

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Красноярский государственный аграрный университет

В.А. Самойлов, В.Н. Невзоров, А.И. Ярум

Машина для производства холода

*Методические указания для выполнения
лабораторных и практических работ*

Красноярск 2014

Рецензент

Е.Е. Ташлыкова, кандидат биологических наук,
доцент кафедры ТК и ОПШ КрасГАУ

Самойлов, В.А.

Машина для производства холода: метод. указания для выполнения лаборатор. и практ. работ / В.А. Самойлов, В.Н. Невзоров, А.И. Ярум; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014. – 15 с.

Представлена методика выполнения лабораторных и практических работ.

Предназначено для студентов специальности 151000.62 «Технологические машины и оборудование» по дисциплинам «Технологическое оборудование», «Методы научных исследований» и «Совершенствование технологического оборудования».

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Красноярского государственного аграрного университета

© Самойлов В.А., Невзоров В.Н., Ярум А.И., 2014

© Красноярский государственный аграрный университет, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР	5
2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	10
3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	12
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....	13
ЛИТЕРАТУРА.....	14

ВВЕДЕНИЕ

Процесс охлаждения пищевых продуктов условно рассматривается как отвод теплоты от тела, в котором отсутствуют внутренние источники теплоты.

Холодильные установки являются неотъемлемой частью современных технологических процессов с обработкой и хранением пищевых продуктов.

Курс «Технологические машины и оборудование» знакомит студентов с сущностью процессов, происходящих в холодильной машине, устройством, конструкциями и принципами работы основного и вспомогательного оборудования.

Методические указания по выполнению лабораторных работ позволяют студентам изучить конструкцию компрессоров, понять их основные характеристики.

Все лабораторные и практические работы выполняются в лаборатории кафедры «Технология, оборудование бродильных и пищевых производств».

1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Искусственное охлаждение представляет собой процесс переноса теплоты от тела с низкой температурой к телу с высокой температурой, осуществляемый с затратой внешней работы (энергии).

Производство холода – конечный результат процессов, совершаемых в холодильной машине (рис. 1). Тело A имеет температуру T_o , а тело B (окружающая среда) – температуру T_k , причем $T_k > T_o$; C – рабочее вещество, температура которого изменяется при изменении давления. При понижении давления (при расширении) рабочего вещества его температуру можно понизить до температуры ниже T_o . При этом рабочее вещество сможет отнять от тела A теплоту в количестве q_o . Затратив извне энергию $q_{вн}$, произведем сжатие рабочего вещества, повысив его температуру до уровня, большего, чем T_k , что сделает возможным передачу теплоты в количестве $q_o + q_{вн}$ от рабочего вещества к окружающей среде. Периодически повторяющаяся совокупность процессов «расширение-теплообмен сжатие-теплообмен-расширение», результатом которых является перенос теплоты от охлаждаемого тела (и с затратой энергии передача ее охлаждающей среде, имеющей более высокую температуру, чем охлаждаемое тело), называется обратным циклом. Перенос теплоты от тела A к телу B с минимальной затратой внешней энергии осуществляется с помощью обратного цикла Карно.

Схема обратного цикла Карно в координатах T (температура) – s (энтропия) показана на рисунке 2. Цикл состоит из следующих процессов изменения состояния рабочего вещества (холодильного агента): изотермическое отнятие теплоты q_o от охлаждаемого объекта (линия 4–1), адиабатное (без теплообмена с внешней средой) сжатие (линия 1–2), изотермический подвод теплоты ($q_o + q_{вн}$) к окружающей среде (линия 2–3) и адиабатное расширение (линия 3–4). Каждый из процессов является обратимым. Цикл будет обратимым, если в каждом процессе теплообмена разность температур охлаждаемого тела, охлаждающей среды и рабочего вещества будет бесконечно мала, а процессы расширения и сжатия совершаются без изменения энтропии. Обратный цикл Карно, состоящий только из обратимых процессов, является образцовым циклом максимальной энергетической эффективности.

Энергетическую эффективность цикла оценивают значением холодильного коэффициента ε , представляющего собой отношение отнятой от охлаждаемого объекта теплоты q_0 к затраченной внешней энергии $q_{вн}$

$$\varepsilon = q_0 / q_{вн}, \quad (1)$$

где q_0 – теплота, отнимаемая от охлаждаемого объекта 1 кг холодильного агента (удельная массовая холодопроизводительность), кДж/кг;

$q_{вн}$ – удельная внешняя энергия (удельная затраченная работа l), кДж/кг.

Выражение для определения холодильного коэффициента ε_k обратного цикла Карно можно представить в виде

$$\varepsilon_k = T_o / (T_k - T_o), \quad (2)$$

где T_o и T_k – температура охлаждаемого объекта и окружающей среды.

Холодильный коэффициент ε_k обратного цикла Карно имеет максимальное из возможных значений (для других обратных циклов) при одинаковой разности температур $T_k - T_o$.

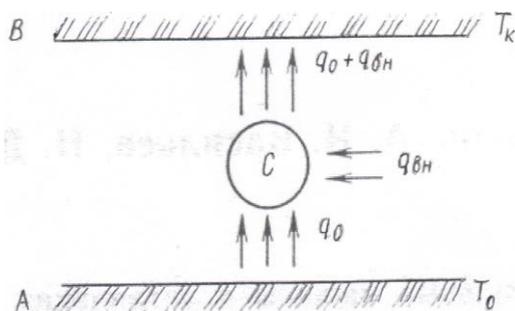


Рисунок 1 – Схема работы холодильной машин

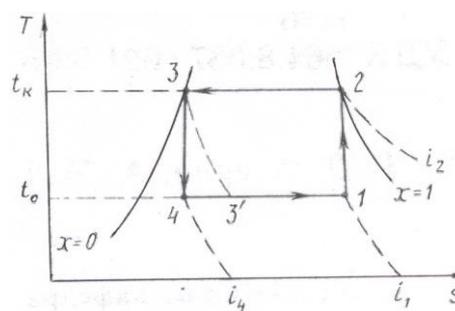


Рисунок 2 – Построение обратного цикла Карно в диаграмме s–T

Степень термодинамического совершенства цикла холодильной машины определяется путем сравнения его холодильного коэффициента ε с холодильным коэффициентом ε_k обратного цикла Карно

$$\eta = \varepsilon / \varepsilon_k < 1. \quad (3)$$

Пример 1. Определить удельную массовую холодопроизводительность q_0 , удельную теплоту q_k , отводимую в конденсаторе, а также холодильный коэффициент ε_k , если известно, что аммиачная холодильная машина работает по обратному циклу Карно, температура кипения $t_0 = -10^\circ\text{C}$, температура конденсации $t_k = +30^\circ\text{C}$.

Выполняем построение цикла в s - T -диаграмме для аммиака. Для этого сначала проводим изотерму $t_k = +30^\circ\text{C}$ (см. рис. 2) и отмечаем точки пересечения изотермы с пограничными кривыми $x = 0$ и $x = 1$ (точки 3 и 2 на рис. 2). Затем проводим изотерму $t_0 = -10^\circ\text{C}$, а из точек 3 и 2 – линии $s = \text{const}$ и находим точки пересечения этих линий с изотермой t_0 (точки 4 и 1 на рис. 2). После построения цикла графически по диаграмме или по табличным данным для аммиака определяем значения энтальпий: $i_1 = 1540,8$ кДж/кг; $i_2 = 1702,9$ кДж/кг; $i_3 = 565,3$ кДж/кг; $i_4 = 552,3$ кДж/кг.

Рассчитываем удельную массовую холодопроизводительность

$$q_0 = i_1 - i_4 = 1540,8 - 552,3 = 988,5 \text{ кДж/кг},$$

а также удельную затраченную работу

$$l = q_{\text{вн}} = q_{\text{сж}} - q_{\text{расш}},$$

где $q_{\text{сж}}$, $q_{\text{расш}}$ – удельная работа сжатия и расширения паров аммиака, кДж/кг;

$$q_{\text{сж}} = i_2 - i_1 = 1702,9 - 1540,8 = 162,1 \text{ кДж/кг};$$

$$q_{\text{расш}} = i_3 - i_4 = 565,3 - 552,3 = 13 \text{ кДж/кг};$$

$$q_{\text{вн}} = 162,1 - 13 = 149,1 \text{ кДж/кг}.$$

Подставляем известные данные и определяем теплоту q_k , отводимую в конденсаторе: $q_k = q_0 + q_{\text{вн}} = i_2 - i_3$;

$$q_k = 988,5 + 149,1 = 1137,6 \text{ кДж/кг},$$

$$\text{или } q_k = 1702,9 - 565,3 = 1137,6 \text{ кДж/кг}.$$

Холодильный коэффициент ε_k рассчитываем по формулам (1), (2)

$$\varepsilon_k = \frac{988,5}{149,1} = 6,6;$$

$$\varepsilon_k = \frac{\overbrace{73 - 10}}{\underbrace{73 + 30} - \underbrace{73 - 10}} = 6,6.$$

Пример 2. Для условий примера 1 определить, как изменится теоретический холодильный коэффициент ε , если процесс адиабатного расширения заменить изоэнтальпийным (линия 3–4 заменяется линией 3–3' на рис. 2).

При замене процесса адиабатного расширения изоэнтальпийным цикл машины изображается фигурой 1–2–3–3'–1 (см. рис. 2). Энтальпия

$$i_{3'} = i_3 = 565,3 \text{ кДж/кг.}$$

Удельная массовая холодопроизводительность определяется как разность энтальпий

$$q_0 = i_1 - i_{3'} = 1540,8 - 565,3 = 975,5 \text{ кДж/кг.}$$

Удельная затраченная работа $q_{\text{вн}}$ равна удельной работе сжатия $q_{\text{сж}}$, так как при изоэнтальпийном расширении удельная работа расширения $q_{\text{расш}} = 0$; $q_{\text{вн}} = q_{\text{сж}} = i_2 - i_1 = 162,1 \text{ кДж/кг.}$

Следовательно, теоретический холодильный коэффициент, найденный по формуле (1)

$$\varepsilon = \frac{975,5}{162,1} = 6,02.$$

Таким образом, замена адиабатного расширения изоэнтальпийным уменьшает теоретический холодильный коэффициент машины, так как уменьшается удельная массовая холодопроизводительность q_0 и увеличивается удельная затраченная работа $q_{\text{вн}}$.

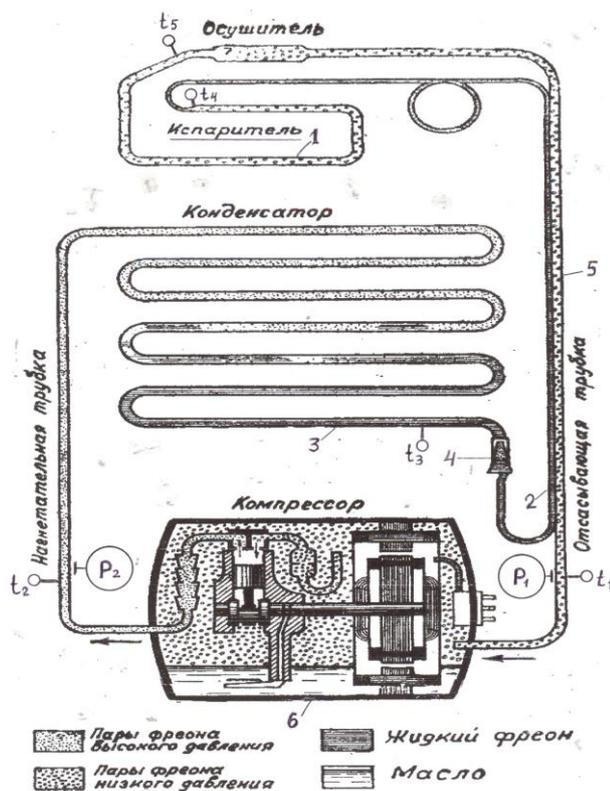


Рисунок 3 – Схема работы холодильного агрегата компрессионного типа

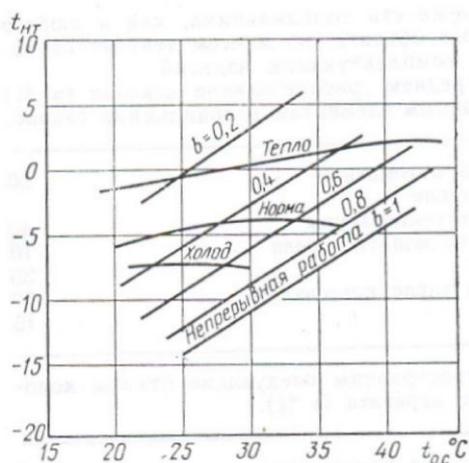


Рисунок 4 – График зависимости температур в низкотемпературном отделении холодильника с одним испарителем от температуры окружающей среды при различных коэффициентах рабочего времени и разных уставках реле температуры

При циклической работе влияние температуры окружающего воздуха на расход электроэнергии весьма существенно (рис. 4). По мере увеличения коэффициента рабочего времени в результате роста тепловой нагрузки расход энергии при циклической работе сближается с расходом при непрерывной работе компрессора. Повышение температуры окружающей среды от 20 до 40 °C вызывает увеличение расхода энергии в 2–3 раза.

Повышение температуры окружающего воздуха на 1 °C вызывает возрастание расхода электроэнергии при циклической работе в среднем на 12%.

Лабораторная работа

1. Изучить конструктивные и технические особенности холодильных устройств, применяемых в пищевой промышленности и на предприятиях общественного питания.
2. Определить преимущества и недостатки различных конструкций холодильной техники.
3. Изучить принцип работы паровой компрессионной фреоновой установки, изображенной на рисунке 3.
4. Определить экспериментально параметры холодильного агента в различных точках установки.
5. Определить холодопроизводительность и затраты энергии.
6. Полученные результаты оформить в соответствии с требованиями, предъявляемыми к лабораторным работам.

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Холодильная установка, схема которой показана на рисунке 3, укомплектована фреоновым компрессорным агрегатом бытового холодильника, приборами автоматики и измерительными приборами.

Холодильный агрегат герметического компрессионного типа рассчитан на многолетний период работы. Он состоит из поршневого компрессора, однофазного электродвигателя переменного тока, конденсатора, испарителя, системы трубопроводов, а также включает в себя пусковую, защитную и терморегулирующую автоматическую аппаратуру.

Компрессор и электродвигатель заключены в общий герметический кожух. Все соединения трубопроводов неразборные. Для уменьшения шума во время работы холодильника кожух электродвигателя и компрессора подвешены на пружинах.

Конденсатор 3 соединен трубопроводами с одной стороны с нагнетательной линией компрессора 6, с другой – через специальный фильтр 4 и длинную капиллярную трубку 2 с алюминиевым испарителем (замораживателем) 1.

Испаритель 1 соединен трубопроводом с внутренней полостью кожуха компрессора 6.

Система холодильного агрегата заполнена хладагентом-фреоном – 12. Компрессор смазывается специальным маслом, залитым в кожух. Хладагент и масло не меняются в течение всего времени эксплуатации.

Холодильный агрегат работает следующим образом: компрессор засасывает пары фреона из кожуха компрессора 6, сжимает их и нагнетает в конденсатор 3. Температура перегретого пара холодильного агента на выходе из компрессора измеряется термопарой t_2 , а его давление – манометром P_2 . В конденсаторе 3 пары фреона превращаются в жидкий фреон, который через капиллярную трубку 2 поступает в испаритель 1. Температура фреона на выходе из конденсатора 3 измеряется термопарой t_3 .

Капиллярная трубка 2 создает необходимый для работы перепад давления между конденсатором 3 и испарителем 1. На входе и выходе испарителя 1 размещены термопары t_4 и t_5 , измеряющие температуру входящего и выходящего фреона соответственно.

Так как давление в испарителе 1 ниже, чем в конденсаторе 3, поступающий в испаритель 1 жидкий фреон испаряется, отнимая тепло

от стенок испарителя и соприкасающегося с ним воздуха. Холодный пар фреона из испарителя 1 отсасываются в кожух компрессора 6, и цикл повторяется. Температура фреона, входящего в компрессор 6, измеряется термопарой t_1 , а его давление – манометром P_1 .

Для поддержания требуемого теплового режима внутри холодильной камеры холодильный агрегат работает периодически, включаясь и выключаясь при помощи автоматически действующего терморегулятора (термостата), который реагирует на изменение температуры стенки испарителя.

Для экспериментальных работ приборы автоматики настраиваются так, что при заданных режимах установка будет работать непрерывно.

Компрессор приводится в движение однофазным электродвигателем переменного тока. Электродвигатель включается пусковым реле, в одном корпусе с которым смонтировано тепловое реле, предназначенное для защиты электродвигателя от перегрузок.

Регистрация температур осуществляется автоматическим многоканальным потенциометром.

3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Включают компрессор и потенциометр в сеть.
2. Включают лентопротяжный механизм автоматического многоканального потенциометра.
3. Регистрируют каждые 2 минуты до установившегося режима:
 - давление и температуру фреона на входе и выходе из компрессора по манометрам 1 и 2, термометрам 1 и 2;
 - температуру жидкого и парообразного фреона на входе и выходе конденсатора по термометрам 2 и 3;
 - расход электроэнергии по счетчику;
 - мощность электродвигателя по ваттметру.Для данного режима сделать 4–5 замеров.
4. Произвести регистрацию параметров в установившемся режиме.
5. Полученные данные занести в таблицу.

Результаты измерений

N, кВт	A, кВт·ч	P ₁ , МПа	P ₂ , МПа	t ₁ , °C	t ₂ , °C	t ₃ , °C	t ₄ , °C	t ₅ , °C

6. Обработать опытные данные.
7. Проанализировать полученные результаты и написать отчет по работе.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Устройство и принцип работы конденсатора, испарителя и теплообменника.
2. С какой целью производят ребрение труб в конденсаторе и испарителе?
3. Как защищен конденсатор от чрезмерного повышения давления?
4. Что такое удельная холодопроизводительность холодильного агента, как она определяется?
5. Тепловая нагрузка конденсатора и ее определение.
6. Теоретический и действительный холодильные коэффициенты.
7. Как экспериментально определить потери холода?

ЛИТЕРАТУРА

1. Машины и аппараты пищевых производств [Текст] / под ред. В.А. Панфилова. – М., 2001. – 841 с.
2. Кондрашова, Н.Г. Холодильно-компрессионные машины и установки [Текст] / Н.Г. Кондрашова, Н.Г. Лашутина. – М.: Высш. шк., 1984.
3. Лашутина, Н.Г. Холодильные машины и установки [Текст] / Н.Г. Лашутина, Т.А. Верхова, В.П. Суедов. – М.: КолоС, 2007.
4. Мальгина Е.В. Холодильные машины и установки [Текст] / Е.В. Мальгина, ЮВ. Мальгин, В.П. Суедов. – М.: Пищевая промышленность, 2005.
5. Цуранов, О.А. Холодильная техника и технология [Текст] / О.А. Цуранов, А.Г. Крысин; под ред. проф. В.А. Гуляева. – СПб.: Лидер, 2004.

МАШИНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДА

*Методические указания для выполнения
лабораторных и практических работ*

Самойлов Владимир Александрович
Невзоров Виктор Николаевич
Ярум Андрей Иванович

Редактор Л.Э. Трибис

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.
Подписано в печать 19.03.2014. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.
Печать – ризограф. Усл. печ. л.1,25. Тираж 110 экз. Заказ №
Издательство Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117