в ее состав.

Изучение устройства и работы машин считается законченным после того, как студент самостоятельно оформляет индивидуальный отчет.

Всем студентам необходимо выполнить и оформить в индивидуальном отчете следующее:

1. Название и цель работы.
2. Начертить принципиальную схему изучаемой холодильной машины.
3. Записать технические характеристики холодильной машины.
4. Описать принцип ее работы.

Вся основная работа выполняется студентом в лаборатории, непосредственно на занятиях. После окончания занятий студент представляет материалы, полученные в результате работы (схемы, описания) преподавателю. Эти материалы подтверждают выполнение студентом лабораторной работы и являются основой для оформления отчета. После этого работа должна быть защищена студентом.

Отчет должен быть выполнен на листах формата А4 с одной стороны листа, в печатном варианте. Шрифт текстовой части размер – 12 (для заголовков – 14), вид шрифта – Times New Roman, интервал 1,5. Поля страницы: левое 3 см, правое 1,5 см., верхнее и нижнее 2 см. Нумерация страниц внизу справа.

Структура отчета:

- титульный лист
- содержание
- текстовая часть

- список используемой литературы.

Тематический план лабораторных работ

№ п/п	Наименование лабораторной работы	Количество часов	
		очная форма	заочная форма
1	Холодильная машина с косвенной системой охлаждения	4	2
2	Холодильная машина с непосредственной системой охлаждения	4	2
3	Устройство поршневого компрессора	4	1
4	Теплообменные аппараты холодильных установок	4	1
ИТОГО		16	6

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторных работ

Лабораторные работы проводятся в соответствии с учебным планом и расписанием учебных занятий.

На первом занятии преподаватель проводит инструктирование студентов по технике безопасности, обращая внимание на опасные моменты при проведении работ и способы их предупреждения, меры первой помощи при ожогах, поражении электрическим током и других несчастных случаях; возможные причины возникновения пожаров и способах их тушения.

В журнале инструктажа все студенты подписью подтверждают ознакомление с правилами техники безопасности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1: Холодильная машина с косвенной системой охлаждения

Цель работы: получение практических умений и навыков по работе холодильных машин при изучении холодильной машины ХМФВ-20.

Задание по лабораторной работе:

1. Изучить схему и состав холодильной машины ХМФВ-20.
2. Начертить принципиальную схему холодильной машины ХМФВ-20.
3. Описать принцип работы холодильной машины ХМФВ-20.

Теоретический материал

Одноступенчатая паровая холодильная машина состоит из компрессора 1, конденсатора 3, регулирующего вентиля 7, испарителя 6, регенеративного теплообменника 7, фильтра осушителя 10, запорной арматуры и приборов автоматики (рис. 1). Эти части соединены между собой трубопроводами в замкнутую систему, в которой благодаря работе компрессора циркулирует холодильный агент. Косвенная система охлаждения состоит из рассольного центробежного насоса, батарей, расположенных в холодильной камере, запорной арматуры соединенных последовательно трубопроводами, которые подключены к испарителю. Из испарителя холодный рассол хлористого кальция прокачивается насосом через батареи, где нагревается, забирая теплоту из воздуха камеры. Далее рассол поступает в испаритель, где охлаждается, отдавая теплоту кипящему холодильному агенту.

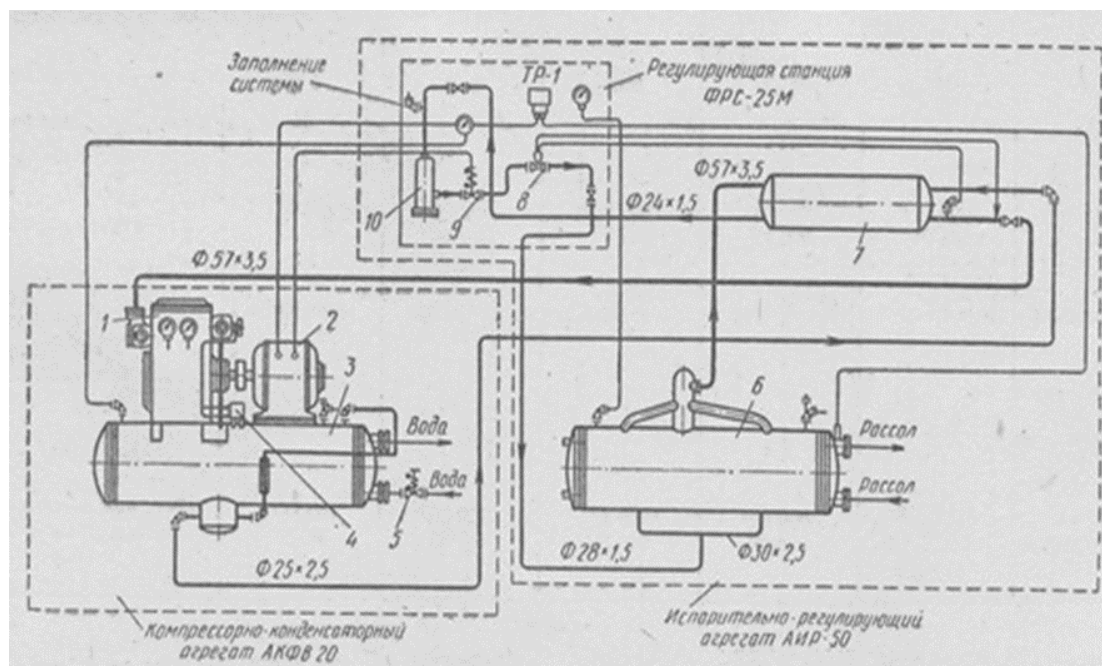


Рис. 1 Схема холодильной машины ХМФВ-20:

- 1 – компрессор, 2 – электродвигатель, 3 – конденсатор, 4 – реле давления, 5 – соленоидный вентиль, 6 – испаритель, 7 – регенеративный теплообменник, 8 – ТРВ, 9 – соленоидный вентиль, 10 – фильтр осушитель

В испаритель, непрерывно поступает жидкий холодильный агент. При пониженном давлении (давлении кипения) и соответствующей низкой температуре (температуре кипения) хладагент кипит за счет отводимой подаваемым рассолом, от охлаждаемого объекта теплоты. Парообразный холодильный агент поступает в регенеративный теплообменник, где перегревается за счет теплообмена с жидким хладоном, выходящим из конденсатора, температура которого понижается, засасывается компрессором и сжимается до высокого давления (давления конденсации). При этом его температура значительно повышается. Таким образом, за счет затраченной работы в компрессоре теплота, воспринятая хладагентом от объекта, поднимается на более высокий температурный уровень. В конденсаторе перегретые после сжатия в компрессоре пары сначала охлаждаются до температуры конденсации, а затем отдают скрытую теплоту парообразования подаваемой в конденсатор охлаждающей воде, в результате чего насыщенные пары превращаются в жидкость, которая переохлаждается до температуры ниже температуры конденсации при давлении конденсации. После этого хладагент подается через терморегулирующий вентиль (ТРВ) в испаритель.

В терморегулирующем вентиле происходит дросселирование жидкого холодильного агента от высокого давления конденсации до низкого давления кипения в испарителе. Процесс дросселирования сопровождается понижением температуры холодильного агента. Терморегулирующий вентиль, кроме того, регулирует подачу холодильного агента в испаритель, в который надо подавать столько жидкости в единицу времени, сколько ее выкипает и в виде паров, отсасываемых компрессором.

Контрольные вопросы:

1. Преимущества и недостатки косвенной системы охлаждения.
2. Области применения косвенной системы охлаждения.
3. Какие вещества применяются в качестве холодоносителей в косвенной системе охлаждения?
4. Методы и средства борьбы с коррозией в косвенных системах охлаждения.
5. Из каких двух агрегатов состоит холодильная машина ХМФВ-20?
6. Какое назначение и принцип работы ТРВ?
7. Какое назначение фильтра осушителя?
8. Какие приборы защиты имеет компрессор?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2: Холодильная машина с непосредственной системой охлаждения

Цель работы: получение практических умений и навыков по работе холодильных машин при изучении холодильной машины МВТ-20.

Задание по лабораторной работе:

1. Изучить схему и состав холодильной машины МВТ-20.
2. Начертить принципиальную схему холодильной машины МВТ-20.
3. Описать принцип работы холодильной машины МВТ-20.

Теоретический материал

Одноступенчатая паровая холодильная машина состоит из компрессора, конденсатора, регулирующего вентиля, воздухоохладителя, регенеративного теплообменника, фильтра осушителя, запорной арматуры и приборов автоматики (рис. 2). Эти части соединены между собой трубопроводами в замкнутую систему, в которой благодаря работе компрессора циркулирует холодильный агент.

В воздухоохладитель, расположенный в холодильной камере, непрерывно поступает жидкий холодильный агент. При пониженном давлении (давлении кипения) и соответствующей низкой температуре (температуре кипения) хладагент кипит за счет отводимой, от охлаждаемого объекта теплоты. Парообразный холодильный агент поступает в регенеративный теплообменник, где перегревается за счет теплообмена с жидким хладагентом, выходящим из конденсатора, температура которого понижается, засасывается компрессором и сжимается до высокого давления (давления конденсации). При этом его температура значительно повышается. Таким образом, за счет затраченной работы в компрессоре теплота, воспринятая хладагентом от объекта, поднимается на более высокий температурный уровень. В конденсаторе перегретые после сжатия в компрессоре пары сначала охлаждаются до температуры конденсации, а затем отдают скрытую теплоту парообразования подаваемой в конденсатор охлаждающей воде, в результате чего насыщенные пары превращаются в жидкость, которая переохлаждается до температуры ниже температуры конденсации при давлении конденсации. Далее жидкий холодильный агент поступает в линейный ресивер, который служит для создания запаса холодильного агента перед подачей в испаритель. После этого хладагент подается через терморегулирующий вентиль (ТРВ) в воздухоохладитель.

В терморегулирующем вентиле происходит дросселирование жидкого холодильного агента от высокого давления конденсации до низкого давления кипения в испарителе. Процесс дросселирования сопровождается понижением температуры холодильного агента. Терморегулирующий вентиль, кроме того, регу-

лирует подачу холодильного агента в воздухоохладитель, в который надо подавать столько жидкости в единицу времени, сколько ее выкипает и в виде паров, отсасываемых компрессором.

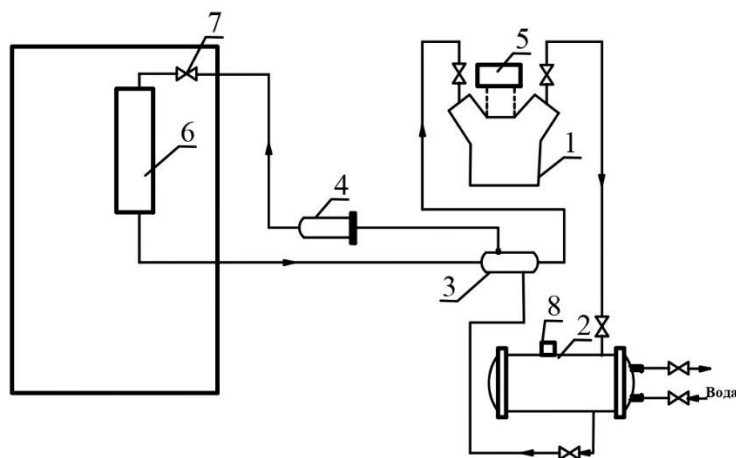


Рис. 2 Схема холодильной машины MBT-20.

- 1 – компрессор, 2– конденсатор, 3 – регенеративный теплообменник, 4 – фильтр осушитель 5 – блок автоматики, 6 – воздухоохладитель, 7 – ТРВ, 8 – предохранительный клапан

Контрольные вопросы:

1. Преимущества и недостатки непосредственной системы охлаждения.
2. Области применения непосредственной системы охлаждения.
3. Состав оборудования холодильной машины с непосредственной системой охлаждения.
4. Назначение компрессора холодильной машины.
5. Назначение терморегулирующего вентиля в холодильной машине.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3: Устройство поршневого компрессора

Цель работы: получение практических умений и навыков по работе холодильных машин при изучении конструкции холодильного компрессора.

Задание по лабораторной работе:

1. Ознакомиться с конструкцией поршневого холодильного компрессора.
2. Ознакомиться с конструкцией безсальникового холодильного компрессора.
3. Рассмотреть какие объемные и энергетические потери имеет поршневой компрессор.

Теоретический материал

Компрессоры холодильных машин

Компрессоры предназначены для отсасывания паров хладагента из испарителей, сжатия и нагнетания их в конденсаторы.

При отсасывании паров из испарителя компрессор создает в нем давление, обеспечивающее необходимую температуру кипения хладагента.

Сжатие паров необходимо для их нагрева и их последующей конденсации.

Кроме того, компрессоры обеспечивают циркуляцию хладагента в системе.

По конструктивным признакам компрессоры подразделяются на поршневые, винтовые, спиральные, ротационные и центробежные (турбокомпрессоры).

В компрессорах первых четырех типов сжатие пара происходит за счет уменьшения его начального объема. Поэтому их называют компрессорами объемного действия.

Турбокомпрессоры являются компрессорами динамического действия, поскольку сжатие пара происходит за счет ступенчатого преобразования кинетической энергии в потенциальную.

В пищевых отраслях потребности в холоде обеспечиваются поршневыми, винтовыми, спиральными и ротационными компрессорами. Причем, поршневые, спиральные и ротационные компрессоры применяются в установках с холодопроизводительностью Q_0 не более 250 кВт. Винтовые компрессоры эффективно работают в диапазоне $Q_0=250...1400$ кВт.

Турбокомпрессоры предназначены для крупных потребителей холода, таких, как нефтехимическая промышленность ($Q_0 > 1400$ кВт).

Поршневые компрессоры

В пищевой промышленности поршневые компрессоры нашли самое широкое применение в установках с холодопроизводительностью не более 250 кВт.

Классификация поршневых компрессоров

Компрессоры подразделяют:

по роду холодильного агента на аммиачные, хладоновые (фреоновые), универсальные;

по холодопроизводительности Q_0 , достигнутой при стандартном режиме работы (температура кипения – 15 °С , температура конденсации 30 °С) - на малые - Q_0 менее 12 кВт, средние - $Q_0 = 12...120$ кВт, крупные - Q_0 более 120 кВт;

по расположению цилиндров - на вертикальные (рис. 3), горизонтальные, угловые - с V- , W- , VV-образным расположением цилиндров;

по характеру движения пара через цилиндры - на прямоточные и непрямочные;

по устройству кривошипно-шатунного механизма - на бескрейцкопфные простого действия и крейцкопфные двойного действия;

по числу цилиндров - на одно- и многоцилиндровые (до 16 цилиндров);

по степени герметичности - на герметичные (рис. 4), бессальниковые со встроенными двигателями (рис. 4), сальниковые.



Рис. 3 Вертикальный компрессор

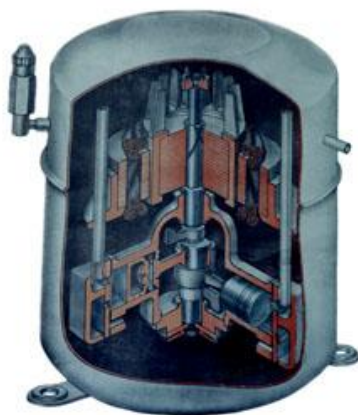


Рис. 4 Герметичный компрессор

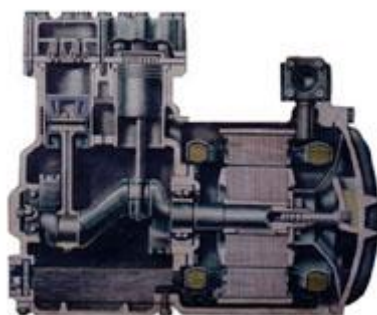


Рис. 5 Бессальниковый компрессор

Основные узлы и детали поршневых компрессоров

К основным узлам и деталям поршневых компрессоров относят корпус (раму), цилиндры, поршни, шатуны, коленчатые валы, клапаны, сальники (рис. 6-9).

Корпус сальниковых компрессоров может быть неразъемным (блок-картерным) в виде единой отливки блока цилиндров с картером и разъемным, у которых блок и картер изготовлены отдельно и соединены фланцами.

Блок-картерные компрессоры, в отличие от разъемных, имеют более жесткую конструкцию и, поэтому, являются более прочными.

Компрессоры с разъемным блоком и картером изготавливают для холодильных установок с небольшой холодопроизводительностью.

Цилиндры могут быть расточены непосредственно в блоке (в разъемных компрессорах), но чаще всего изготавливаются отдельно в виде сменных деталей- гильз, которые при значительном износе извлекаются (выпрессовываются) из блока и заменяются другими. Это существенно упрощает и удешевляет ремонт компрессора.



Рис. 6 Цилиндр непрямочного компрессора



Рис. 7 Поршни прямочного компрессора



Рис. 8 Шатун



Рис . 9 Клапаны

Объемные потери

Объемные потери, снижающие холодопроизводительность холодильной машины, в основном возникают в компрессоре.

При работе поршневого компрессора поршень никогда не подходит вплотную к крышке. Над поршнем в верхнем крайнем положении образуется так называемое «мертвое» пространство компрессора. При обратном ходе поршня оставшиеся в мертвом пространстве пары хладагента расширяются до давления в испарителе, на что будет затрачена часть хода поршня, после чего начнется процесс всасывания пара из испарителя.

Мертвое пространство изменяет рабочий процесс компрессора и приводит к значительным потерям, которые учитываются объемным коэффициентом λ_c . Однако, мертвое пространство в компрессоре необходимо: оно предохраняет компрессор от аварии при удлинении кривошипно-шатунного механизма от нагревания, а в случае «влажного хода» уменьшает опасность гидравлического удара. Величина мертвого пространства должна быть минимальной.

Гидравлические сопротивления в клапанах существенно влияют на объемные потери в компрессоре. Вследствие этих сопротивлений давление при всасывании бывает ниже, чем в испарителе на величину Δp_0 , а при нагнетании выше,

чем в конденсаторе на величину Δp_k . Падение давления при всасывании уменьшает плотность всасываемого пара и его количество.

Объемные потери вследствие сопротивления клапанов учитываются коэффициентом дросселирования $\lambda_{др}$. Потери от наличия мертвого пространства и сопротивления (депрессии) клапанов могут быть учтены совместно индикаторным коэффициентом λ_i , который равен $\lambda_i = \lambda_c \cdot \lambda_{др}$.

Потери от внутреннего теплообмена между хладагентом и стенками цилиндра также характерны для действительного компрессора.

В процессе сжатия температура пара значительно повышается и тепло от пара переходит к стенкам цилиндра, поршню и другим деталям. При всасывании, наоборот, холодный пар соприкасается с подогретыми деталями и сам перегревается. В результате в цилиндр всасывается меньше пара, так как удельный объем его при подогреве увеличивается. Отрицательное влияние внутреннего теплообмена особенно велико, если из испарителя поступает влажный пар и превращение частичек жидкости в пар внутри цилиндра уменьшает количество пара, всасываемого непосредственно из испарителя. Потеря в результате теплообмена учитывается коэффициентом подогрева λ_w . Чем больше отношение давлений p / p_0 , или чем больше диапазон температур в цилиндре от начала всасывания до конца сжатия, тем больше теплообмен между паром и стенками цилиндра. При увеличении числа оборотов коленчатого вала компрессора сокращается время хода, а значит и теплообмен. По индикаторной диаграмме потери от теплообмена определить нельзя, эти потери для разных холодильных машин могут быть определены только опытным путем.

В компрессоре имеются также потери вследствие неплотностей во всасывающих и нагнетательных клапанах, в поршневых кольцах, в сальнике и т.д. Эти потери, характеризуемые коэффициентом плотности $\lambda_{пл}$, зависят от конструкции и степени износа машины. При правильной технической эксплуатации потери от неплотности в соединениях незначительны.

Все виды объемных потерь в практических условиях учитывают коэффициентом подачи, величина которого равна

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda_{др} \cdot \lambda_w \cdot \lambda_{пл}.$$

Коэффициент подачи характеризует степень использования рабочего объема цилиндра. Его можно рассматривать как отношение объема пара, действительно всасываемого компрессором к теоретическому объему цилиндра. Или, иными словами, это отношение действительной объемной подачи к теоретической:

$$\lambda = V_d / V_h.$$

Коэффициент подачи определяют опытным путем. Он зависит от размеров компрессора, степени сжатия и отношения температур конденсации и кипения, величины мертвого пространства, перегрева пара перед всасыванием, наличия устройств для охлаждения цилиндров и других факторов. Так, применение водяной охлаждающей рубашки повышает коэффициент подачи при сухом ходе примерно на 5 %. При работе компрессора «влажным ходом» температура воды при прохождении через рубашку понижается и рабочие коэффициенты компрессора, наоборот, становятся ниже. Для определенных типов компрессоров значения λ приводят в виде графических зависимостей $\lambda = f(p_k / p_o)$, составленных по данным испытания однотипных машин.

Энергетические потери

В теоретическом процессе сжатие пара в компрессоре совершается адиабатно, а затраты на сжатие M (кг / с) пара хладагента составляют, кВт,

$$N_a = M (i_2 - i_1),$$

где i_2 , i_1 – энтальпия хладагента в конце и начале процесса сжатия.

Затраты мощности в действительном процессе отличаются от теоретической вследствие имеющих потерь. Мощность, затраченную на сжатие пара в действительном процессе, определяемую по индикаторной диаграмме, называют индикаторной и обозначают N_i .

В действительном процессе сжатия энергетические затраты увеличиваются также в результате теплообмена пара со стенками цилиндра и сопротивлению при всасывании и нагнетании. Эффективная мощность N_e , затраченная на валу компрессора, больше индикаторной на величину потерь на трение.

Соотношение между теоретической мощностью и индикаторной или эффективной устанавливается с помощью энергетических коэффициентов.

Индикаторным коэффициентом полезного действия η_i называется отношение теоретической мощности N_a к индикаторной N_i :

$$\eta_i = N_a / N_i .$$

Он связан с коэффициентом невидимых потерь λ_w' , так как затрата работы на сжатие 1 кг пара возрастает с повышением температуры начала сжатия. Его определяют по формуле И. И. Левина:

$$\eta_i = \lambda_w' + bt_o,$$

где b – эмпирический коэффициент, зависящий от типа компрессора; t_o – температура кипения в °С с соответствующим знаком.

Механическим коэффициентом полезного действия η_m называется отношение индикаторной мощности N_i к эффективной N_e :

$$\eta_m = N_i / N_e.$$

Он зависит от конструктивных особенностей, режима работы, качества монтажа и состояния компрессора.

Если компрессор соединяется с двигателем через ременную передачу, мощность на валу двигателя $N_{дв}$ будет больше эффективной мощности на величину потерь в передаче:

$$N_{дв} = N_e / \eta_{пер},$$

где $\eta_{пер}$ – коэффициент полезного действия передачи.

Эффективным коэффициентом полезного действия η_e называется отношение теоретической мощности к эффективной:

$$\eta_e = N_a / N_e = \eta_i \cdot \eta_m.$$

Контрольные вопросы:

1. Основные узлы поршневого компрессора.
2. Типы поршневых компрессоров.
3. Основные материалы деталей и узлов компрессора.
4. Конструкция клапанов компрессора.
5. Объемные потери при работе компрессора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4: Теплообменные аппараты холодильных установок

Цель работы: получение практических умений и навыков по работе холодильных машин при изучении конструкции теплообменных аппаратов холодильных установок.

Задание по лабораторной работе:

1. Изучить конструкцию различных типов конденсаторов холодильных установок.
2. Изучить конструкцию различных типов испарителей холодильных установок.

Теоретический материал

Конденсаторы с водяным охлаждением

Водяные конденсаторы применяются в установках средней и большой производительности. Конструктивно они подразделяются на кожухотрубные, кожухомеевиковые, двухтрубные, элементные, пластинчатые. Наиболее распространенными являются кожухотрубные конденсаторы.

Аммиачные кожухотрубные конденсаторы характеризуются высокой интенсивностью теплопередачи.

Устройство и принцип действия на примере упрощенной схемы (рис. 10).

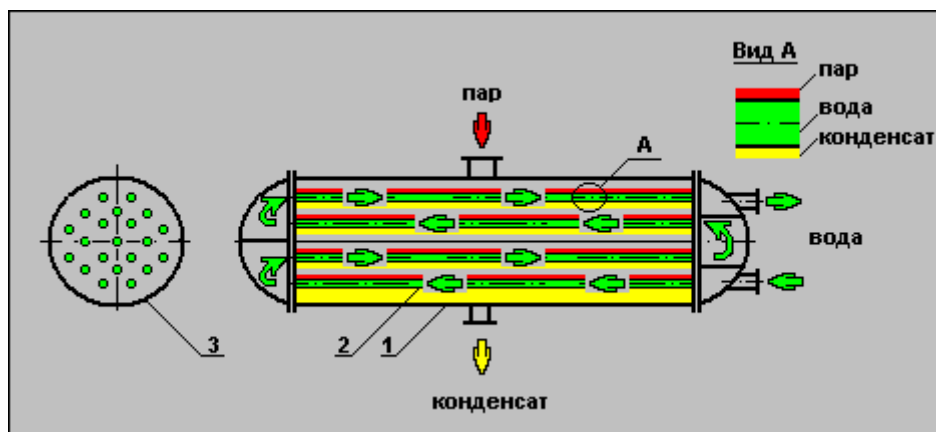


Рис. 10 Схема горизонтального кожухотрубного конденсатора

Кожухотрубный конденсатор имеет цилиндрический кожух 1 с расположенными внутри стальными продольными трубами 2, которые образуют поверхность теплообмена. Трубы вставлены в решетки 3 и для обеспечения герметичности на концах развальцованы. К корпусу при помощи фланцев крепятся боковые крышки, к которым приварены патрубки для подачи и отвода охлаждающей воды. В крышках имеются перегородки для многократного прохождения воды

вдоль конденсатора. Движение воды по трубам в одну сторону называют ходом, поэтому конденсаторы могут быть одно- и многоходовыми (рис. 11).

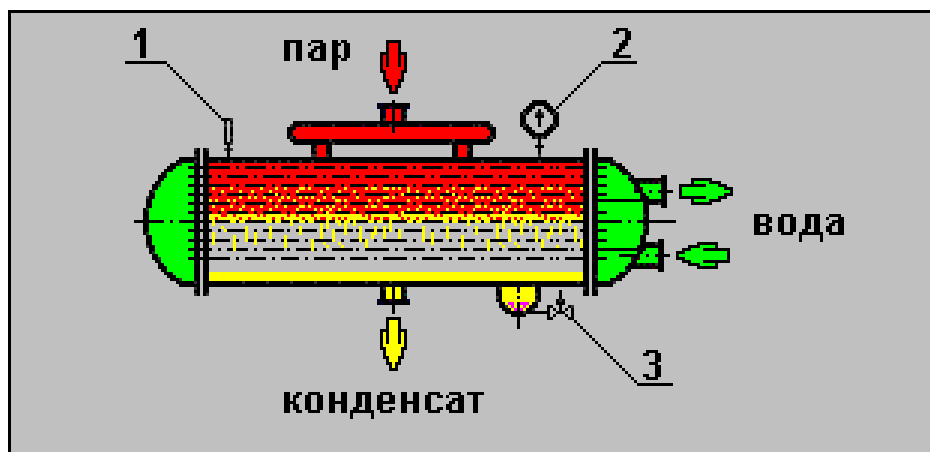


Рис. 11 Горизонтальный кожухотрубный конденсатор:

1 - предохранительный клапан, 2 – манометр, 3 - вентиль для периодического спуска масла

Горячие пары аммиака подаются в межтрубное пространство через верхний патрубок. Вода с помощью центробежного насоса подается через нижний боковой патрубок и, заполняя внутреннее сечение труб, выходит через верхний боковой патрубок. В результате теплообмена паров аммиака с водой на поверхности труб образуется конденсат в виде жидкой пленки, которая стекает и удаляется снизу. Нагрев воды составляет около 5 °С. Для повторного использования ее охлаждают в градирнях или в специальных прудах с форсунками. Воду, циркулирующую внутри предприятия, называют оборотной. По расположению труб конденсаторы бывают горизонтальные и вертикальные, причем последние предназначены для крупных установок. В вертикальных конденсаторах (рис. 12) вода подается из водораспределительного бака 1 сверху вниз одновременно через весь пучок труб. Горячие пары хладагента нагнетаются в патрубок 3, вступают в теплообмен с холодными стенками труб 2 и конденсируются. Образовавшийся жидкий хладагент стекает вниз по наружной поверхности труб и удаляется из конденсатора через патрубок 4.

Пластинчатые конденсаторы являются относительно новыми теплообменниками, применяемыми в холодильной технике. Благодаря их универсальной конструкции могут быть использованы в качестве испарителей, охладителей масла, перегретых паров хладагента и т.п. По сравнению с кожухотрубными конденсаторами пластинчатые теплообменники имеют такие преимущества, как компактность (имеют меньшую массу и габариты), более высокий коэффициент теплопередачи (в 1,5-2,5 раза), меньшая емкость (в 5-10 раз) по хладагенту, удобны в эксплуатации и ремонте. Менее подвержены загрязнению благодаря

турбулизации потока жидкости в меж пластинных каналах, способны полностью разбираться и изменять число пластин, что приводит к регулированию поверхности теплообмена.

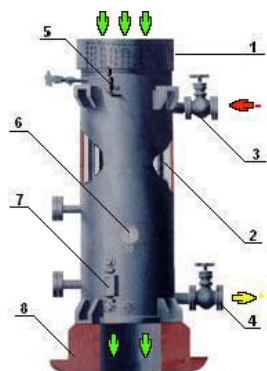


Рис. 12 Вертикальный конденсатор:

1 - водораспределительный бак, 2 - теплообменные трубки, 3 - патрубок для входа паров хладагента, 4 - патрубок для выхода сконденсированного хладагента, 5 - предохранительный клапан, 6 - манометр, 7 - указатель уровня жидкости, 8 - емкость для приема воды

Пластинчатый теплообменник (рис.13) состоит из набора гофрированных пластин, изготовленных из коррозионностойкого материала. Собранные в пакет пластины размещены между двумя нажимными плитами и стянуты болтами. Наличие на пластинах гофров обеспечивает турбулизацию потока жидкостей, что увеличивает интенсивность теплообмена, а также повышает жесткость конструкции теплообменника.

Горячие пары хладагента и холодная вода чередуются в межпластинных каналах и двигаются противотоком друг к другу. Таким образом, пар при конденсации охлаждается водой с двух сторон. Образовавшийся конденсат выводится из теплообменника через нижний канал.

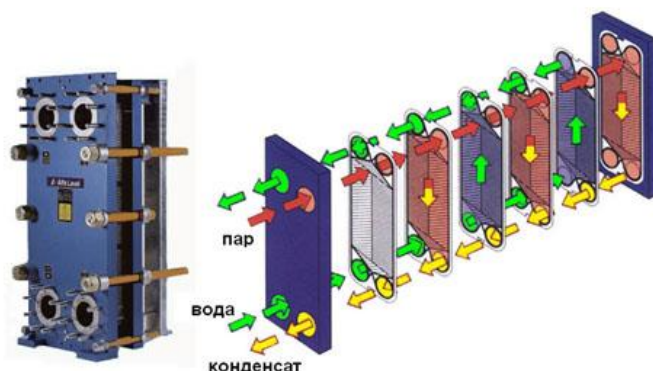


Рис.13 Пластинчатый конденсатор

Поскольку хладагент является агрессивной средой, межпластинные каналы с его стороны необходимо герметизировать. В связи с этим пластинчатые теплообменники изготавливают сварными (аммиак, хладон), меднопаянными (хладон) и полусварными (аммиак, хладон). Последние собраны из блоков-кассет, представляющих собой попарно сваренные пластины, между которыми течет хладагент (красная полость). Для герметизации кассет используются прокладки, изготовленные из устойчивых эластомеров.

Конденсаторы с воздушным охлаждением

Как известно, вода по сравнению с воздухом имеет лучшие теплофизические характеристики. Поэтому по эффективности теплообмена водяные конденсаторы превосходят воздушные. Как следствие, водяные конденсаторы имеют меньшую поверхность теплопередачи и габариты. Учитывая эти факторы, воздушные конденсаторы устанавливали, в основном, для малых и средних, хладонных машин. Причем, в тех случаях, когда водяное охлаждение обеспечить было невозможно или нецелесообразно ввиду сложности монтажа.

В настоящее время из-за повышенных экологических требований к предприятиям, дефицита воды, а также ее удорожания воздушные конденсаторы активно внедряются в крупных холодильных системах.

Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха 14...60 Вт/(м²К) при вынужденной конвекции намного меньше, чем коэффициент теплоотдачи со стороны хладона и аммиака, поэтому ребрение труб выполняют со стороны воздуха.

Различают конденсаторы со свободным и принудительным движением воздуха.



Рис.14 Воздушные конденсаторы бытовых холодильников

Конденсаторы со свободным движением воздуха установлены в агрегатах бытовых холодильников и представляют собой змеевик, вертикально закрепленный на задней стороне холодильника. С целью увеличения поверхности теплообмена в листотрубных конденсаторах (рис.14) змеевик припаян к панели. В проволочно-трубных конденсаторах к змеевику припаяны тонкие прутки (проволока), а в прокатно-сварных – змеевик образован двумя отштампованными пластинами, сваренных между собой. Горячие пары хладагента нагнетаются в верхнюю часть змеевика и, проходя его сверху вниз, конденсируются за счет теплообмена с окружающим воздухом.

Конденсаторы с принудительным движением воздуха (рис.15) изготовлены в виде параллельных ребренных змеевиков, объединенных коллекторами в единую секцию прямоугольной формы. Змеевики изготавливаются из медных или стальных труб. Секция при помощи вентиляторов активно продувается воздухом.

В малых хладонных машинах конденсаторы обычно расположены вертикально. Подача паров осуществляется через верхний коллектор, а выход жидкости осуществляется в противоположный по диагонали коллектор, связанный с ресивером.

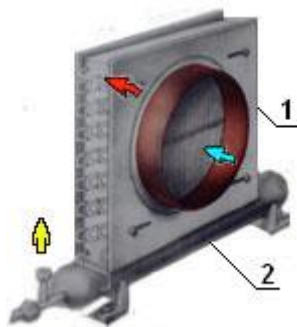


Рис.15 Воздушный конденсатор малой хладонной машины:
1 - теплообменник (вентилятор не показан), 2 – ресивер

Кожухотрубные испарители

Кожухотрубные испарители конструктивно подобны горизонтальным конденсаторам. В отличие от них аммиачные испарители имеют в верхней части корпуса отделитель жидкости. Хладоноситель подается в нижний боковой патрубков (рис. 16) и, пройдя под напором насоса через все трубы, охлаждается на 2...3 °С и выходит из теплообменника через верхний боковой патрубков. Аммиак в холодном виде подается в нижнюю часть аппарата и, забирая тепло от хладонносителя, кипит в межтрубном пространстве. Образовавшиеся в свободном пространстве (над пучком труб) пары аммиака частично перегреваются и отсасываются компрессором через отделитель жидкости 2. Перегрев паров (на 3...5 градусов) необходим для обеспечения безопасной работы компрессора, но при этом снижает интенсивность теплообмена в испарителе.

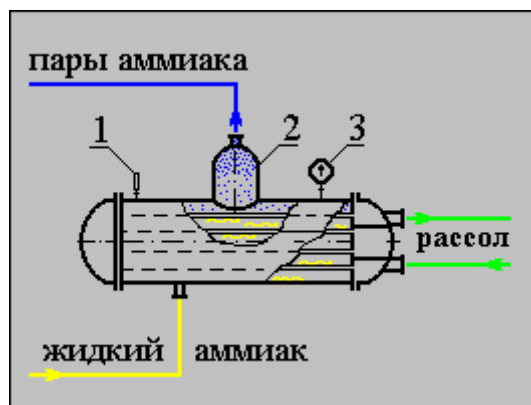


Рис.16 Схема кожухотрубного испарителя:

1 - предохранительный клапан, 2 - делитель жидкости, 3 – манометр

Кожухотрубные испарители целесообразно применять для охлаждения рассолов, так как в закрытой рассольной системе сокращается расход соли для поддержания концентрации рассола, кроме того, коррозия труб из-за отсутствия воздуха в системе значительно меньше.

К недостаткам кожухотрубных испарителей следует отнести их большую аммиакоемкость (и, как следствие, громоздкость), значительную трудоемкость работ при ремонте и обслуживании, возможность замерзания рассола в трубках и их разрыва из-за длительной остановки (поломки) насоса или недостаточного содержания соли в растворе.

Пластинчатые испарители

Пластинчатые испарители находят более широкое применение. Благодаря своей компактности они позволяют существенно (в 3-4 раза) сократить количество хладагента, заправляемого в систему охлаждения, тем самым отказаться от более емких кожухотрубных испарителей. Высокие значения коэффициента теплопередачи позволяют сократить до минимума разность между температурами кипения хладагента и хладоносителя. В кожухотрубных испарителях эта разность температур составляет 4...6 °С и поэтому является причиной снижения энергетической эффективности холодильной машины.

К преимуществам пластинчатых испарителей следует отнести их коррозионную устойчивость, что позволяет применять любые хладоносители (воду, этиленгликоли, экосолы). Применение рассолов недопустимо вследствие возникновения активных электролитических процессов, ведущих к разрушению нержавеющей стали, из которой изготовлены пластины. Пластинчатые испарители используют для охлаждения пищевых жидкостей (рис. 17).

Пластинчатые теплообменники универсальны в применении, т.е. могут выполнять функции конденсатора или испарителя. Аппараты имеют сварную, полусварную и паяную конструкцию. Последние (паяные медью) являются неразборными и предназначены для работы только с хладагентами.

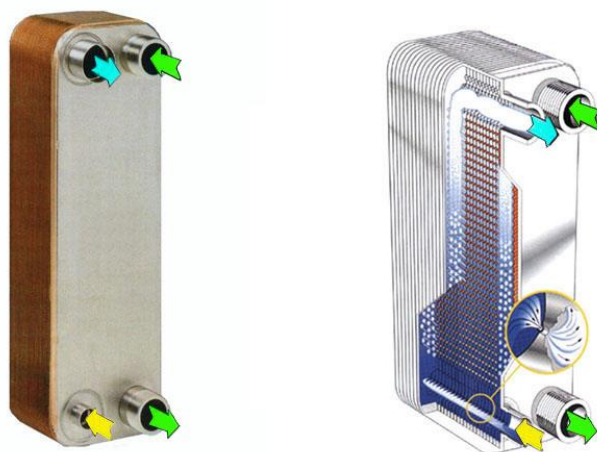


Рис. 17 Паянные испарители с интегрированной системой распределения хладагента

Подача жидкого хладагента, в отличие от конденсаторов, осуществляется снизу. Конструктивной особенностью паяных испарителей является наличие интегрированной системы распределения хладагента в межпластинных каналах. В обычных пластинчатых испарителях наблюдается неравномерное распределение жидкости по высоте. При этом в начальных межпластинных каналах создается избыток жидкости, что приводит к выбросу из теплообменника неиспарившегося хладагента, а в последующих каналах образуется ее недостаток, что вызывает чрезмерный перегрев пара. Все это в совокупности обуславливает снижение коэффициента теплопередачи, т.е. ухудшает теплообмен. Во избежание подобных явлений, в пластинах паяных теплообменников со стороны входа жидкости предусмотрены малые отверстия, которые создавая потери напора, обеспечивают равномерное распределение хладагента в каналах.

Контрольные вопросы:

1. Назначение конденсатора. Типы конденсаторов.
2. Назначение испарителя. Типы испарителей.
3. Какие преимущества и недостатки имеют пластинчатые теплообменные аппараты?

Литература

1. Абдульманов, Х. А Холодильные машины и установки, их эксплуатация: учеб. пособие / Х. А. Абдульманов, Л. И. Балыкова, И. П. Сарайкина. – Москва: Колос, 2006. – 327 с.
2. Суслов, А. Э. Холодильная техника и технология: учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению подгот. специальности 260501.65 Технология продуктов общест. питания / А. Э. Суслов, А. С. Бестужев; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2010. – 122 с.
3. Буянов, О. Н. Холодильное технологическое оборудование: учеб. пособие / О. Н. Буянов, Н. Н. Воробьёва, А. В. Усов; ред. Н. В. Шишкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2009. – 200 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141510> (дата обращения: 0.11.2020). – ISBN 978-5-89289-542-2. – Текст: электронный.
4. Технология рыбы и рыбных продуктов: учеб. / А. М. Ершов [и др.]. – Москва: КОЛОС, 2010. – 1063 с.
5. Эрлихман, В. Н. Консервирование и переработка пищевых продуктов при отрицательных температурах / В. Н. Эрлихман, Ю. А. Фатыхов; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2004. – 248 с.

Локальный электронный методический материал

Александр Эдуардович Сулов

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 1,6. Печ. л. 1,6

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1