

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н. И. Вавилова»

ТЕПЛО – И ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА

краткий курс лекций

для студентов 2 курса

Направление подготовки
35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продук-
ции

Профиль подготовки
Технология пищевых производств в АПК

УДК621.56/.59

ББК31.392я73

Т34

Т34 **Тепло – и холодильная техника:** краткий курс лекций для студентов 2 курса специальности (направления подготовки) 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» / Сост.: Д.Н. Катусов // ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2018. – 94 с.

ISBN

УДК621.56/.59

ББК31.392я73

© ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2018

ISBN

Введение.

Основную часть производственных процессов современной хозяйственной деятельности человека выполняют машины и аппараты – механические устройства, служащие для преобразования энергии, материалов или информации.

Для грамотного понимания технологии и принципа работы теплового и холодильного оборудования для обработки сырья растительного и животного происхождения, его эксплуатации и модернизации служит дисциплина «Тепло – и холодильная техника».

Краткий курс лекций позволяет студентам получить сведения о назначении и устройстве тепловой и холодильной техники, физических принципах получения требуемых температур, типах и циклах тепло - холодильных машин, а так же об основных и вспомогательных элементах установок. Кроме того, дисциплина направлена на изучение теоретических основ тепловой и холодильной технологии.

Курс лекций ориентирован на формирование у студентов профессиональных компетенций: «Способность реализовывать технологии хранения и переработки продукции растениеводства» и «Способность реализовывать технологии хранения и переработки продукции животноводства».

Лекция 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕПЛОТЕХНИКИ

1.1. Основные понятия и определения.

Теплотехника – наука, которая изучает методы получения, преобразования, передачи и использования теплоты, а также принципы действия и конструктивные особенности тепловых машин, аппаратов и устройств. Теплота используется во всех областях деятельности человека. Для установления наиболее рациональных способов его использования, анализа экономичности рабочих процессов тепловых установок и создания новых, наиболее совершенных типов тепловых агрегатов необходима разработка теоретических основ теплотехники.

Термодинамика базируется на двух основных законах:

I закон термодинамики - закон превращения и сохранения энергии;

II закон термодинамики – устанавливает условия протекания и направленность макроскопических процессов в системах, состоящих из большого количества частиц.

Изолированная система - т/д система не взаимодействующая с окружающей средой.

Адиабатная (теплоизолированная) система – система имеет адиабатную оболочку, которая исключает обмен теплотой (теплообмен) с окружающей средой.

Однородная система – система, имеющая во всех своих частях одинаковый состав и физические свойства.

1.2. Первый закон термодинамики.

Этот закон является законом сохранения и превращения энергии:

"Энергия не исчезает и не возникает вновь, она лишь переходит из одного вида в другой в различных физических процессах".

Для термодинамических процессов закон устанавливает взаимосвязь между теплотой, работой и изменением внутренней энергии т/д системы:

"Теплота, подведенная к системе, расходуется на изменение энергии системы и совершение работы".

Уравнение первого закона термодинамики имеет следующий вид:

$$Q = (U_2 - U_1) + L, \quad (1.1)$$

где Q - количества теплоты подведенная (отведенная) к системе;

L - работа, совершенная системой (над системой);

$(U_2 - U_1)$ - изменение внутренней энергии в данном процессе.

Если:

$Q > 0$ – теплота подводится к системе;

$Q < 0$ – теплота отводится от системы;

$L > 0$ – работа совершается системой;

$L < 0$ – работа совершается над системой.

Теплоемкость газа.

Истинная теплоемкость рабочего тела определяется отношением количества подведенной (отведенной) к рабочему телу теплоты в данном т/д процессе к вызванному этим изменениям температуры тела.

$$C = dQ / dT, [Дж / K] \quad (1.2)$$

Теплоемкость зависит от внешних условий или характера процесса, при котором происходит подвод или отвод теплоты.

Смесь идеальных газов.

Газовой смесью понимается смесь отдельных газов, вступающих между собой ни в какие химические реакции. Каждый газ (компонент) в смеси независимо от других газов полностью сохраняет все свои свойства и ведет себя так, как если бы он один занимал весь объем смеси.

Парциальное давление – это давление, которое имел бы каждый газ, входящий в состав смеси, если бы этот газ находился один в том же количестве, в том же объеме и при той же температуре, что и в смеси.

1.3. Второй закон термодинамики.

Первый закон термодинамики утверждает, что теплота может превращаться в работу, а работа в теплоту и не устанавливает условий, при которых возможны эти превращения.

Превращение работы в теплоту происходит всегда полностью. Обратный процесс превращения теплоты в работу при непрерывном её переходе возможен только при определенных условиях и не полностью. Теплота сама собой может переходить от более нагретых тел к холодным. Переход теплоты от холодных тел к нагретым сам собой не происходит. Для этого нужно затратить дополнительную энергию. Таким образом для полного анализа явления и процессов необходимо иметь кроме первого закона термодинамики еще дополнительную закономерность. Этим законом является второй закон термодинамики. Он устанавливает, возможен или невозможен тот или иной процесс, в каком направлении протекает процесс, когда достигается термодинамическое равновесие и при каких условиях можно получить максимальную работу.

Формулировки второго закона термодинамики:

Для существования теплового двигателя необходимы 2 источника – горячий источник и холодный источник (окружающая среда). Если тепловой двигатель работает только от одного источника то он называется вечным двигателем 2-го рода.

1 формулировка: *Вечный двигатель 2-го рода невозможен.*

Вечный двигатель 1-го рода это тепловой двигатель, у которого $L > Q_1$, где Q_1 - подведенная теплота.

Первый закон термодинамики дает возможность создать тепловой двигатель полностью превращающий подведенную теплоту Q_1 в работу L , т.е. $L = Q_1$.

Второй закон накладывает более жесткие ограничения и утверждает, что работа должна быть меньше подведенной теплоты ($L < Q_1$) на величину отведенной теплоты – Q_2 , т.е.:

$$L = Q_1 - Q_2. \quad (1.3)$$

Вечный двигатель 2-го рода можно осуществить, если теплоту Q_2 передать от холодного источника к горячему. Но для этого теплота самопроизвольно должна перейти от хо-

лодного тела к горячему, что невозможно. Отсюда следует 2-я формулировка: *Теплота не может самопроизвольно переходить от более холодного тела к более нагретому.* Для работы теплового двигателя необходимы 2 источника – горячий и холодный. 3-я формулировка: *Там где есть разница температур, возможно совершение работы.*

1.4. Изопроцессы идеального газа.

1). *Изохорный процесс* (Рис.1.1).

$$v = \text{Const}, v_2 = v_1. \quad (1.4)$$

Уравнение состояния процесса:

$$P_2 / P_1 = T_2 / T_1. \quad (1.5)$$

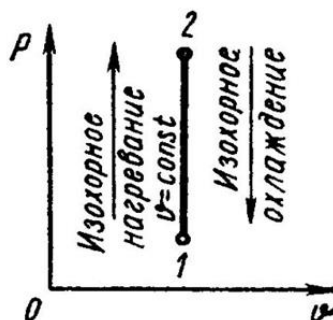


Рис. 1.1. Изохорный процесс.

2). *Изобарный процесс* (Рис.1.2).

$$P = \text{Const}, P_2 = P_1. \quad (1.6)$$

Уравнение состояния процесса:

$$v_2 / v_1 = T_2 / T_1, \quad (1.7)$$

Работа процесса:

$$l = P \cdot (v_2 - v_1). \quad (1.8)$$

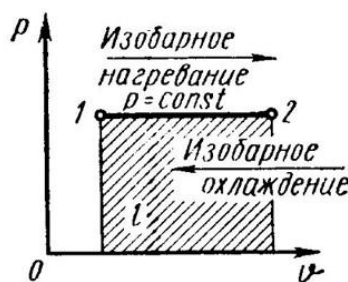


Рис. 1.2. Изобарный процесс.

3). *Изотермический процесс* (Рис. 1.3).

$$T = \text{Const}, T_2 = T_1. \quad (1.9)$$

Уравнение состояния:

$$P_1 / P_2 = v_2 / v_1, \quad (1.10)$$

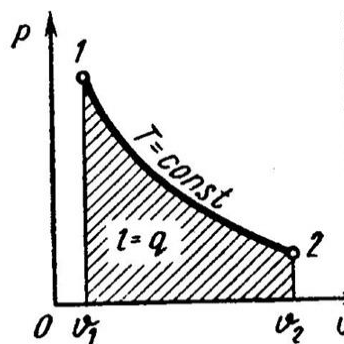


Рис. 1.3. Изотермический процесс.

4). Адиабатный процесс (Рис. 1.4).

В данном процессе не подводится и не отводится тепло, т.е. $q=0$.

Уравнение состояния:

$$p \cdot v^\lambda = \text{Const.} \quad (1.11)$$

где $\lambda = c_p / c_v$ – показатель адиабаты.

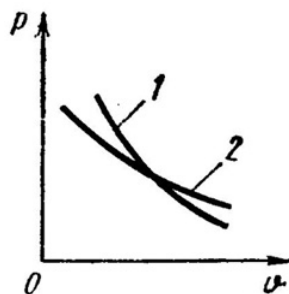


Рис. 1.4. Взаимное расположение адиабаты и изотермы.

1.5. Первый закон термодинамики для потока.

На практике при рассмотрении рабочих процессов машин, аппаратов и устройств, встречаются задачи изучения закономерностей движения рабочих тел (газов, пара и жидкостей).

Уравнение 1-го закона термодинамики для потока газа при следующих допущениях:

- движение газа по каналу установившееся и неразрывное;
- скорости по сечению, перпендикулярному оси канала, постоянны;
- пренебрегается трение частичек газа друг другу и о стенки канала;
- изменение параметров по сечению канала мало по сравнению их абсолютными значениями,

имеет вид:

$$q = \Delta u + \Delta e + l_{\text{прот.}} + l_{\text{техн.}}, \quad (1.12)$$

где $\Delta e = (w_2^2 - w_1^2)/2 + g \cdot (z_2 - z_1)$ – изменение энергии системы, состоящий из изменения кинетической и потенциальной энергий;

w_1, w_2 – скорости потока в начале и в конце канала;

z_1, z_2 – высота положения начала и конца канала.

$l_{\text{прот.}} = P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1$ – работа проталкивания, затрачиваемая на движения потока;

$l_{\text{техн.}}$ – техническая (полезная) работа.

1.6. Критическое давление и скорость. Сопло Лавalia.

Если при перемещении газа по каналу происходит его расширение с уменьшением давления и увеличением скорости, то такой канал называется *соплом*.

Если в канале происходит сжатие рабочего тела с увеличением его давления и уменьшением скорости, то такой канал называют *диффузором*.

В каналах при небольшой разности давлений газа и внешней среды скорость течения рабочего тела достаточно большая. В большинстве случаев длина канала небольшая и процесс теплообмена между стенкой и газом незначителен, поэтому процесс истечения газа можно считать адиабатным.

Скорость истечения (на выходе канала) определяется из уравнения:

$$w = w_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)}. \quad (2.1)$$

Массовый секундный расход идеального газа зависит от площади выходного канала, начального состояния газа и степени его расширения.

Критическим давлением называется такое давление на выходном сечении канала, при котором достигается максимальный расход газа и определяется следующим выражением:

$$P_K = P_2 = \beta_K \cdot P_1, \quad (2.2)$$

где: $P_K = (2/(\gamma + 1))^{\gamma/(\gamma-1)}$.

для одноатомных газов: $\gamma = 1,66$ и $\beta_K = 0,49$;

Критической скоростью называется скорость газа в выходном сечении канала, при давлении равном или меньшем критического - P_K .

Критическая скорость зависит при истечении идеального газа только от начальных параметров, его природы и равна скорости звука газа (a) при критических параметрах.

$$w_K = a = \sqrt{\gamma \cdot P_K \cdot x_K}. \quad (2.3)$$

Комбинированное сопло Лавalia предназначено для использования больших перепадов давления и для получения скоростей истечения, превышающих критическую или скорость звука. Сопло Лавalia состоит из короткого суживающегося участка и расширяющейся конической насадки (Рис.2.1). Опыты показывают, что угол конусности расширяющейся части должен быть равен $\alpha = 8-12^\circ$. При больших углах наблюдается отрыв струи от стенок канала.

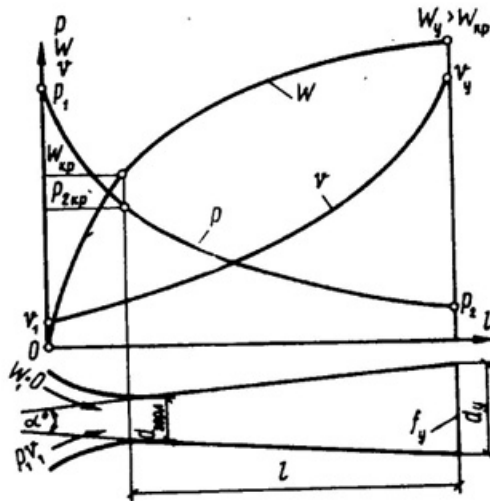


Рис.2.1. Графики изменения P , w и v при истечении через комбинированное сопло.

Длину расширяющейся части сопла можно определить из уравнения:

$$l = (D - d) / 2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi/2), \quad (2.4)$$

где: φ - угол конусности сопла;

D - диаметр выходного отверстия;

d - диаметр сопла в минимальном сечении.

1.7. Дросселирование.

Дросселированием называется явление, при котором пар или газ переходит с высокого давления на низкое без совершения внешней работы и без подвода или отвода теплоты. Такое явление происходит в трубопроводе, где имеется место сужения проходного канала (Рис. 6). При таком сужении, вследствие сопротивлений, давление за местом сужения - P_2 , всегда меньше давления перед ним - P_1 .

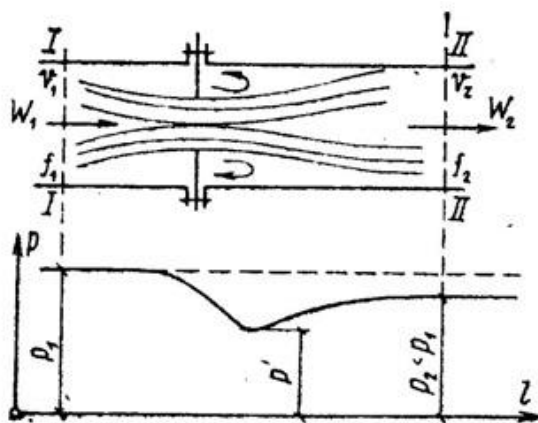


Рис. 2.2. Дросселирование газов.

Любой кран, вентиль, задвижка, клапан и прочие местные сопротивления, уменьшающие проходное сечение трубопровода, вызывают дросселирование газа или пара, сле-

довательно, падение давления. В большинстве случаев это явление приносит вред. Но иногда оно является необходимым и создается искусственно (в холодильных установках).

При прохождении газа через отверстие, кинетическая энергия газа и его скорость в узком сечении возрастают, что сопровождается падением температуры и давления.

Газ, протекая через отверстие, приходит в вихревое движение. Часть его кинетической энергии затрачивается на образование этих вихрей и превращается в теплоту. Кроме того, в теплоту превращается и работа, затраченная на преодоление сопротивлений (трение). Вся эта теплота воспринимается газом, в результате чего температура его изменяется (уменьшается или увеличивается).

В отверстие скорость газа увеличивается. За отверстием газ опять течет по полному сечению и скорость его вновь понижается. А давление увеличивается, но до начального значения оно не поднимается; некоторое изменение скорости произойдет в связи с увеличением удельного объема газа от уменьшения давления.

Дросселирование является необратимым процессом, при котором происходит увеличение энтропии и уменьшение работоспособности рабочего тела.

При дросселировании реальных газов энтальпия газа остается постоянной, энтропия и объем увеличиваются, давление падает, а температура изменяется (увеличивается, уменьшается или остается неизменной).

1.8. Свойства реальных газов.

Реальные газы отличаются от идеальных газов тем, что молекулы этих газов имеют объемы и связаны между собой силами взаимодействия, которые уменьшаются с увеличением расстояния между молекулами. При практических расчетах различных свойств реальных газов наряду с уравнением состояния применяется отношение:

$$P \cdot v / (R \cdot T) = c, \quad (2.5)$$

где c - коэффициент сжимаемости.

Так как для идеальных газов при любых условиях $P \cdot v = R \cdot T$, то для этих газов $c = 1$. Тогда величина коэффициента сжимаемости выражает отклонение свойств реального газа от свойств идеального. Величина c для реальных газов в зависимости от давления и температуры может принимать значения больше или меньше единицы и только при малых давлениях и высоких температурах она практически равна единице. Тогда реальные газы можно рассматривать как идеальные.

В связи с отличием свойств реального газа от свойств идеального газа нужно иметь новые уравнения состояния, которые связывали бы значения P , v , T и давали бы возможность рассчитывать некоторые свойства газов для разных условий.

Тогда расчетное уравнение имеет вид:

$$P \cdot v = R \cdot (1 - A/v - B/v^2), \quad (2.6)$$

где A и B - первый и второй вириальные коэффициенты, являющиеся функцией только температуры.

1.9. Понятия о водяном паре.

Одним из распространенным рабочим телом в паровых турбинах, паровых машинах, в атомных установках, теплоносителем в различных теплообменниках является водяной пар.

Пар - газообразное тело в состоянии, близкое к кипящей жидкости.

Парообразование – процесс превращения вещества из жидкого состояния в парообразное.

Испарение – парообразование, происходящее всегда при любой температуре с поверхности жидкости.

При некоторой определенной температуре, зависящей от природы жидкости и давления, под которым она находится, начинается парообразование во всей массе жидкости. Этот процесс называется *кипением*.

Обратный процесс парообразования называется *конденсацией*. Она также протекает при постоянной температуре.

Процесс перехода твердого вещества непосредственно в пар называется *сублимацией*. Обратный процесс перехода пара в твердое состояние называется десублимацией.

При испарении жидкости в ограниченном пространстве (в паровых котлах) одновременно происходит обратное явление – *конденсация пара*. Если скорость конденсации станет равной скорости испарения, то наступает динамическое равновесие. Пар в этом случае имеет максимальную плотность и называется насыщенным паром.

Если температура пара выше температуры насыщенного пара того же давления, то такой пар называется перегретым. Разность между температурой перегретого пара и температурой насыщенного пара того же давления называется степенью перегрева. Так как удельный объем перегретого пара больше удельного объема насыщенного пара, то плотность перегретого пара меньше плотности насыщенного пара. Поэтому перегретый пар является ненасыщенным паром.

В момент испарения последней капли жидкости в ограниченном пространстве без изменения температуры и давления образуется *сухой насыщенный пар*. Состояние такого пара определяется одним параметром - давлением.

Механическая смесь сухого и мельчайших капелек жидкости называется *влажным паром*.

1.10. Характеристики влажного воздуха.

Атмосферный воздух, в основном состоящий из кислорода, азота, углекислого газа, содержит всегда некоторое количество водяного пара.

Смесь сухого воздуха и водяного пара называется *влажным воздухом*.

Влажный воздух при данном давлении и температуре может содержать разное количество водяного пара. Если смесь состоит из сухого воздуха и насыщенного водяного пара, то его называют насыщенным влажным воздухом. В этом случае во влажном воздухе находится максимально возможное для данной температуры количество водяного пара. При охлаждении этого воздуха, будет происходить конденсация водяного пара. Парциальное давление водяного пара в этой смеси равно давлению насыщения при данной температуре.

Если влажный воздух содержит при данной температуре водяной пар в перегретом состоянии, то он будет называться *ненасыщенным*. Так как в нем находится не максимально возможное для данной температуры количество водяного пара, то он способен к дальнейшему увлажнению. Поэтому такой воздух используют в качестве сушильного агента в различных сушильных установках.

По *закону Дальтона* общее давление влажного воздуха равно сумме парциальных давлений сухого воздуха и водяного пара, входящих в его состав:

$$P = P_B + P_{\text{п}}, \quad (2.7)$$

где: P_B – парциальное давление сухого воздуха;
 P_{Π} – парциальное давление водяного пара.

Максимальное значение P_{Π} при данной температуре влажного воздуха t представляет собой давление насыщенного водяного пара – P_H .

Для нахождения парциального давления пара пользуются специальным прибором – гигрометром. С помощью этого прибора определяют точку росы, т.е. температуру (t_p), до которой нужно охладить при постоянном давлении воздух, чтобы он стал насыщенным. Зная точку росы, можно по таблицам определить парциальное давление пара в воздухе как давление насыщения (P_H), соответствующее точки росы t_p .

Абсолютной влажностью воздуха называется количество водяных паров, находящихся в 1 м^3 влажного воздуха. Абсолютная влажность равна плотности пара при его парциальном давлении и температуре воздуха – t_n .

Отношение абсолютной влажности ненасыщенного воздуха при данной температуре к абсолютной влажности насыщенного воздуха при той же температуре называется относительной влажностью.

Вопросы для самоконтроля

1. Первый закон термодинамики.
2. Теплоемкость газа.
3. Газовая смесь.
4. Парциальное давление.
5. Второй закон термодинамики.
6. Изохорный процесс.
7. Изобарный процесс.
8. Изотермический процесс.
9. Адиабатный процесс.
10. Диффузор.
11. Критическое давление.
12. Критическая скорость.
13. Сопло Лаваля.
14. Дросселирование.
15. Парообразование.
16. Испарение.
17. Сублимация.
18. Конденсация.
19. Закон Дальтона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Круглов, Г.А. Теплотехника. Практический курс [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова, М.В. Андреева. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 192 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/96253>. (дата обращения 29.03.2018г.).

Дополнительная

1. Александров А.А. Теплотехника: учебник для вузов / [А. А. Александров, А. М. Архаров и др.] ; под общ. ред. А. М. Архарова, В. Н. Афанасьева. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. — 876, с. : ил. ISBN 978-5-7038-4346-8

Лекция 2

Основы теории теплообмена.

2.1. Основные понятия и определения.

Теория теплообмена изучает процессы распространения теплоты в твердых, жидких и газообразных телах. Перенос теплоты может передаваться тремя способами:

- теплопроводностью;
- конвекцией;
- излучением (радиацией).

Процесс передачи теплоты *теплопроводностью* происходит при непосредственном контакте тел или частицами тел с различными температурами и представляет собой молекулярный процесс передачи теплоты. При нагревании тела, кинетическая энергия его молекул возрастает и частицы более нагретой части тела, сталкиваясь с соседними молекулами, сообщают им часть своей кинетической энергии.

Конвекция – это перенос теплоты при перемещении и перемешивании всей массы неравномерно нагретых жидкости или газа. При этом, перенос теплоты зависит от скорости движения жидкости или газа прямо пропорционально. Этот вид передачи теплоты сопровождается всегда теплопроводностью. Одновременный перенос теплоты конвекцией и теплопроводностью называется *конвективным теплообменом*.

В инженерных расчетах часто определяют конвективный теплообмен между потоками жидкости или газа и поверхностью твердого тела. Этот процесс конвективного теплообмена называют *конвективной теплоотдачей* или просто *теплоотдачей*.

Процесс передачи теплоты внутренней энергии тела в виде электромагнитных волн называется *излучением (радиацией)*. Этот процесс происходит в три стадии: превращение части внутренней энергии одного из тел в энергию электромагнитных волн, распространение э/м волн в пространстве, поглощение энергии излучения другим телом. Совместный теплообмен излучением и теплопроводностью называют *радиационно-кондуктивным теплообменом*.

Совокупность всех трех видов теплообмена называется *сложным теплообменом*.

Процессы теплообмена могут происходить в различных средах: чистых веществах и разных смесях, при изменении и без изменения агрегатного состояния рабочих сред и т.д. В зависимости от этого теплообмен протекает по разному и описывается различными уравнениями.

Процесс переноса теплоты может сопровождаться переносом вещества (*массообмен*). Например испарение воды в воздух, движение жидкостей или газов в трубопроводах и т.п. и т.д. Тогда процесс теплообмена усложняется, так как теплота дополнительно переносится с массой движущегося вещества.

2.2. Температурное поле. Уравнение теплопроводности.

Будем рассматривать только однородные и *изотропные* тела, т.е. такие тела, которые обладают одинаковыми физическими свойствами по всем направлениям. При передаче теплоты в твердом теле, температура тела будет изменяться по всему объему тела и во времени. Совокупность значений температуры в данный момент времени для всех точек изучаемого пространства называется *температурным полем*:

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (2.1)$$

где: t – температура тела;
 x, y, z – координаты точки;
 τ – время.

Такое температурное поле называется *нестационарным* $\partial t / \partial \tau \neq 0$, т.е. соответствует неустановившемуся тепловому режиму теплопроводности.

Если температура тела функция только координат и не изменяется с течением времени, то температурное поле называется *стационарным*:

$$t = f(x, y, z), \quad \partial t / \partial \tau = 0 \quad (2.2)$$

Изотермической поверхностью называется поверхность тела с одинаковой температурой.

Количество теплоты, проходящее через изотермическую поверхность F в единицу времени называется *тепловым потоком* – Q , [Вт=Дж/с].

Тепловой поток, проходящий через единицу площади называют *плотностью теплового потока* [Вт/м²]:

$$q = Q / F, \quad (2.3)$$

Для твердого тела уравнение теплопроводности подчиняется *закону Фурье*: Тепловой поток, передаваемая теплопроводность, пропорциональна градиенту температуры и площади сечения, перпендикулярного направлению теплового потока.

$$Q = -\lambda \cdot F \cdot dt/dn, \quad (2.4)$$

Коэффициент теплопроводности является физическим параметром вещества, характеризующим способность тела проводить теплоту, Она зависит от рода вещества, давления и температуры. Также на её величину влияет влажность вещества. Для большинства веществ коэффициент теплопроводности определяются опытным путем и для технических расчетов берут из справочной литературы.

2.3. Стационарная теплопроводность через плоскую стенку.

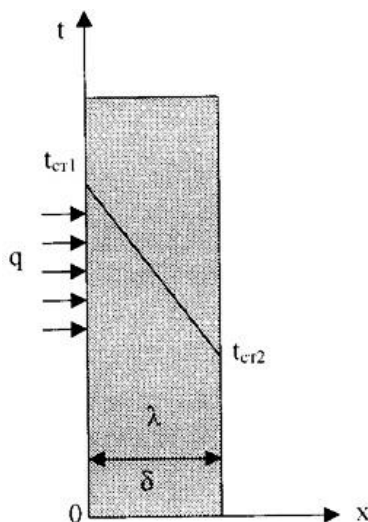


Рис.2.1. Однородная плоская стенка

Температуры поверхностей стенки – t_{ct1} и t_{ct2} .

$$q = (t_{ct1} - t_{ct2})/R. \quad (2.5)$$

где $R = \delta/\lambda$ – термическое сопротивление теплопроводности стенки [(м²·К)/Вт].

Общее количество теплоты, которое передается через поверхность F за время τ :

$$Q = q \cdot F \cdot \tau = (t_{ct1} - t_{ct2}) / R \cdot F \cdot \tau . \quad (2.6)$$

Температура тела в точке с координатой x находится по формуле:

$$t_x = t_{ct1} - (t_{ct1} - t_{ct2}) \cdot x / \delta . \quad (2.7)$$

2.4. Факторы, влияющие на конвективный теплообмен.

Конвективным теплообменом называется одновременный перенос теплоты конвекцией и теплопроводностью.

В инженерных расчетах часто определяют конвективный теплообмен между потоками жидкости или газа и поверхностью твердого тела. Этот процесс конвективного теплообмена называют *конвективной теплоотдачей* или просто *теплоотдачей*.

Основными факторами, влияющими на процесс теплоотдачи являются следующие:

1). *Природа возникновения движения жидкости вдоль поверхности стенки.*

Самопроизвольное движение жидкости (газа) в поле тяжести, обусловленное разностью плотностей её горячих и холодных слоев, называют *свободным движением (естественная конвекция)*.

Движение, создаваемое вследствие разности давлений, которые создаются насосом, вентилятором и другими устройствами, называется *вынужденным (вынужденная конвекция)*.

2). *Режим движения жидкости.*

Упорядоченное, слоистое, спокойное, без пульсаций движение называется *ламинарным*.

Беспорядочное, хаотическое, вихревое движение называется *турбулентным*.

3). *Физические свойства жидкостей и газов.*

Большое влияние на конвективный теплообмен оказывают следующие физические параметры: коэффициент теплопроводности (λ), удельная теплоемкость (c), плотность (ρ), коэффициент температуропроводности ($a = \lambda / c \cdot \rho$), коэффициент динамической вязкости (μ) или кинематической вязкости ($\nu = \mu / \rho$), температурный коэффициент объемного расширения ($\beta = 1/T$).

4). *Форма (плоская, цилиндрическая), размеры и положение поверхности (горизонтальная, вертикальная).*

25. Закон Ньютона-Рихмана.

Процесс теплообмена между поверхностью тела и средой описывается законом Ньютона-Рихмана, которая гласит, что количество теплоты, передаваемая конвективным теплообменом прямо пропорционально разности температур поверхности тела (t_{ct}) и окружающей среды ($t_{ж}$):

$$Q = \alpha \cdot (t_{ct} - t_{ж}) \cdot F, \quad (2.8)$$

или

$$q = \alpha \cdot (t_{ct} - t_{ж}), \quad (2.9)$$

где: коэффициент теплоотдачи [$\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$], характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой.

Факторы, которые влияют на процесс конвективного теплообмена, включают в этот коэффициент теплоотдачи.

Для определения коэффициента теплоотдачи применяют экспериментальный метод исследования.

Достоинством экспериментального метода является: достоверность получаемых результатов; основное внимание можно сосредоточить на изучении величин, представляющих наибольший практический интерес.

Основным недостатком этого метода является, что результаты данного эксперимента не могут быть использованы, применительно к другому явлению, которое в деталях отличается от изученного. Поэтому выводы, сделанные на основании анализа результатов данного экспериментального исследования, не допускают распространения их на другие явления. Следовательно, при экспериментальном методе исследования каждый конкретный случай должен служить самостоятельным объектом изучения.

2.6. Тепловое излучение.

Лучистая энергия возникает за счет энергии других видов в результате сложных молекулярных и внутриатомных процессов. Природа всех лучей одинакова. Они представляют собой распространяющиеся в пространстве электромагнитные волны. Источником теплового излучения является внутренняя энергия нагретого тела. Количество лучистой энергии в основном зависит от физических свойств и температуры излучающего тела. Электромагнитные волны различаются между собой длиной волны.

В зависимости от длины волны λ лучи обладают различными свойствами. Из всех лучей наибольший интерес для теплопередачи представляют тепловые лучи с $\lambda = (0,8 - 40) \text{ мк}$.

Лучеиспускание свойственно всем телам, и каждое из них излучает и поглощает энергию непрерывно, если температура его не равна 0°К . При одинаковых или различных температурах между телами, расположенными как угодно в пространстве, существует непрерывный лучистый теплообмен.

При температурном равновесии тел количество отдаваемой лучистой энергии будет равно количеству поглощаемой лучистой энергии. Спектр излучения большинства твердых и жидких тел непрерывен. Эти тела испускают лучи всех длин волн от малых до больших.

Спектр излучения газов имеет линейчатый характер. Газы испускают лучи не всех длин волн. Такое излучение называется *селективным* (избирательным). Излучение газов носит объемный характер.

Суммарное излучение с поверхности тела по всем направлениям полусферического пространства и по всем длинам волн спектра называется *интегральным* или *полным лучистым потоком* (Q).

Интегральный лучистый поток, излучаемый единицей поверхности по всем направлениям, называется *излучательной способностью* тела и обозначается:

$$E = dQ / dF, [\text{Вт/м}^2]. \quad (2.10)$$

где dQ - элементарный лучистый поток, испускаемый элементом поверхности dF .

Каждое тело способно не только излучать, но и отражать, поглощать и пропускать через себя падающие лучи от другого тела. Если обозначить общее количество лучистой энергии, падающей на тело, через Q , то часть энергии, равная A , поглотится телом, часть, равная R , отразится, а часть, равная D , пройдет сквозь тело. Отсюда

$$Q = Q_A + Q_R + Q_D, \quad (2.11)$$

или

$$A + R + D = 1. \quad (2.12)$$

Величину A называют *коэффициентом поглощения*. Он представляет собой отношение поглощенной лучистой энергии ко всей лучистой энергии, падающей на тело.

Величину R называют *коэффициентом отражения*. R есть отношение отраженной лучистой энергии ко всей падающей. Величину D называют *коэффициентом проницаемости*. D есть отношение прошедшей сквозь тело лучистой энергии ко всей лучистой энергии, падающей на тело. Для большинства твердых тел, практически не пропускающих сквозь себя лучистую энергию, $A + R = 1$. Если поверхность поглощает все падающие на нее лучи, т. е. $A = 1$, $R = 0$ и $D = 0$, то такую поверхность называют *абсолютно черной*. Если поверхность отражает полностью все падающие на нее лучи, то такую поверхность называют *абсолютно белой*. При этом $R = 1$, $A = 0$, $D = 0$. Если тело *абсолютно проницаемо* для тепловых лучей, то $D = 1$, $R = 0$ и $A = 0$. В природе абсолютно черных, белых и прозрачных тел не существует, тем не менее понятие о них является очень важным для сравнения с реальными поверхностями.

Кварц для тепловых лучей непрозрачен, а для световых и ультрафиолетовых лучей прозрачен. Каменная соль прозрачна для тепловых лучей и непрозрачна для ультрафиолетовых лучей. Оконное стекло прозрачно для световых лучей, а для ультрафиолетовых и тепловых почти непрозрачно. Белая поверхность (ткань, краска) хорошо отражает лишь видимые лучи, а тепловые лучи поглощает также хорошо, как и темная. Таким образом, свойство тел поглощать или отражать тепловые лучи зависят в основном от состояния поверхности, а не от ее цвета.

Если поверхность отражает лучи под тем же углом, под которым они падают на нее, то такую поверхность называют *зеркальной*. Если падающий луч при отражении расщепляется на множество лучей, идущих по всевозможным направлениям, то такое отражение называют *диффузным* (например поверхность мела).

При исследовании лучистых потоков большое значение имеет распределение лучистой энергии, испускаемой абсолютно черным телом по отдельным длинам волн спектра.

Вопросы для самоконтроля

1. Теплопроводность.
2. Конвекция.
3. Теплоотдача.
4. Излучение.
5. Температурное поле.
6. Закон Фурье.
7. Конвективный теплообмен.
8. Закон Ньютона-Рихмана.
9. Лучистая энергия.
10. Излучательная способность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Круглов, Г.А. Теплотехника. Практический курс [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова, М.В. Андреева. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 192 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/96253>. (дата обращения 29.03.2018г.).

Дополнительная

1. Александров А.А. Теплотехника: учебник для вузов / [А. А. Александров, А. М. Архаров и др.] ; под общ. ред. А. М. Архарова, В. Н. Афанасьева. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. — 876, с. : ил. ISBN 978-5-7038-4346-8

Лекция 3

Теплопередача. Применение тепла.

3.1. Теплопередача через плоскую стенку.

Теплопередачей называется передача теплоты от горячего теплоносителя к холодному теплоносителю через стенку, разделяющую эти теплоносители.

Примерами теплопередачи являются: передача теплоты от греющей воды нагревательных элементов (отопительных систем) к воздуху помещения; передача теплоты от дымовых газов к воде через стенки кипяtilьных труб в паровых котлах; передача теплоты от раскаленных газов к охлаждающей воде (жидкости) через стенку цилиндра двигателя внутреннего сгорания; передача теплоты от внутреннего воздуха помещения к наружному воздуху и т. д. При этом ограждающая стенка является проводником теплоты, через которую теплота передается теплопроводностью, а от стенки к окружающей среде конвекцией и излучением. Поэтому процесс теплопередачи является сложным процессом теплообмена.

При передаче теплоты от стенки к окружающей среде в основном преобладает конвективный теплообмен, поэтому будут рассматриваться такие задачи.

Теплопередача через плоскую стенку.

Рассмотрим однослойную плоскую стенку толщиной δ и теплопроводностью λ (рис. 1).

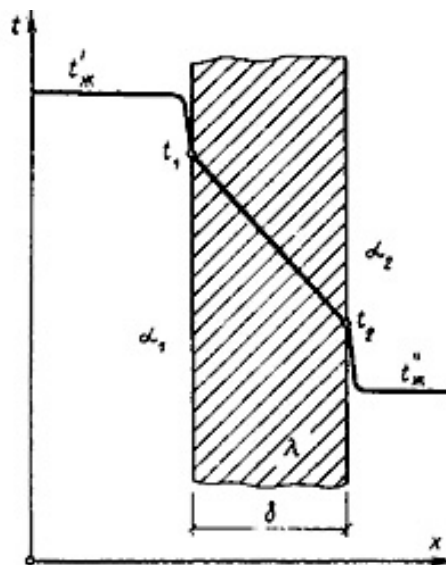


Рис. 3. 1. Схема теплопередачи между двумя жидкостями через плоскую стенку.

Температура горячей жидкости (среды) $t'_{ж}$, холодной жидкости (среды) $t''_{ж}$.

Количество теплоты, переданной от горячей жидкости (среды) к стенке по закону Ньютона-Рихмана имеет вид:

$$Q = \alpha_1 \cdot (t'_{ж} - t_1) \cdot F, \quad (3.1)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от горячей среды с температурой $t'_ж$ к поверхности стенки с температурой t_1 ;

F – расчетная поверхность плоской стенки.

Тепловой поток, переданный через стенку определяется по уравнению:

$$Q = \lambda / \delta \cdot (t_1 - t_2) \cdot F. \quad (3.2)$$

Тепловой поток от второй поверхности стенки к холодной среде определяется по формуле:

$$Q = \alpha_2 \cdot (t_2 - t''_ж) \cdot F, \quad (3.3)$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи от второй поверхности стенки к холодной среде с температурой $t''_ж$.

Решая эти три уравнения получаем:

$$Q = (t'_ж - t''_ж) \cdot F \cdot K, \quad (3.4)$$

где $K = 1 / (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2)$ – коэффициент теплопередачи, или

$$R_0 = 1/K = (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2). \quad (3.5)$$

где R_0 – полное термическое сопротивление теплопередачи через однослойную плоскую стенку.

$1/\alpha_1, 1/\alpha_2$ – термические сопротивления теплоотдачи поверхностей стенки;

δ/λ – термическое сопротивление стенки.

4.2. Типы теплообменных аппаратов.

Теплообменным аппаратом называют всякое устройство, в котором одна жидкость — горячая среда, передает теплоту другой жидкости - холодной среде. В качестве теплоносителей в тепловых аппаратах используются разнообразные капельные и упругие жидкости в самом широком диапазоне давлений и температур. По принципу работы аппараты делят на регенеративные, смесительные и рекуперативные.

В регенеративных аппаратах горячий теплоноситель отдает свою теплоту аккумуляющему устройству, которое в свою очередь периодически отдает теплоту второй жидкости - холодному теплоносителю, т. е. одна и та же поверхность нагрева омывается то горячей, то холодной жидкостью.

В смесительных аппаратах передача теплоты от горячей к холодной жидкости происходит при непосредственном смешении обеих жидкостей, например смешивающие конденсаторы.

Особенно широкое развитие во всех областях техники получили рекуперативные аппараты, в которых теплота от горячей к холодной жидкости передается через разделительную стенку. Только такие аппараты будут рассмотрены в дальнейшем.

Теплообменные аппараты могут иметь самые разнообразные назначения — паровые котлы, конденсаторы, пароперегреватели, приборы центрального отопления и т. д. Теплообменные аппараты в большинстве случаев значительно отличаются друг от друга как по своим формам и размерам, так и по применяемым в них рабочим телам. Несмотря на большое разнообразие теплообменных аппаратов, основные положения теплового расчета для них остаются общими.

В теплообменных аппаратах движение жидкости осуществляется по трем основным схемам.

Если направление движения горячего и холодного теплоносителей совпадают, то такое движение называется *прямотоком*.

Если направление движения горячего теплоносителя противоположно движению холодного теплоносителя, то такое движение называется *противотоком*. Если же горячий теплоноситель движется перпендикулярно движению холодного теплоносителя, то такое движение называется *перекрестным током*. Кроме этих основных схем движения жидкостей, в теплообменных аппаратах применяют более сложные схемы движения, включающие все три основные схемы.

3.3. Расчет теплообменных аппаратов.

Целью теплового расчета является определение поверхности теплообмена, а если последняя известна, то целью расчета является определение конечных температур рабочих жидкостей. Основными расчетными уравнениями теплообмена при стационарном режиме являются уравнение теплопередачи и уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи:

$$Q = k \cdot F \cdot (t_1 - t_2), \quad (3.6)$$

где Q — тепловой поток, Вт,

k - средний коэффициент теплопередачи, Вт/(м²град),

F — поверхность теплообмена в аппарате, м²,

t_1 и t_2 - соответственно температуры горячего и холодного теплоносителей.

Уравнение теплового баланса при условии отсутствия тепловых потерь и фазовых переходов:

$$Q = m_1 \cdot \Delta t_1 = m_2 \cdot \Delta t_2, \quad (3.7)$$

или

$$Q = V_1 \rho_1 \cdot c_{p1} \cdot (t'_1 - t''_1) = V_2 \rho_2 \cdot c_{p2} \cdot (t''_2 - t'_2), \quad (3.8)$$

где $V_1 \rho_1$, $V_2 \rho_2$ - массовые расходы теплоносителей, кг/сек, с

c_{p1} и c_{p2} - средние массовые теплоемкости жидкостей в интервале температур от t^r до t'' ,

t'_1 и t''_1 температуры жидкостей при входе в аппарат;

t'_2 и t''_2 - температуры жидкостей при выходе из аппарата.

Величину произведения

$$V \cdot \rho \cdot c_p = W, \quad (3.9)$$

называют *водяным*, или *условным, эквивалентом* [Вт/град].

С учетом последнего уравнение теплового баланса может быть представлено в виде:

$$(t'_1 - t''_1) / (t''_2 - t'_2) = W_2 / W_1, \quad (3.10)$$

W_2 , W_1 - условные эквиваленты горячей и холодной жидкостей.

При прохождении через теплообменный аппарат рабочих жидкостей изменяются температуры горячих и холодных жидкостей. На изменение температур большое влияние оказывают схема движения жидкостей и величины условных эквивалентов.

3.4. Физический процесс горения топлива.

Горение топлива — химическая реакция соединения горючих элементов топлива с окислителем при высокой температуре, сопровождающийся интенсивным выделением теплоты. В качестве окислителя используют кислород воздуха.

Процессы горения разделяют на 2 группы:

- 1). *гомогенное* горение – горение газообразных горючих (характеризуется системой "газ + газ");
- 2). *гетерогенное* горение – горение твердых и жидких горючих (характеризуется системой "твердое тело + газ" или "жидкость + газ").

Процесс горения может протекать с разной скоростью – от медленного до мгновенного. Медленное горение – самовозгорание твердого топлива при его хранении на складах. Мгновенное горение представляет собой взрыв. В теплоэнергетических установках практическое значение имеет такая скорость реакции, при которой происходит устойчивое горение, т.е. при постоянной подаче в зону горения топлива и окислителя. При этом соотношение концентрации топлива и окислителя должен быть определенным. При нарушении этого соотношения (богатая смесь, бедная смесь) скорость реакции снижается и уменьшается тепловыделение на единицу объема.

Горение – это в основном химический процесс, т.к. в результате его протекания происходит качественные изменения состава реагирующих масс. Но в то же время химическая реакция горения сопровождается различными физическими явлениями: перенос теплоты, диффузионный перенос реагирующих масс и др.

Время горения топлива складывается из времени протекания физических ($\tau_{\text{физ}}$) и химических процессов ($\tau_{\text{хим}}$):

$$\tau_{\text{гор}} = \tau_{\text{физ}} + \tau_{\text{хим}}. \quad (3.11)$$

Время протекания физических процессов состоит из времени, необходимого для смешивания топлива с окислителем ($\tau_{\text{см}}$) и времени, в течении которого топливо – воздушная смесь подогревается до температуры воспламенения ($\tau_{\text{н}}$):

$$\tau_{\text{физ}} = \tau_{\text{см}} + \tau_{\text{н}}. \quad (3.12)$$

Время горения ($\tau_{\text{гор}}$) определяется скоростью наиболее медленного процесса.

3.5. Теплообменные аппараты.

Устройства предназначенные для передачи теплоты от одной среды к другой называются *теплообменными аппаратами* или *теплообменниками*. *Теплоносители* – среды участвующие в процессе теплообмена. В зависимости от конструкции подразделяются на: поверхностные, контактные и с внутренним источником теплоты.

Поверхностные теплообменники это устройства, в которых теплообмен происходит через разделительную стенку, в свою очередь они подразделяются на рекуперативные и регенеративные.

Рекуперативные теплообменники это устройства где два теплоносителя с различными температурами текут в пространствах, разделенных стенкой (калориферы, парогенераторы и т.д.).

Регенеративные теплообменники это устройства, в которых одна и та же поверхность нагрева последовательно омывается горячей и холодной водой (воздухоподогреватели доменных печей). Передача тепла осуществляется с помощью аккумуляторов теплоты (керамика, металлическая стружка и т.д.)

Смесительные теплообменники это устройства, в которых процесс теплообмена происходит при непосредственном соприкосновении и перемешивании теплоносителей (градирни, деаэраторы).

Теплообменники с *внутренними источниками теплоты* это устройства с одним теплоносителем, отводится теплота выделенная в самом теплообменнике (электронагреватели, ядерные реакторы).

Наиболее распространены *рекуперативные* теплообменники, простейшим представителем является теплообменник «труба в трубе», (рис.4.2)

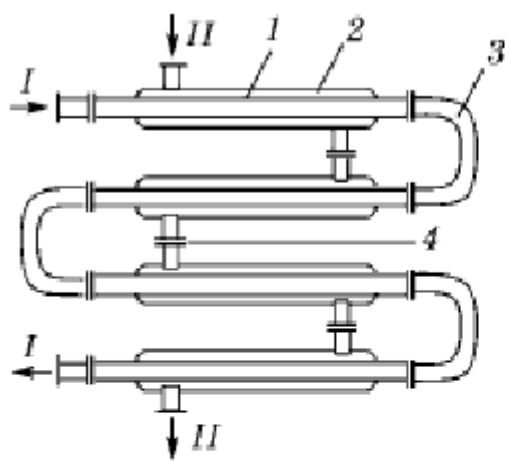


Рис. 4.2.
Теплообменник типа
«труба в трубе»:

1 — внутренняя труба; *2* — наружная труба; *3* — соединительная труба; *4* — соединительный штуцер; *I, II* — теплоносители.

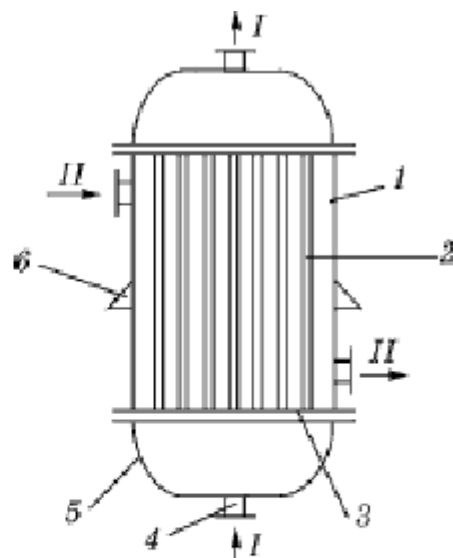


Рис. 4.3

Кожухотрубный теплообменник:

1 — кожух; *2* — труба; *3* — трубная решетка; *4* — штуцер; *5* — дно; *6* — опорная лапа; *I, II* — теплоносители.

в котором один из теплоносителей проходит по внутренней трубе, второй — в кольцевом зазоре между трубами, применяется при небольших значениях теплового потока.

Другим распространенным является *кожухотрубный* рекуперативный теплообменник (рис. 4.3). Представляет собой трубу большого диаметра, к торцам которой приварены диски с отверстиями (трубные доски или решетки), в которые вставлены трубы малого диаметра. Трубные решетки закрыты крышками со штуцерами. Один теплоноситель проходит по трубному пространству теплообменника (*I*), а другой по межтрубному пространству (*II*).

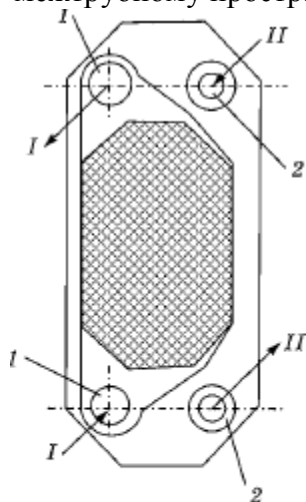


Рис. 4.4

Пластина пластинчатого теплообменника:

1, 2 — отверстия для прохода теплоносителя *I, II*.

К рекуперативным аппаратам также относится пластинчатый теплообменник, представляющий собой собранный в пакет набор гофрированных пластин (рис. 4), омываемых с одной стороны горячим теплоносителем, а с другой холодным.

В зависимости от взаимного направления движения теплоносителей теплообменники рекуперативного типа подразделяются на *прямоточные*, *противоточные* и *перекрестные*.

В прямоточных теплоносители движутся в одном направлении, в противоточных в противоположных, в перекрестных в перекрестном направлении.

Теплообменники на базе радиаторов относятся к рекуперативным, где горячий теплоноситель вода, а холодный воздух. Если радиаторы устанавливаются в горизонтальном канале, то они смещаются друг относительно друга и заключаются в кожух (рис. 4.5). Если в вертикальном канале, то устанавливаются наклонно в форме двух-скатной крыши (рис. 4.6).

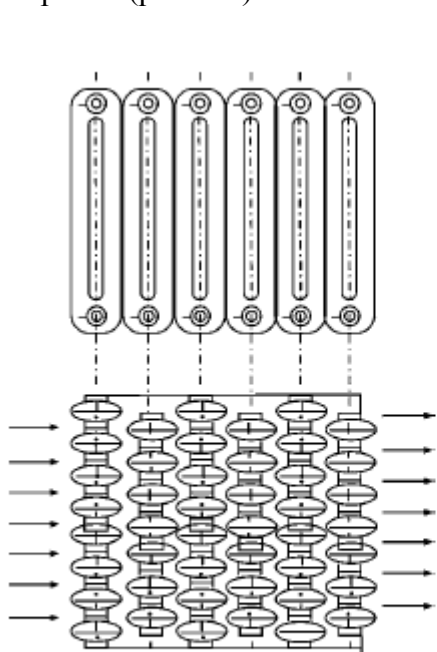


Рис. 4.5
Схема установки радиаторов
в горизонтальном канале

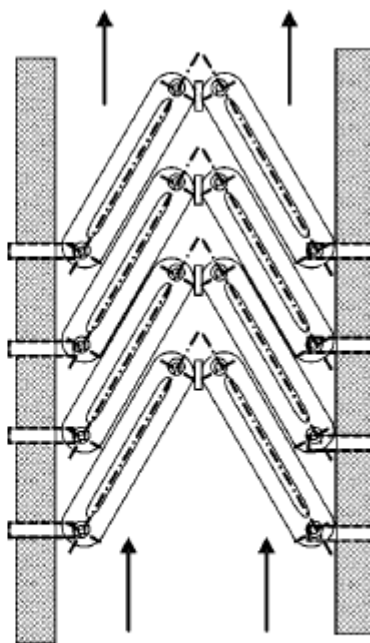


Рис. 4.6
Схема наклонной установки
радиаторов в вертикальном канале

3.6. Способы сушки.

Сушка-процесс удаления жидкости из материала. Способы сушки: естественный и искусственный. При естественном способе сушка осуществляется атмосферным воздухом или солнечной энергией. Искусственный осуществляется в сушильных машинах за счет передачи тепловой энергии от сушильного агента к материалу. Методы сушки (в зависимости от способа передачи тепла): конвективный, кондуктивный, контактный, радиационный и комбинированный.

Сущность конвективного метода (нагретым воздухом или смесью воздуха с топочными газами) заключается в использовании разности парциальных давлений пара, в сушильном агенте и пара над материалом. Процесс сушки тем интенсивнее, чем больше разница давлений. В этом методе сушильный агент проходя через материал нагревая его поглощает влагу.

При *кондуктивной* сушке нагретый пар проходит по трубам, на которых расположен материал. В результате испаряющаяся влага поглощается окружающим воздухом. Применяется при подсушке зерна перед помолом.

При *контактной* сушке удаление влаги происходит путем поглощения ее абсорбентами (материалы обладающие хорошей гигроскопичностью). Он трудоемок, но обеспечивает сохранение качества зерна.

При *радиационном* методе инфракрасное излучение проникает в материал и вызывает его нагрев. Источником являются лампы или нагретые металлические или керамические панели.

При *комбинированной* сушке происходит сочетание конвективного, контактного и других методов. Конвективно-контактный метод заключается в чередовании нагрева и охлаждения высушиваемого материала.

Вопросы для самоконтроля

1. Теплопередача.
2. Коэффициент теплопередачи.
3. Полное термическое сопротивление теплопередачи.
4. Теплообменный аппарат.
5. Горение топлива.
6. Рекуперативные теплообменники.
7. Регенеративные теплообменники.
8. Смесительные теплообменники.
9. Кондуктивная сушка.
10. Контактная сушка.
11. Радиационная сушка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Круглов, Г.А. Теплотехника. Практический курс [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова, М.В. Андреева. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 192 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/96253>. (дата обращения 29.03.2018г.).

Дополнительная

1. Александров А.А. Теплотехника: учебник для вузов / [А. А. Александров, А. М. Архаров и др.] ; под общ. ред. А. М. Архарова, В. Н. Афанасьева. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. — 876, с. : ил. ISBN 978-5-7038-4346-8

Лекция 4

ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР. СПОСОБЫ ОХЛАЖДЕНИЯ. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РА- БОТЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

4.1. Процессы получения низких температур.

Охлаждение — процесс понижения температуры тела. Для охлаждения нужно иметь два тела: охлаждаемое и охлаждающее — источник низкой температуры. Охлаждение продолжается, пока между телами происходит теплообмен. Источник низкой температуры должен функционировать постоянно, так как охлаждение следует осуществлять непрерывно. Это возможно при достаточно большом запасе охлаждающего вещества или если постоянно восстанавливается его первоначальное состояние. Последнее широко применяется в холодильной технике с использованием различных холодильных машин.

Различают естественное и искусственное охлаждение. При *естественном охлаждении* теплота от более нагретого тела переходит к менее нагретому (среде). *Искусственное охлаждение* предполагает получение температуры охлаждаемой среды ниже температуры окружающей среды. Низкие температуры получают путем физических процессов, при протекании которых происходит поглощение извне теплоты без повышения температуры тела.

К основным физическим процессам, сопровождающимся поглощением теплоты, относятся фазовые переходы вещества: плавление или таяние при переходе тела из твердого состояния в жидкое; испарение или кипение при переходе тела из жидкого состояния в парообразное; сублимация или возгонка при переходе тела из твердого состояния непосредственно в газообразное.

Искусственное охлаждение может быть основано и на других физических процессах, например адиабатическом дросселировании газа с начальной температурой меньшей, чем температура верхней точки инверсии; адиабатическом расширении газа с отдачей полезной внешней работы; вихревом эффекте.

Фазовый переход вещества при плавлении или таянии, испарении или кипении, сублимации или возгонке происходит при соответствующих температурах и давлениях с поглощением значительного количества теплоты.

Для получения низких температур (но не ниже 0°C) может быть применен водный лед, который в условиях атмосферного давления плавится при 0°C и имеет сравнительно большую величину удельной теплоты плавления — 335 кДж/кг . Если давление ниже атмосферного, сублимация водного льда происходит при температуре ниже 0°C , что используют в сублимационной сушке пищевых продуктов.

Более низкие температуры плавления можно получить, смешивая лед с некоторыми солями, например с хлоридом кальция.

Более широко распространено получение низких температур с использованием процесса кипения. С помощью одного вещества можно получить определенный интервал температур, поскольку температура его кипения зависит от давления: с уменьшением давления температура кипения понижается, и наоборот. С помощью различных веществ можно получать низкие температуры в широком диапазоне. Процесс испарения используют, например, для понижения температуры воды или влажных поверхностей.

Адиабатическим дросселированием называют процесс необратимого перехода газа (жидкости) с высокого давления на низкое (расширение) при прохождении через

сужение поперечного сечения (перегородка с отверстием, пористая перегородка и т.д.) без совершения внешней работы и отдачи или получения теплоты.

Процесс протекает быстро, вследствие чего теплообмен с окружающей средой практически не происходит и энтальпия (теплосодержание) вещества не изменяется. Полезная работа не совершается, так как работа проталкивания переходит в теплоту трения. Энтальпия — это функция состояния, равная сумме внутренней и потенциальной энергии давления (PV), где P — давление; V — объем.

При адиабатическом дросселировании реального вещества в отличие от идеального вследствие изменения внутренней энергии производится работа против сил взаимодействия молекул. Это приводит к изменению температуры вещества. Изменение температуры реального вещества при дросселировании называется эффектом Джоуля — Томсона.

В зависимости от начального состояния реального вещества перед дросселем температура его при дросселировании может уменьшаться, увеличиваться и оставаться без изменения.

Точка, соответствующая начальному состоянию вещества, в которой его температура при адиабатическом дросселировании не изменяется и, следовательно, изменяется знак температурного эффекта, называется точкой инверсии, а температура, соответствующая этой точке, — температурой инверсии. Точку инверсии можно определить, построив в координатах TV (температура — объем вещества) изобару и проведя к ней касательную из начала координат. При начальных температурах газа ниже температуры инверсии он при дросселировании будет охлаждаться, выше — нагреваться.

Большинство газов, за исключением водорода и гелия, имеют довольно высокую температуру инверсии (600°C и выше), поэтому практически для всех газообразных веществ в области, близкой к критической, адиабатическое дросселирование приводит к понижению температуры.

При *адиабатическом расширении газа* с отдачей полезной внешней работы получение низких температур возможно при любом его состоянии, так как температура изменяется в сторону понижения. В отличие от адиабатического дросселирования в этом случае эффект возможен и для идеального газа, при этом понижение температуры в процессе адиабатического расширения при прочих равных условиях бывает более значительным, чем при дросселировании.

Адиабатическое расширение газа в детандере (расширителе) используют для получения криогенных температур.

Вихревой эффект достигается в вихревых трубах при подаче в них по тангенциальному вводу сжатого воздуха, имеющего температуру окружающей среды. Скорость вращения воздуха в трубе обратно пропорциональна ее радиусу. Центральная часть вращающегося потока имеет большую скорость, чем периферийная, вследствие чего температура воздуха у стенок трубы выше, а в центре ниже, чем температура подаваемого в трубу воздуха. Можно получить потоки воздуха с низкой и высокой температурами, если разделить центральную и периферийную части потока. Это явление называется эффектом Ранка.

Таким образом, через определенный физический процесс можно получить источник требуемой низкой температуры, необходимый для охлаждения тела.

Низкие температуры (от температур окружающей среды до близких к абсолютному нулю) условно подразделяют на область умеренного холода (до -103°C), глубокого охлаждения (от -103 до -203°C), криогенные (от -203 до $-272,7^{\circ}\text{C}$) и сверхнизкие (от $-272,7$ до $-272,9992^{\circ}\text{C}$).

4.2. Способы охлаждения

Для получения холода используются безмашинные и машинные способы охлаждения. Безмашинные способы охлаждения основываются на плавлении, испарении, сублимации.

В безмашинных способах охлаждения используются готовые хладоносители (водный, эвтектический и сухой лед, сжиженные газы, воздух). Установки, работающие на готовых хладоносителях, просты по устройству и, следовательно, наиболее доступны, но они имеют существенные недостатки: полную зависимость от возможности и условий получения хладоносителей; большой объем грузовых работ, связанных с зарядкой хладоносителями и поддержанием гигиены в охлаждаемых помещениях.

Недостатки, свойственные безмашинным способам охлаждения, отсутствуют у машинных способов, когда энергия (механическая, тепловая, электрическая) поступает извне.

По виду затрачиваемой энергии холодильные машины подразделяются на компрессионные, теплоиспользующие и термоэлектрические. Компрессионные машины используют механическую энергию; теплоиспользующие — тепловую от источников теплоты, температура которых выше окружающей среды; термоэлектрические — электрическую.

При охлаждении в компрессионных и теплоиспользующих машинах теплота переносится в результате совершаемого рабочим телом — холодильным агентом (хладагентом) обратного кругового процесса, а в термоэлектрических — при воздействии потока электронов на атомы вещества.

Охлаждение в термоэлектрических машинах основано на термоэлектрическом эффекте, известном как эффект Пельтье, заключающемся в том, что при пропускании постоянного электрического тока по замкнутой цепи, состоящей из двух разнородных проводников или полупроводников, один из спаев нагревается (горячий спай), а другой охлаждается (холодный спай). Для того чтобы холодный спай термоэлемента имел постоянную низкую температуру и был источником холода, горячий спай нужно охлаждать. В этом случае система представляет собой холодильный агрегат, в котором электрический ток переносит энергию от холодного спае термоэлемента к горячему. Количество перенесенной энергии пропорционально силе тока в цепи термоэлемента. Изменение полярности электрического тока приводит к перемене мест холодного и горячего спаев. Основным показателем качества термоэлемента — коэффициент добротности (эффективности вещества), определяющий максимальную разность температур горячего и холодного спаев. К достоинствам такого рода устройств можно отнести непосредственное использование электрической энергии для переноса теплоты без промежуточных веществ и механизмов; бесшумность и автономность работы; компактность и простоту автоматизации и обслуживания. Однако они значительно дороже других холодильных машин.

В зависимости от вида рабочего тела (холодильного агента) холодильные машины, в основе принципа действия которых лежит обратный цикл Карно, подразделяют на паровые и газовые.

В испарителе паровой холодильной машины происходит испарение рабочего тела при переходе к нему теплоты от охлаждаемого объекта, а в конденсаторе — его конденсация при переходе теплоты от рабочего тела в окружающую среду (в воздух или воду).

В качестве рабочего тела в паровых холодильных машинах используют аммиак и хладоны — фтористые и хлористые производные предельных углеводородов, в газовых — воздух.

В зависимости от способа подачи рабочего тела в конденсатор холодильные машины подразделяют на компрессионные, абсорбционные, сорбционные и пароэжекторные. В компрессионных холодильных машинах рабочий цикл совершается за счет механической работы компрессора, в абсорбционных, сорбционных и пароэжекторных — за счет затрат теплоты.

Для получения требуемых температур кипения и конденсации рабочего тела используют одноступенчатые, многоступенчатые и каскадные паровые компрессионные машины. Соответственно в одноступенчатых используют один, в многоступенчатых и каскадных — два компрессора и более, которые обеспечивают осуществление холодильного цикла в каждой ступени машины. Для холодильной обработки и хранения пищевых продуктов в охлаждаемых камерах используют преимущественно паровые компрессионные одно- и двухступенчатые холодильные машины.

4.3. Термодинамический цикл холодильных машин

Для непрерывного охлаждения машинными способами помимо охлаждаемого тела и приемника теплоты требуется третье тело, переносящее теплоту от первого ко второму. Это третье тело называется рабочим телом или *холодильным агентом*.

Холодильный агент, претерпевая ряд изменений, должен возвращаться в первоначальное состояние, непрерывно участвуя в круговом процессе, или цикле. Подобный цикл называется термодинамическим.

В отличие от прямого цикла (цикл тепловой машины), когда работа производится при переходе теплоты от более нагретого тела к менее нагретому, круговой процесс, в котором для передачи теплоты от менее нагретого тела к более нагретому необходимо подводить энергию (или теплоту), называется обратным циклом. Различают три вида обратного цикла (рис. 1):

холодильный 1—2—3—4, в котором теплота переносится от охлаждаемого тела с температурой T_n к окружающей среде с температурой T_{oc} ;

теплого насоса 5—6—7—8, в котором теплота переносится от окружающей среды к телу с более высокой температурой T_g ;

комбинированный 9—10—11—12, состоящий из двух первых.

Если при осуществлении процессов, образующих обратный цикл, у взаимодействующих тел не наблюдаются остаточные изменения, т.е. эти процессы обратимы, то и обратный цикл обратим. На осуществление обратимого цикла требуется минимум работы или теплоты, поэтому он является эталоном. Обратимый холодильный цикл 1—2—3—4, приведенный на рис. 1, показан на $S—T$ -диаграмме, где S — энтропия; T — абсолютная температура.

Энтропия S — это отношение ничтожно малого количества теплоты Δq , сообщенной телу (или отнятой у него) в процессе изменения его агрегатного состояния, к абсолютной температуре T , при которой происходит это приращение теплоты, т.е.:

$$S = \Delta q / T \text{ (Дж/К)}. \quad (4.1)$$

Энтропию в тепловых процессах можно рассматривать как термический заряд, который не меняется в идеализированных обратимых циклах.

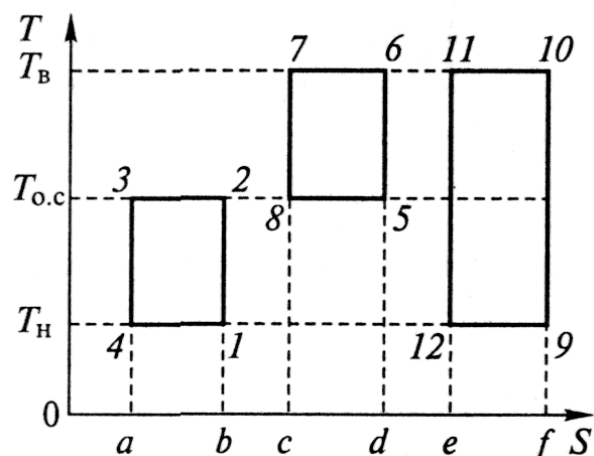


Рис. 5.1. Обратные циклы Карно

Как видно из рис. 5.1, цикл должен состоять из двух изотермических и двух адиабатических процессов. Такой цикл называется циклом Карно. При этом холодильный агент должен получать теплоту от охлаждаемого тела и передавать ее окружающей среде при постоянных температурах. Температуры холодильного агента и окружающей среды должны отличаться друг от друга на бесконечно малую величину, так как разность температур необходима для осуществления теплообмена.

Точно так же обмен работой между холодильным агентом и окружающей средой должен происходить при бесконечно малой разности давлений.

4.4. Расчет цикла холодильных машин

В изотермическом процессе 4—1 (см. рис. 5.1) каждый килограмм циркулирующего холодильного агента получает от охлаждаемого тела теплоту q_0 , которая называется *удельной массовой холодопроизводительностью* холодильного агента, выражается площадью $a-4-1-b$ и равенством

$$q_0 = T_H (S_b - S_a). \quad (4.2)$$

В адиабатическом процессе 1—2 при затрате работы l_k холодильный агент сжимается и его температура повышается от T_H до $T_{o.c}$. В изотермическом процессе 2—3 каждый килограмм циркулирующего холодильного агента отдает окружающей среде теплоту q , измеряемую площадью $a-3-2-b$:

$$q = T_{o.c} (S_b - S_a). \quad (4.3)$$

В заключительном адиабатическом процессе 3—4 холодильный агент расширяется с получением l_k , в результате температура его понижается с $T_{o.c}$ до T_H .

Работа l превращается в теплоту, подводимую к холодильному агенту, и определяется как разность работ: работы l_k , затраченной на сжатие холодильного агента, и работы l_p , полученной при его расширении:

$$l = l_k - l_p. \quad (4.4)$$

В соответствии с первым началом термодинамики сумма энергии, подведенной к холодильному агенту, должна быть равна сумме энергии, отведенной от него:

$$q = q_0 + l. \quad (4.5)$$

Отсюда

$$l = q - q_0. \quad (4.6)$$

В $S—T$ - диаграмме работа цикла выражается площадью 1—2—3—4.

Отношение теплоты, полученной холодильным агентом от охлаждаемого тела q_0 , к работе цикла l называется *холодильным коэффициентом*, который характеризует эффективность осуществления холодильного цикла:

$$\varepsilon = q_0 / l. \quad (4.7)$$

С учетом равенств (2) и (3) холодильный коэффициент можно выразить через температуры:

$$\varepsilon = T_H / (T_{oc} - T_H). \quad (4.8)$$

Из этого следует, что при температуре окружающей среды T_{oc} затраты работы на единицу отведенной теплоты будут тем больше, чем ниже температура T_H . Совокупность технических устройств, обеспечивающих осуществление холодильного цикла, называется *холодильной машиной*.

Обратимый цикл теплового насоса также может быть представлен циклом Карно 5—6—7—8 (см. рис. 5.1).

В этом случае теплота q_0 , полученная 1 кг холодильного агента от окружающей среды, соответствует площади $c—8—5—d$, а теплота q_b , отданная телу с высокой температурой T_b , выражается площадью $c—7—6—d$.

Работа цикла $l = q_b - q_0$ соответствует площади 5—6—7—8.

Эффективность цикла теплового насоса определяется отношением полученной теплоты к затраченной работе:

$$\mu = q_b / l. \quad (4.9)$$

или через температуру:

$$\mu = T_B / (T_B - T_{oc}). \quad (4.10)$$

Это отношение называется *коэффициентом преобразования теплоты* μ .

Как следует из этого выражения, величина μ всегда больше единицы. Это свидетельствует о том, что с энергетической точки зрения для отопления целесообразно применять цикл теплового насоса, а не электрический нагреватель. Но при этом надо учитывать, что стоимость холодильного оборудования выше, чем теплового.

Работа комбинированного обратного цикла соответствует площади 9—10—11—12, а отведенная от охлаждаемого тела теплота — площади $e—12—9—f$. По такому циклу могут работать машины, одновременно охлаждающие (например, пищевые продукты) и нагревающие (воду или воздух) для технологических либо бытовых целей.

В случаях, когда температура охлаждаемого тела переменна, а окружающей среды постоянна, надо иметь в виду, что холодильный коэффициент цикла Карно будет меньше, чем холодильный коэффициент соответствующего обратного цикла при неизменной температуре охлаждаемого тела.

Реальные циклы необратимы вследствие необратимости действительных процессов, происходящих при их осуществлении: теплообмена при конечной разности температур, расширения и сжатия при наличии трения, дросселирования.

Термодинамическое совершенствование цикла определяется сопоставлением его с обратимым циклом, имеющим ту же величину удельной массовой холодопроизводительности, и оценивается коэффициентом обратимости η , равным отношению их холодильных коэффициентов:

$$\eta = \varepsilon / \varepsilon_{обр} = l_{обр} / l, \quad (4.11)$$

где ε , $\varepsilon_{обр}$ — холодильный коэффициент соответственно реального и обратимого циклов; $l_{обр}$, l — работа соответственно реального и обратимого циклов.

Холодильный коэффициент обратимого цикла Карно $\varepsilon_{обр}$ больше холодильного коэффициента любого из циклов, осуществляемых в тех же температурных пределах, поэтому $\varepsilon < \varepsilon_{обр}$ и $\eta < 1$. Чем больше необратимость (приращение энтропии) цикла, тем большую работу надо затратить для получения одного и того же полезного эффекта.

4.5. Принцип действия паровых компрессионных холодильных машин

Одноступенчатые холодильные машины. При работе паровых компрессионных холодильных машин цикл совершается в области влажного пара холодильного агента, где изобары совпадают с изотермами, что позволяет теоретически рассмотреть цикл Карно.

Функциональная схема паровой одноступенчатой холодильной машины и обратимый цикл Карно, совершаемый ею, приведены на рис. 5.2.

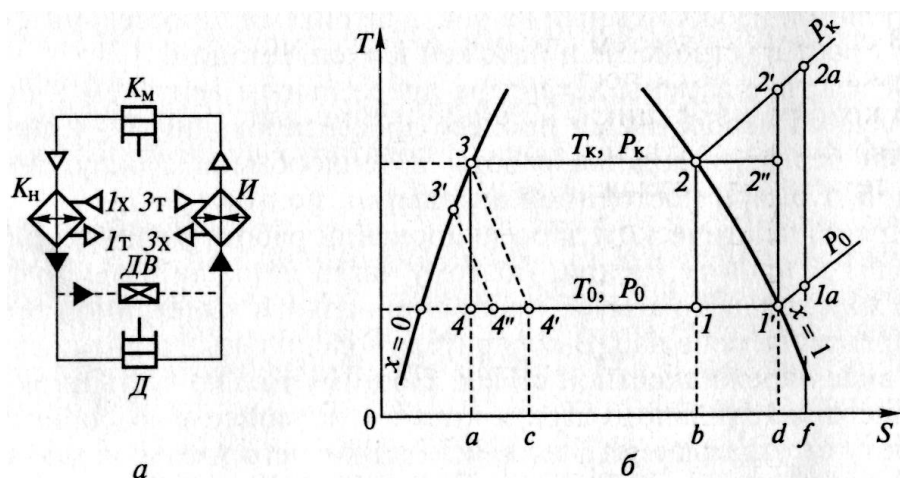


Рис. 4.2. Функциональная схема паровой одноступенчатой холодильной машины с детандером и дросселем и циклы ее работы:
а — схема машины; б — диаграмма работы машины

Жидкий холодильный агент кипит в испарителе I 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 вместе с небольшим количеством неиспарившегося холодильного агента адиабатически сжимается в компрессоре K_M до давления P_k (процесс 1—2) и поступает в конденсатор K_n , конденсируясь при постоянной температуре T_k (процесс 2—3) и отдавая поглощенную в испарителе теплоту окружающей среде —

воздуху или воде. Жидкий холодильный агент адиабатически расширяется в детандере *Д* до давления P_o (процесс 3—4), совершая при этом полезную работу.

Количество отведенной 1 кг холодильного агента теплоты q_o в испарителе определяется на S — T -диаграмме площадью a —4—1— b и может быть представлено как разность энтальпий $i_1 - i_4$. Количество теплоты $q_{обр}$, отданное 1 кг холодильного агента в конденсаторе, определяется площадью a —3—2— b или разностью энтальпий $i_2 - i_3$.

Работа цикла $l_{обр}$ может быть определена разностью работ компрессора и детандера:

$$l_{обр} = l_K - l_p. \quad (4.12)$$

Работа компрессора и детандера может быть записана

$$l_k = i_2 - i_1 \text{ и } l_p = i_3 - i_4. \quad (4.13)$$

Холодильный коэффициент цикла $\varepsilon_{обр0}$ может быть выражен как

$$\varepsilon_{обр0} = q_{обр0} / l_{обр} = (i_1 - i_4) / [(i_2 - i_1) - (i_3 - i_4)]. \quad (4.14)$$

Рассмотренный цикл Карно является обратимым. Однако осуществить его практически трудно, так как работа, полученная в детандере, значительно меньше работы, затраченной в компрессоре, ибо жидкость практически несжимаема, а удельные объемы жидкости и пара различаются в сотни раз.

Следует иметь в виду и то, что часть работы детандера тратится на преодоление сил трения, поэтому вместо детандера в паровой холодильной машине используется дроссельный (регулирующий) вентиль *ДВ*, изображенный на рис. 5.2 штрихами. Дроссельный вентиль прост в устройстве и надежен в эксплуатации.

Вследствие замены детандера дроссельным вентилем в цикле появляется необратимый процесс дросселирования 3—4, проходящий без производства работы и теплообмена с окружающей средой, т.е. при постоянной энтальпии, поэтому $i = i_4$.

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, вследствие чего удельная массовая холодопроизводительность холодильного агента уменьшается на величину, соответствующую площади a —4—4'— c :

$$\Delta q_o = i_{4'} - i_4. \quad (4.15)$$

Удельная массовая холодопроизводительность холодильного агента в этом случае:

$$q_o = q_{обр0} - \Delta q_o = (i_1 - i_4) - (i_{4'} - i_4) = i_1 - i_{4'}. \quad (4.16)$$

Работа цикла будет больше, чем обратимого:

$$l = l_k - l_{обр} + l_p = i_2 - i_1. \quad (4.17)$$

Холодильный коэффициент цикла

$$\varepsilon = q_0 / l = (i_1 - i_4) / (i_2 - i_1). \quad (4.18)$$

Как видно, замена детандера дроссельным вентилем приводит к уменьшению удельной массовой холодопроизводительности холодильного агента, холодильного коэффициента и увеличению работы цикла.

В циклах $1-2-3-4$ и $1-2-3-4'$ влажный пар выходит из испарителя и поступает в компрессор. Это уменьшает производительность компрессора вследствие повышения удельного объема всасываемого пара и падения давления, возникает опасность аварии компрессора в результате гидравлического удара. Чтобы избежать этого, холодильные машины должны работать так, чтобы из испарителя выходил сухой насыщенный или перегретый пар, а в компрессор поступал перегретый пар холодильного агента. Это можно осуществить в цикле $1'-2'-3-4'$ со всасыванием в компрессор сухого насыщенного пара.

Для сжатия пара обратимым путем необходимо провести два процесса сжатия: адиабатическое $1' - 2''$ и изотермическое $2'' - 2$, для чего требуется два компрессора. Хотя необратимые потери в цикле $1'-2'-3-4'$ больше, чем в цикле $1'-2''-3-4'$, так как холодильный агент передает теплоту окружающей среде в процессе $2'' - 2$ при конечной разности температур, на практике реализуют цикл $1'-2'-3-4'$, так как для него достаточно одного компрессора.

Удельная массовая холодопроизводительность холодильного агента в обоих циклах одинакова:

$$q_0 = i_{1'} - i_{4'}. \quad (4.19)$$

Но количество теплоты, отданной 1 кг холодильного агента в конденсаторе окружающей среде, и работа цикла $1' - 2' - 3 - 4'$ будут больше, чем в цикле $1' - 2'' - 3 - 4'$, на величину площади $2 - 2' - 2''$. Холодильный коэффициент цикла $1' - 2' - 3 - 4'$ определяется как

$$\varepsilon = (i_{1'} - i_{4'}) / (i_2 - i_{1'}). \quad (4.20)$$

и будет меньше, чем коэффициент цикла $1' - 2'' - 3 - 4'$.

При всасывании в компрессор перегретого пара (цикл $1a - 2a - 3 - 4'$) удельная массовая холодопроизводительность холодильного агента увеличивается, но в большей степени возрастает работа цикла, поэтому необратимые потери увеличиваются. Их можно сократить. Так, необратимые потери, связанные с дросселированием хладагента, могут быть уменьшены его охлаждением перед дросселированием (процесс $3-3'$) до температуры ниже температуры окружающей среды. Это можно осуществить, например, артезианской водой, температура которой ниже температуры окружающей среды. В таком случае удельная массовая холодо-производительность холодильного агента возрастет на величину $i_4 - i_{4''}$, а величина работы цикла не изменится.

Жидкий холодильный агент перед дросселированием можно охладить также паром, выходящим из испарителя в регенеративном теплообменнике, осуществив цикл, называемый регенеративным. Однако при этом температура всасываемого в компрессор (точка $1a$ вместо $1'$) и нагнетаемого в конденсатор (точка $2a$ вместо $2'$) пара повышается, что увеличивает необратимые потери так называемого перегрева.

Теоретически выгоднее влажный ход компрессора, так как при этом цикл ближе к идеальному циклу Карно. Однако практически производительность компрессора при влажном ходе всегда и для всех холодильных агентов значительно ниже, чем при сухом ходе, т.е. при всасывании сухих насыщенных паров или несколько перегретых при том же давлении кипения P_0 . Отсюда получаем теоретический цикл современной

паровой компрессионной машины на S — T -диаграмме в виде $1a - 2a - 3' - 4''$. Сейчас почти во всех холодильных машинах компрессоры работают при сухом ходе.

В машинах, работающих на аммиаке, этот режим работы компрессора достигается при помощи специального аппарата — отделителя жидкости либо путем регулирования подачи холодильного агента в испаритель. Отделитель жидкости включается во всасывающую линию холодильной установки между испарителем и компрессором.

В хладоновых установках сухой ход компрессора достигается при помощи специальных теплообменников или путем регулирования подачи холодильного агента в испаритель.

Эффективность работы машины оценивается ее холодильным коэффициентом и холодопроизводительностью, которые зависят от типа и конструкции установки, вида и свойств холодильного агента, конструкции компрессора, а также условий работы. Под условиями работы холодильной машины подразумевают температуру кипения холодильного агента в испарителе t_0 , температуру конденсации сжатых паров агента в конденсаторе t_k , температуру переохлаждения жидкого холодильного агента, поступающего в регулирующий вентиль t_n .

Чем выше температура кипения t_0 , чем ниже температура конденсации паров t_k и температура переохлаждения t_n , тем больше холодопроизводительность установки. Однако все эти изменения надо проводить в разумных пределах. Так, например, понижение температуры кипения холодильного агента t_0 в хладоновой компрессионной машине с -15 до -30 °С не повысит, а понизит ее холодопроизводительность в 2 раза. Это объясняется тем, что с понижением t_0 уменьшаются давление кипения P_0 и удельный вес паров, поступающих в компрессор. В результате снижается производительность компрессора.

Следовательно, без необходимости не нужно переводить холодильную машину на работу с более низкой температурой кипения.

Многоступенчатые холодильные машины. Одноступенчатые компрессорные машины применяют при $P_k/P_0 \leq 9$, что соответствует температуре кипения -20 °С и конденсации 30 °С. При больших значениях отношения давлений холодопроизводительность значительно снижается, поэтому вместо одноступенчатых применяют двух-, трехступенчатые и каскадные холодильные машины. Кроме того, при больших значениях отношения P_k/P_0 температура пара в конце сжатия в одноступенчатой машине чрезмерно высока, что приводит к потере маслом смазочных свойств, его самовозгоранию, повышению износа деталей компрессора.

Переход к многоступенчатому сжатию обусловлен и необходимостью соблюдения условий прочности, так как по расчетам разность давлений $P_k - P_0$ компрессоров не должна превышать $1,7$ МПа. В многоступенчатых машинах температура паров холодильного агента в конце сжатия первой ступени компрессора обычно выше температуры окружающей среды, поэтому приходится охлаждать перегретый пар прямоточно в водяном межступенчатом холодильнике. Кроме водяного применяют промежуточное охлаждение холодильным агентом, что увеличивает холодильный коэффициент. Многократное дросселирование холодильного агента с промежуточным отбором пара снижает энергетические потери.

Холодильный агент сжимается до давления конденсации последовательно в две или более ступеней с промежуточным охлаждением частично сжатых паров. На каждой ступени отношение давления нагнетания к давлению всасывания меньше, чем P_k/P_0 для полного цикла данной машины.

В схемах с многократным дросселированием промежуточное охлаждение между ступенями сжатия может быть полным и неполным (рис. 5.3).

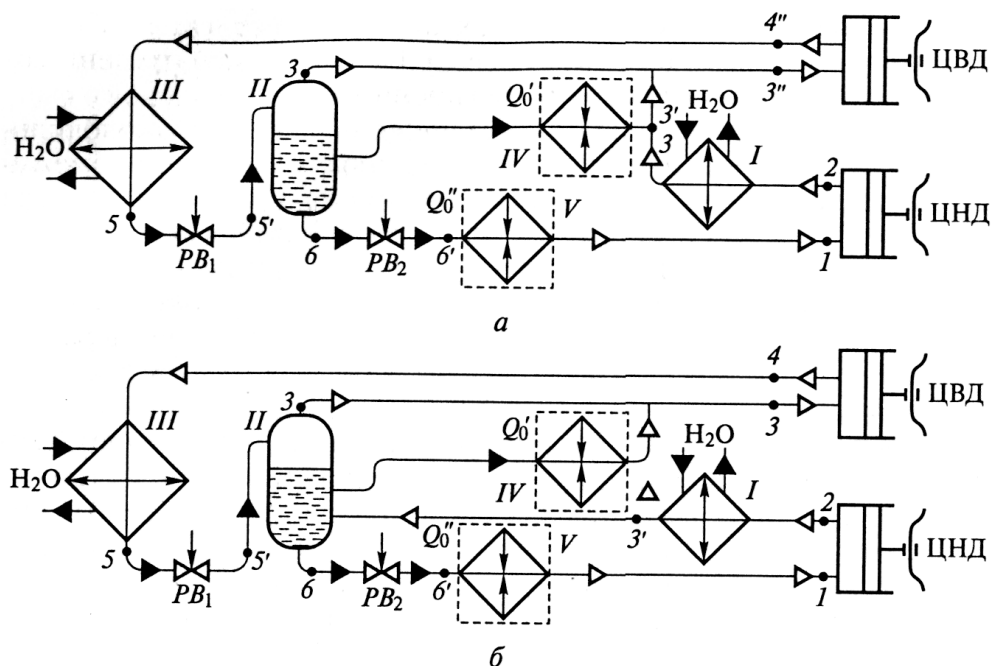


Рис. 5.3. Принципиальные схемы многоступенчатых парокompрессионных машин:

a — с неполным промежуточным охлаждением;

б — с полным промежуточным охлаждением

Неполное промежуточное охлаждение осуществляется водой. В этом случае (см. рис. 5.3, *a*) температура сжатого пара после цилиндра низкого давления (ЦНД) — процесс 1—2 — снижается в водяном межступенчатом холодильнике *I* до состояния 3' сухого перегретого пара, а затем пар поступает в цилиндр высокого давления (ЦВД). Состояние 4' на *S*—*T*-диаграмме (рис. 5.4) соответствует состоянию пара после сжатия в ЦВД в двухступенчатой холодильной машине без промежуточного отбора пара.

Промежуточный отбор пара осуществляется из промежуточного сосуда *II*, в который поступает парожидкостная смесь после первого дросселирования в *PB*₁. Жидкость на *PB*₁ подается из конденсатора *III* при давлении конденсации *P*_к, соответствующем давлению пара в ЦВД, и снижается после дросселирования до промежуточного давления *P*'₀ (см. рис. 4) и соответствующей температуры *T*'₀.

Сухой насыщенный пар из промежуточного сосуда (состояние 3) поступает в ЦВД. В результате смешивания сухого насыщенного и перегретого паров после холодильника всасываемый в ЦВД пар переходит в состояние 3'', а после сжатия — в 4'' (процесс 3''—4'', см. рис. 5.4).

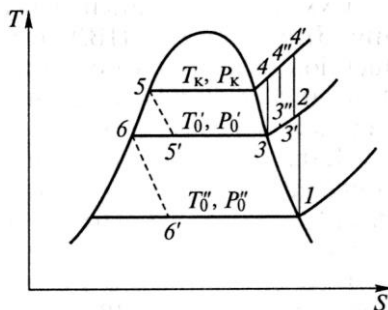


Рис.4.4. Цикл многоступенчатой парокompрессионной машины

Жидкость из промежуточного сосуда используется для кипения в испарителе *V* (рис. 5.4) при более низкой температуре *T*₀ и давлении *P*'₀ после вторичного дросселирования в *PB*₂, но может использоваться и для кипения в испарителе *IV* при более высокой температуре кипения *T*'₀ и давлении *P*'₀ в цикле после первого дросселирования

в $PВ_1$. Из испарителя IV сухой насыщенный пар (точка 3) выходит в том же состоянии, что и из промежуточного сосуда.

При полном промежуточном охлаждении состояние рабочего тела перед всасыванием в компрессор более высокой ступени соответствует состоянию сухого насыщенного пара.

Сжатый в ЦНД пар после межступенчатого водяного холодильника (точка 3', рис. 4, б) поступает на доохлаждение в промежуточный сосуд II , где приходит в состояние насыщенного пара (точка 3, рис. 5.4). Из промежуточного сосуда сухой насыщенный пар отсасывается в ЦВД. При наличии испарителя IV из него в ЦВД также поступает сухой насыщенный пар. Процесс сжатия пара в ЦВД характеризуется линией 3—4 (см. рис. 4), температура конца сжатия в этом случае более низкая, чем при других двухступенчатых схемах.

Через разные элементы многоступенчатых схем с промежуточным отбором пара циркулирует неодинаковое количество вещества. Следовательно, изображение процессов в многоступенчатых холодильных установках на термодинамических диаграммах носит условный характер, так как каждый процесс в них относится к изменению состояния 1 кг вещества. Поэтому массовые потоки в элементах многоступенчатых машин при их расчете относят к 1 кг рабочего тела, проходящего через низкотемпературный испаритель.

Для получения очень низких температур применения одного рабочего тела недостаточно из-за давлений кипения рабочего тела, близких к глубокому вакууму, затвердевания его при низкой температуре кипения в испарителе и по другим причинам. В этих случаях приходится использовать каскадные холодильные машины, в каждой ступени которых применяют свое рабочее тело. При этом испаритель каждой следующей ступени является конденсатором предыдущей. Холодильный коэффициент цикла холодильной машины, приведенный выше, который называют теоретическим, составляет примерно 80 % холодильного коэффициента идеального цикла Карно при тех же значениях T_k и T_o . Холодильный коэффициент реального цикла холодильной машины, в свою очередь, еще меньше из-за объемных и энергетических потерь.

Рассмотрим работу поршневого компрессора двойного действия (рис. 5).

При движении поршня $П$ в цилиндре слева направо давление пара над поршнем становится несколько ниже, чем давление в сборнике пара низкого давления $Г$, вследствие чего открывается самодействующий всасывающий клапан E_1 и пар заполняет полость цилиндра A . Пар рабочего вещества заполняет весь цилиндр, когда поршень достигает крайнего правого положения (нижняя мертвая точка — н.м.т.). Далее поршень сжимает пар, перемещаясь справа налево (к верхней мертвой точке — в.м.т.). Давление пара повышается, вследствие чего всасывающий клапан E_1 закрывается. Поскольку рассматривается схема компрессора двойного действия, аналогичные процессы, смещенные по фазе, происходят в цилиндре и под поршнем (полость B). При дальнейшем движении поршня к в.м.т. давление в цилиндре возрастает, и пар, сжимаясь, совершает соответствующий условиям термодинамический процесс (изотермический, адиабатический или политропический) до величины давления, несколько превышающего давление в сборнике $Д$. Тогда открывается нагнетательный клапан $Ж_1$, и сжатый пар по мере движения поршня к в.м.т. поступает в сборник $Д$. По достижении поршнем в.м.т. пар полностью вытесняется из полости A цилиндра, а в полости B в этот момент завершился процесс всасывания, и в компрессоре повторяются все описанные выше процессы.

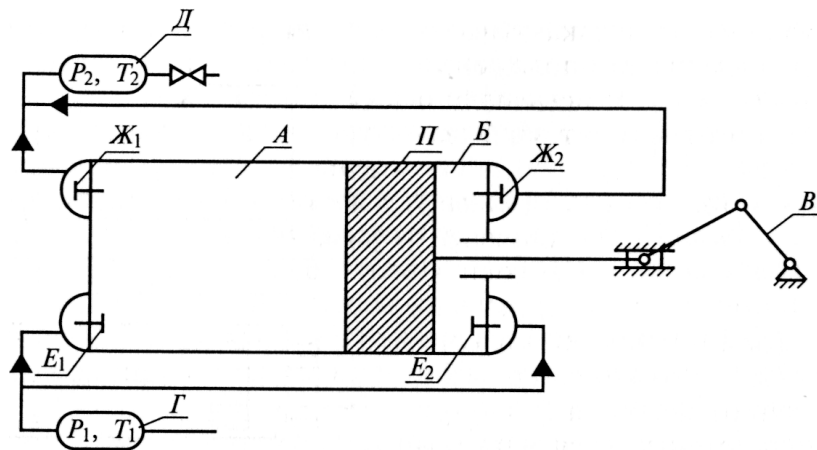


Рис. 5.5. Схема поршневого компрессора двойного действия

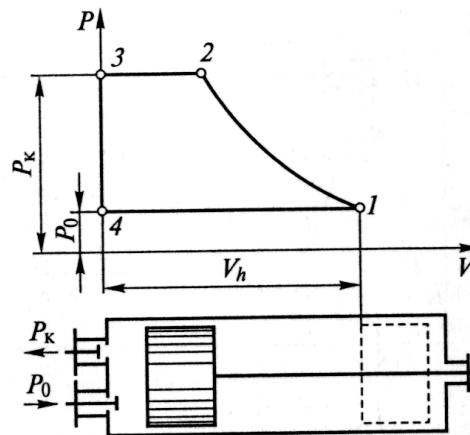


Рис. 4.6. Теоретическая индикаторная диаграмма поршневого компрессора

Происходящие в рабочей полости цилиндра компрессора процессы анализируют с помощью индикаторной диаграммы, построенной в координатах давление пара P — объем цилиндра V (рис. 5.7).

При этом принимают, что объем, описанный поршнем, в точности равен объему цилиндра, давление всасывания и давление нагнетания в цилиндре равны соответственно давлению в испарителе P_0 и давлению в конденсаторе P_k , параметры состояния пара в процессах всасывания и нагнетания не изменяются, процесс сжатия происходит по адиабатическому закону.

При движении поршня из крайнего левого положения вправо открывается всасывающий клапан и пары холодильного агента заполняют рабочую полость цилиндра. Всасывание происходит при постоянном давлении, равном давлению кипения P_0 в испарителе (линия 4—1), и заканчивается в крайнем правом положении поршня (н.м.т.). Всасывающий клапан в этот момент закрывается.

При обратном движении поршня происходит адиабатическое сжатие паров холодильного агента (линия 1—2) до давления, равного давлению конденсации P_k в конденсаторе. При достижении давления P_k внутри цилиндра открывается нагнетательный клапан, через который сжатые пары вытесняются поршнем из цилиндра при $P_k = \text{const}$ (линия 2—3).

При рассмотрении теоретического процесса принимают также, что между поршнем, достигшим крайнего левого положения (в.м.т.), и крышкой компрессора не осталось пространства, следовательно, весь холодильный агент выталкивается из цилиндра, т.е. не остается вредного (мертвого) пространства.

Теоретическую холодопроизводительность компрессора можно определить по формуле

$$Q_T = V_c q_v; \quad (4.21)$$

$$V_c = V_h n Z = 0,25 \pi D^2 s n Z, \quad (4.22)$$

где V_c — объем, описываемый поршнями компрессора; q_v — удельная объемная холодопроизводительность холодильного агента; V_h — объем цилиндра без мертвого пространства; n — частота вращения коленчатого вала; Z — число цилиндров компрессора; D — диаметр цилиндров; s — ход поршня.

Однако действительные процессы, протекающие в компрессоре, сопровождаются рядом потерь, вызываемых гидравлическим сопротивлением в клапанах и трубопроводах, теплообменом между парами холодильного агента и внутренними стенками цилиндров, наличием вредного пространства в цилиндрах, трением, проникновением паров холодильного агента через неплотности и другими причинами.

Индикаторная диаграмма действительного рабочего процесса значительно отличается от теоретической (рис. 5.7).

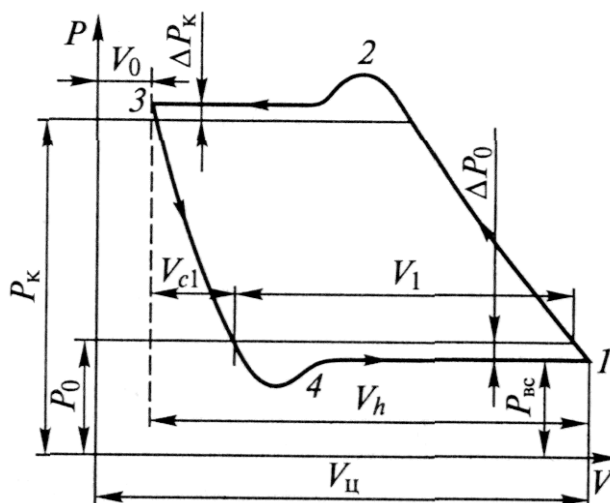


Рис. 4.7. Индикаторная диаграмма действительного рабочего процесса в цилиндре компрессора

Из диаграммы видно, что между крышкой компрессора и поршнем, находящимся в в.м.т., имеется мертвый объем V_0 , который уменьшает объем всасываемого пара. Процесс расширения сжатых паров холодильного агента из мертвого пространства изображен кривой 3—4, представляющей собой политропу.

Точка 4 на диаграмме соответствует моменту открытия всасывающего клапана компрессора и началу процесса всасывания. Процесс всасывания отображает линия 4—1, расположенная ниже уровня P_0 на величину ΔP_0 из-за сопротивлений во всасывающих трубопроводах, клапанах и каналах.

Точка 1 характеризует конец процесса всасывания, закрытие всасывающего клапана и начало процесса сжатия. Сжимаются пары холодильного агента по политропе 1—2 до давления, превышающего давление конденсации P_k на величину ΔP_k , равную гидравлическому сопротивлению в каналах, клапанах и трубопроводах нагнетательной стороны компрессора. Точка 2 соответствует моменту открытия нагнетательного клапана, а линия 2—3 отображает процесс нагнетания.

Точка 3 показывает момент окончания процесса нагнетания, закрытие нагнетательного клапана и начало процесса расширения паров холодильного агента, оставшихся в мертвом пространстве, т.е. момент, когда поршень занимает в.м.т.

Отрезок V_h пропорционален рабочему объему цилиндра, а отрезок V_o — объему мертвой зоны. Величина V_{c1} пропорциональна той части рабочего объема цилиндра, которая теряется из-за наличия мертвого пространства, а величина $V_{c2} = V_h - (V_1 + V_{c1})$ — части рабочего объема цилиндра, которая теряется из-за гидравлического сопротивления на стороне всасывания.

Объемные потери, обусловленные наличием мертвого пространства, зависят от его объема и отношения давлений P_K/P_0 и оцениваются объемным коэффициентом

$$\lambda_c = 1 - V_{c1} / V_h. \quad (4.23)$$

Для всасывания пара в цилиндр давление в нем должно быть меньше, чем в испарителе, а при выталкивании выше, чем в конденсаторе (см. рис. 5.8). Объемные потери вследствие дросселирования учитываются соответствующим коэффициентом

$$\lambda_{др} = 1 - [(1 + V_c / V_h) \Delta p_0 / \lambda_c]; \quad (4.24)$$

$$\Delta p_0 = (P_o - P_{ec}) / P_0, \quad (4.25)$$

где Δp_0 — относительная величина потери давления всасывания в каналах ($\Delta p_0 = 0,02$ — $0,05$).

В действительном процессе стенки цилиндров компрессора нагреты, пары во время всасывания подогреваются и их удельный объем увеличивается, масса уменьшается, что учитывается коэффициентом подогрева

$$\lambda_{п} = T_0 / T_K, \quad (4.26)$$

где T_0 и T_K — соответственно температуры кипения и конденсации холодильного агента.

Интенсивность теплообмена больше при всасывании в цилиндры компрессора влажного пара, чем сухого. Кроме того, она зависит от отношения давлений P_0/P_K и частоты вращения коленчатого вала компрессора. Чем меньше это отношение и быстрее агрегат, тем меньше теплообмен в его цилиндрах.

Действительный объем паров холодильного агента, проходящих через цилиндр компрессора, определяют по формуле

$$V_d = V_h \lambda = V_h \lambda_c \lambda_{др} \lambda_n \lambda_{пл}; \quad (4.27)$$

$$\lambda = f(P_K / P_0), \quad (4.28)$$

где λ — коэффициент подачи; $\lambda_{пл}$ — коэффициент плотности, учитывающий потери объема всасываемого холодильного агента от неплотностей в поршневых кольцах и клапанах ($\lambda_{пл} = 0,96$ — $0,98$).

Производительность компрессора холодильной машины должна обеспечивать отсасывание пара из испарителя с той же интенсивностью, с которой он образуется в результате кипения жидкого холодильного агента. Если холодильный агент кипит быстрее, чем компрессор может отводить пар, то избыточное количество пара накапливается в испарителе, давление увеличивается, в результате повышается температура кипения.

Температура кипения холодильного агента в испарителе — главный фактор, влияющий на производительность компрессора. Если она повышается при постоянной температуре конденсации, то степень сжатия P_K/P_0 уменьшается, коэффициент подачи компрессора возрастает и его производительность увеличивается.

Если производительность компрессора такова, что пар отводится из испарителя слишком быстро, то давление в испарителе уменьшается, температура кипения снижается и увеличивается удельный объем холодильного агента. Все это приводит к уменьшению холодопроизводительности компрессора. При повышении температуры конденсации при постоянной температуре кипения степень сжатия P_K/P_0 увеличивается, коэффициент подачи компрессора снижается. В результате действительный объем перемещаемого компрессором пара в единицу времени уменьшается, холодопроизводительность компрессора снижается.

Паровые компрессионные холодильные машины входят в состав холодильных установок. Схемы холодильных установок помимо холодильных машин включают системы охлаждения объекта, например холодильника, рефрижераторного поезда и т.д.

4.6. Система охлаждения холодильной установки.

Системой охлаждения называют ту часть холодильной установки, которая располагается между регулирующим вентилем и всасывающим патрубком компрессора. Назначение этой системы — поддержание заданного температурно-влажностного режима охлаждаемого объекта.

По способу подачи рабочего тела к потребителям холода, а также способу отвода от них теплоты различают системы непосредственного охлаждения (безнасосные и насосные) и с промежуточным хладоносителем.

В безнасосной системе непосредственного охлаждения рабочее тело (холодильный агент) поступает в охлаждающие приборы от регулирующего вентиля с отбором паров из них компрессором. Жидкий холодильный агент циркулирует за счет разности давлений конденсации и испарения.

В насосной системе циркуляция жидкого холодильного агента в низкотемпературном контуре осуществляется с помощью насоса. В этом случае в схему вводится емкость (ресивер), в которой находится определенный объем холодильного агента. Такая система называется насосно-циркуляционной.

В системах с промежуточным хладоносителем в охлаждающих приборах циркулирует жидкий хладоноситель, который охлаждается холодильным агентом в испарителе холодильной машины.

В зависимости от способа отвода теплоты от потребителя холода и конструкции охлаждающих приборов различают системы батарейного (панельного), воздушного, смешанного и контактного охлаждения.

В батареях (панелях) теплообмен происходит при переходе теплоты при естественной конвекции от охлаждаемого тела в воздух, а затем из воздуха через тонкие стенки охлаждающих приборов к холодильному агенту или хладоносителю.

В воздушных системах охлаждения движение воздуха осуществляется принудительно, благодаря чему скорость перемещения его по сравнению со скоростью при естественной конвекции возрастает в 10 — 20 раз.

В смешанных системах сочетаются батарейное и воздушное охлаждение.

При контактном охлаждении отвод теплоты от потребителя холода осуществляется при непосредственном контакте с ним охлаждающего прибора.

Вопросы для самоконтроля

1. Естественное охлаждение.
2. Искусственное охлаждение.
3. Способы получения низких температур.
4. Адиабатическое дросселирование.
5. Эффект Ранка.
6. Термоэлектрический эффект.
7. Подразделение холодильных машин.
8. . Холодильный агент.
9. Виде обратного цикла.
10. Энтропия.
11. Удельная массовая холодопроизводительность.
12. Холодильный коэффициент.
13. Холодильная машина.
14. Эффективность цикла теплового насоса.
15. Коэффициент преобразования теплоты.
16. Одноступенчатые холодильные машины.
17. Многоступенчатые холодильные машины.
18. Цикл многоступенчатой парокомпрессионной машины.
19. Теоретическая индикаторная диаграмма поршневого компрессора.
20. Теоретическая холодопроизводительность компрессора.
21. Индикаторная диаграмма действительного рабочего процесса.
22. Действительный объем паров холодильного агента.
23. Система охлаждения холодильной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Усов, А.В. Основы холодильной техники: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.В. Усов, И.А. Короткий. — Электрон. дан. — Кемерово : КемТИПП, 2016. — 121 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/99565>. (дата обращения 29.03.2018г).

Дополнительная

1. Буянов, О.Н. Холодильное технологическое оборудование: [Электронный ресурс]. 2009 URL: <http://www.iprbookshop.ru/14401.html> (Дата обращения: 15.02.2018). ISBN: 978-5-89289-542-2
2. Большаков, С.А. Холодильная техника и технология продуктов питания: учебник [Текст] / С.А. Большаков. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 304 с. Дополнительная литература

Лекция 5

ХОЛОДИЛЬНЫЕ АГЕНТЫ И ХЛАДОНОСИТЕЛИ. ТИПЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН. КОМПРЕССОРЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

5.1. Холодильные агенты и хладоносители.

Холодильные агенты. Как уже было сказано, какой-либо термодинамический процесс или цикл совершается с помощью холодильного агента (рабочего тела).

При нормативном атмосферном давлении 0,1 МПа холодильный агент должен иметь достаточно низкую температуру кипения, чтобы при работе холодильной машины не было разрежения в испарителе. Например, для аммиака NH_3 температура кипения при давлении 0,1 МПа составляет $33,4^\circ\text{C}$.

Основными холодильными агентами являются вода, аммиак, хладоны и воздух.

Воду применяют главным образом в установках кондиционирования воздуха, где обычно температура теплоносителя $t_H > 0^\circ\text{C}$. В качестве холодильного агента воду используют в установках абсорбционного и эжекторного типов.

Аммиак имеет малый удельный объем при температуре кипения -70°C , большую теплоту парообразования, слабую растворимость в масле и другие преимущества. Его применяют в поршневых компрессионных и абсорбционных установках. К недостаткам аммиака следует отнести ядовитость, горючесть, взрывоопасность при концентрациях в воздухе 16 — 26,8 %.

Хладоны (фреоны) химически инертны, мало- или невзрывоопасны. Хладоны — галоидопроизводные предельных углеводородов, получаемые путем замены атомов водорода в насыщенном углеводороде $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ атомами фтора, хлора, брома ($\text{C}_n\text{H}_x\text{F}_y\text{Cl}_z\text{Br}_u$). Число молекул отдельных составляющих, входящих в химические соединения хладонов, связаны зависимостью $x + y + z + u = 2n + 2$. Любой холодильный агент обозначается символами RN, где R — символ, указывающий на вид холодильного агента, N — номер хладона или присвоенный номер для других холодильных агентов.

Для хладонов номер расшифровывается следующим образом. Первая цифра в двузначном номере или первые две цифры в трехзначном обозначают насыщенный углеводород $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, на базе которого получен хладон: 1 — CH_4 (метан); 11 — C_2H_6 (этан); 21 — C_3H_8 (пропан); 31 — C_4H_{10} (бутан). Справа указывают число атомов фтора в хладоне: CFC1_3 — R11, $\text{CF}_2\text{C1}_2$ — R12, $\text{C}_3\text{F}_4\text{C1}_4$ — R214, CC1_4 — R10. При наличии в хладоне незамещенных атомов водорода их число добавляют к числу десятков номера: CHFC1_2 — R21, $\text{CHF}_2\text{C1}$ — R22. Если в состав хладона входят атомы брома, после основного номера пишут букву B, а за ней число атомов брома: CF_2Br_2 — R12B2.

В качестве рабочих тел могут использоваться *азеотропные смеси*, составляемые из двух холодильных агентов. Например, азеотропную смесь, состоящую из 48,8 % R22 по массе и 51,2 % R115 ($\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$), называют хладоном R502, его температура кипения при давлении 0,1 МПа $-45,6^\circ\text{C}$.

В обозначениях смесей холодильных агентов указывают названия составляющих и их массовые доли. Хладон R502 можно обозначить R22/R115 (48,8/51,2). Цифрами, начиная с 500, условно обозначают азеотропные смеси, процентный состав которых в процессе кипения и конденсации практически не изменяется.

Холодильным агентам неорганического происхождения (аммиак, вода) присваивают номера, равные их молекулярной массе, увеличенной на 700. Так, аммиак и воду обозначают соответственно R717 и R718.

Холодильный агент должен обладать определенными теплофизическими и физикохимическими свойствами, от которых зависят конструкция холодильной машины и расход энергии.

К теплофизическим свойствам относятся вязкость μ , теплопроводность λ , плотность ρ и др. Они, как и теплота парообразования r , оказывают влияние на коэффициент теплоотдачи при кипении и конденсации. Большим значениям λ , ρ , r и малой вязкости соответствуют большие значения коэффициентов теплоотдачи.

На гидравлическое сопротивление при циркуляции холодильного агента в системе влияют μ и ρ : чем они больше, тем больше сопротивление. Количество циркулирующего в системе холодильного агента уменьшается с ростом теплоты парообразования.

К физико-химическим свойствам относятся растворимость холодильных агентов в смазочных маслах и воде, инертность к металлам, взрывоопасность и воспламеняемость.

При ограниченной растворимости холодильных агентов в масле в жидкой фазе смеси наблюдаются два слоя, из которых в одном преобладает масло, в другом — холодильный агент. К холодильным агентам с ограниченной растворимостью относятся аммиак R717, диоксид углерода R44 и ограниченно растворимые хладоны R13, R14, R115.

К холодильным агентам с неограниченной растворимостью относятся R11, R12, R21, R40. В этом случае для смеси хладона и масла требуется поддержание более низкого давления кипения, поэтому на сжатие пара затрачивается излишняя работа.

Хладоны R22 и R114 составляют промежуточную группу.

Аммиак неограниченно растворяет воду. При небольшом количестве воды работа холодильной машины заметно не нарушается. Хладоны почти не растворяют воду.

Избыточная влага в хладоне при прохождении через дроссель превращается в лед (если $t_0 < 0^\circ\text{C}$) и «запаивает» дроссельное отверстие. По этой причине холодильные машины имеют специальные осушительные устройства.

Хладоны при отсутствии влаги в области применяемых в холодильной технике температур на металлы не действуют.

Аммиак не оказывает коррозирующего действия на сталь. В присутствии воды он разъедает медь, цинк, бронзу и другие медные сплавы, за исключением фосфористой бронзы. Хладоны R11, R12, R13, R22 невзрывоопасны.

Хладоны с большим содержанием атомов фтора или полностью фторированные (R13, R113) практически безвредны для человека. Хладон R12 на открытом пламени разлагается, и в продуктах его разложения содержатся ядовитый фосген и вредные для человека фтористый и хлористый водород.

Рассмотрим область применения холодильных агентов. Аммиак (R717), хладоны R12 и R22 используют в компрессионных холодильных машинах для получения температур кипения от -30 до -40°C без вакуума в системе охлаждения. Хладон R12 применяют в одноступенчатых холодильных машинах с температурой конденсации не более 75°C и температурой кипения не ниже -30°C , в бытовых холодильниках, кондиционерах, водоохлаждающих холодильных машинах. Хладон R22 используют в машинах с поршневыми и винтовыми компрессорами одно- и двухступенчатого сжатия, а также в бытовых холодильных машинах. Диапазон температур кипения от $+10$ до -70°C при температуре конденсации не выше 50°C . Одноступенчатое сжатие рекомендуется применять до температур кипения не ниже -35°C .

Холодильный агент R502 применяют в низкотемпературных одноступенчатых холодильных машинах при температуре конденсации до 50°C , кипения до -45°C .

Широкое распространение получили появившиеся в 1930-е годы галогенизированные хладагенты R12, R22 и др. Только в России в начале 1990-х годов работало более 50 млн бытовых холодильников и сотни тысяч единиц промышленного, торгового и

других видов холодильного оборудования, в которых использовались эти хладоны. Однако в ходе исследований «озоновых дыр» (значительного уменьшения содержания озона на высоте 20 — 25 км в земной атмосфере) было установлено, что промышленные и бытовые отходы, содержащие атомы хлора, в том числе хладоны, достигая атмосферы, высвобождают хлор, который участвует в разрушении озонового слоя. Известно, что озоновый экран (среднее содержание озона в атмосфере 0,001%) защищает поверхность Земли от избыточных ультрафиолетовых лучей, большая доза которых способна уничтожить все живое. Поэтому Международной конвенцией в Вене в 1985 г., Протоколом в Монреале в 1987 г. и последующими протоколами с участием представителей крупнейших стран мира были приняты решения о прекращении к 2000 г. производства и использования озоноопасных хладонов, в первую очередь R11, R12, R113, R114, R115. Хладагенты R22, R123, R124, R141 и R142 разрешены в качестве переходных для замены запрещаемых. Но и они должны быть исключены из использования к 2040 г., а по возможности и раньше (к 2020 г.).

Взамен вышеперечисленных хладонов предлагаются гидрофторуглеродороды (ГФУ) и гидрохлорфторуглеродороды (ГХФУ), которые благодаря содержанию водорода разлагаются гораздо быстрее, чем хлорфторуглеродороды, в нижних слоях атмосферы, не достигая озонового слоя. На мировом рынке такие озонобезопасные хладоны предлагает, например, фирма «Дюпон» (США) под торговой маркой «СУВА». «Дюпон» поставляет на рынок хладагент HP62 (R404a), имеющий при давлении 0,1 МПа температуру кипения порядка -46 °С, гидрофторуглерод R134a (CH_2FCF_3) и др. В России также освоен выпуск R134a. Он может полностью заменить R12, хотя при его использовании несколько снижаются удельная холодопроизводительность установки (92 % от удельной холодопроизводительности R12), холодильный коэффициент (98 % по сравнению с R12), увеличивается соотношение давлений конденсации и кипения (123%, если принять это соотношение для R12 равным 100 %). Для R134a подобраны и синтетические масла (ХС-22, ХФС-134). Температура кипения R134a при давлении 0,1 МПа составляет -26,5 °С. В выпускаемых в России холодильниках и морозильниках «Стинол» (г. Липецк) используется преимущественно R134a.

Разработаны заменители и для других хладонов. Так, альтернативным для R22 может быть R407C или R290. Холодильный агент R407C представляет собой смесь R32/125/134a в соотношениях 23/25/52%. Хладон R502 может быть заменен на R125 (CHF_2CF_3), имеющий температуру кипения -48,5 °С. Для низкотемпературных машин (каскадных) может быть рекомендован озонобезопасный R23.

Расширяется использование аммиака, не влияющего на окружающую среду. Аммиак в два раза легче воздуха и при утечке быстро поднимается в атмосферу, где разлагается в течение нескольких дней. При выбросе жидкий аммиак немедленно испаряется. Но следует иметь в виду, что он ядовит, горюч и взрывоопасен. Если ранее аммиак использовали преимущественно в крупных по холодопроизводительности холодильных машинах, то теперь промышленность осваивает конструкции средних и малых аммиачных компрессоров и холодильного оборудования на их основе.

Хладоносители. Хладоносители являются промежуточным веществом между источником холода и объектом охлаждения. Они подразделяются на жидкие и твердые.

К *жидким хладоносителям* относятся водные растворы солей — рассолы и однокомпонентные вещества, замерзающие при низких температурах (этиленгликоль, кремнийорганическая жидкость). Применяют водные растворы солей NaCl, MgCl_2 , CaCl_2 , температура замерзания которых до известного предела (состояния криогидратной точки) зависит от концентрации рассола. Для раствора NaCl криогидратная точка -21,2°С, для MgCl_2 -33,6°С, для CaCl_2 -55°С. Для уменьшения коррозийного действия рассолов на металлические части оборудования в них добавляют пассиваторы: силикат натрия, хромовую соль, фосфорные кислоты.

Этиленгликоль в зависимости от концентрации в воде может иметь температуру замерзания от 0°C (вода) до $-67,2^{\circ}\text{C}$ при концентрации 70 % по объему.

Твердые хладоносители — это эвтектический лед, образующийся при криогидратной температуре, представляющий собой смесь льда и соли и имеющий постоянную температуру плавления.

5.2. Газовые и вихревые холодильные машины.

Холодильной машиной называют комплект оборудования, необходимый для осуществления холодильного цикла.

В зависимости от вида физического процесса, в результате которого получают холод, холодильные машины подразделяют на следующие типы: использующие процесс расширения воздуха (газовые, вихревые); использующие фазовый переход рабочего тела из жидкого в газообразное состояние (компрессионные паровые, абсорбционные, сорбционные, парожеткорные).

В зависимости от вида потребляемой энергии различают холодильные машины на механической энергии (компрессионные паровые, газовые), теплоиспользующие (парожеткорные, абсорбционные и сорбционные).

К холодильным машинам можно также отнести воздушные детандерные, использующие процесс расширения воздуха с производством внешней работы, и безмашинные термоэлектрические, потребляющие непосредственно электроэнергию на основе эффекта Пельтье. Холодильные машины подразделяют и по другим типам.

В *газовых холодильных машинах* холодильными агентами являются газообразные вещества, агрегатное состояние которых не изменяется при совершении цикла, в основном воздух; поэтому их называют воздушными холодильными машинами.

Первые воздушные холодильные машины появились 100 лет назад. Однако тогда они не получили широкого распространения и были вытеснены с рынка пароконпрессионными, так как удельная массовая холодопроизводительность воздуха значительно меньше, чем кипящего холодильного агента в цикле паровой холодильной машины. При использовании воздушных холодильных машин требуется большая массовая подача холодильного агента, поэтому только по мере развития газотурбинной и особенно турбореактивной техники удалось создать воздушные турбохолодильные машины, близкие по экономичности в области относительно низких температур (от -80 до -120°C) к пароконпрессионным. Функциональная схема и идеальный цикл воздушной холодильной машины в S — T -диаграмме изображены на рис. 1.

Воздух в компрессоре адиабатически сжимается от давления P_1 до P_2 (процесс 1—2), нагреваясь при этом от температуры T_1 равной температуре охлаждаемого тела T_0 , до T_2 . Далее воздух охлаждается в теплообменнике $ТО$ от температуры T_2 до T_3 (процесс 2—3),

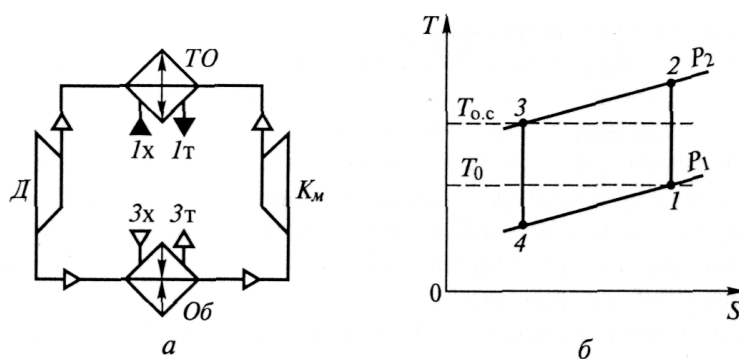


Рис. 5.1. Функциональная схема воздушной холодильной машины и цикл ее работы:

a — схема машины; b — диаграмма работы машины

равной температуре охлаждающей среды T_{oc} , отдавая поглощенную теплоту внешней среде, например воде. После этого воздух адиабатически расширяется в детандере D от давления P_2 до P_1 (процесс 3—4), совершая полезную работу, и поступает в охлаждаемый объект $Об$, где нагревается от температуры T_4 до T_1 (процесс 4—1), отводя теплоту от охлаждаемого тела, например воздуха. Из охлаждаемого объекта воздух поступает в компрессор, и цикл повторяется.

Если допустить, что воздух является идеальным газом, т.е. $C_p = \text{const}$, и представить для адиабатических процессов сжатия и расширения воздуха отношение температур в виде

$$T_2 / T_1 = T_3 / T_4 = (P_2 / P_1)^{(n-1)/n}, \quad (5.1)$$

где n — показатель адиабаты, холодильный коэффициент цикла:

$$\varepsilon = T_1 / (T_2 - T_1) = T_4 / (T_3 - T_4). \quad (5.2)$$

Коэффициент обратимости цикла

$$h = \varepsilon / \varepsilon_{\text{обр}}, \quad (5.3)$$

где $\varepsilon_{\text{обр}}$ — холодильный коэффициент обратимого цикла Карно.

Цикл воздушной холодильной машины имеет большие необратимые потери, поэтому термодинамически он целесообразен, если машина осуществляет комбинированный цикл, охлаждая и нагревая одновременно.

В воздушных холодильных машинах типа ТХМ, разработанных в нашей стране, охлаждение происходит благодаря расширению воздуха в расширительной машине — детандере с производством внешней полезной работы. Такие машины имеют холодопроизводительность 30 — 60 кВт и более и используются для быстрого замораживания эндокринного сырья (желез внутренней секреции, направляемых на медицинские цели), некоторых видов продуктов растительного происхождения (плодов, овощей, ягод), кулинарных изделий.

Машины вихревого типа представляют собой цилиндрическую трубу, разделенную диафрагмой на холодную и горячую части.

С термодинамической точки зрения процессы, протекающие в вихревой трубе, сводятся к тому, что слои воздуха, вращающиеся вблизи оси, отдают кинетическую энергию остальной (периферийной) массе воздуха и при этом охлаждаются. Другая же часть воздуха воспринимает эту энергию и нагревается в результате трения, на преодоление которого затрачивается значительная часть кинетической энергии.

Термодинамическое совершенство воздушных холодильных машин вихревого типа не превышает нескольких процентов и зависит от использования теплоты потока воздуха, выходящего из горячей части вихревой трубы. Если эта теплота утилизируется, то общая эффективность повышается. Вихревые трубы просты в изготовлении и эксплуатации, компактны и высоконадежны. Однако область их использования ограничена вследствие низкой экономичности термодинамических процессов.

5.3. Абсорбционные и сорбционные холодильные машины

Абсорбционные и сорбционные холодильные машины отличаются от компрессионных тем, что в них отвод теплоты от охлаждаемого объекта к окружающей среде осуществляется путем затраты внешней энергии в виде теплоты, а не работы.

В *абсорбционных холодильных машинах* циркулирует рабочее тело, представляющее собой бинарный раствор веществ, имеющих различные нормальные температуры кипения. Низкокипящее вещество выполняет роль холодильного агента, а высококипящее — абсорбента (поглотителя).

Бинарные растворы, используемые наиболее широко, — это аммиак — вода и вода — бромид лития. Причем аммиак в первом растворе и вода во втором являются холодильными агентами. Водоаммиачные машины используют для получения относительно низких температур (до -70°C), а бромистолитиевые — для более высоких. Теплоиспользующие абсорбционные холодильные машины перспективны с точки зрения экономии топливно-энергетических ресурсов, поскольку позволяют использовать вторичные ресурсы (отходящие газы, отработанный пар, горячую воду), теплоту ТЭЦ в неотапительный период. С точки зрения экологии также есть положительные моменты: эти машины позволяют избежать применения в качестве хладагентов хлорфторуглеродов, отрицательно воздействующих на озоновый слой атмосферы, а также выбросов машинного масла в окружающую среду.

Однако абсорбционные холодильные машины работают при температуре греющего источника $70 — 180^{\circ}\text{C}$ (чаще $155 — 180^{\circ}\text{C}$), поэтому диапазон температур до 70°C не реализуется и соответственно теплота часто просто сбрасывается в атмосферу. В этом диапазоне могут работать сорбционные холодильные машины, к которым подводится теплота низкого уровня температур, а запасы тепловой энергии в указанном температурном диапазоне огромны.

В *сорбционных холодильных машинах* используют рабочие смеси, обладающие эффектом не только сорбции, но и полной взаимной растворимости компонентов. Сорбционные холодильные машины (СХМ) не имеют конкурентов в выработке холода от теплоты низкого потенциала, начиная с температуры, превышающей всего на $10 — 15^{\circ}\text{C}$ температуру среды, охлаждающей конденсатор. Рабочими веществами таких машин могут быть ацетон (50 %) и пропанбутановая смесь техническая зимняя (50 %), а также водные растворы роданида аммония и др. С помощью СХМ возможно получение холода на уровне -30°C при тепловом коэффициенте от 5 до 10 % и выше.

Область применения СХМ — бытовые холодильники и кондиционеры, автомобильный транспорт, выбрасывающий в окружающую среду большое количество теплоты на уровне температур выше 70°C .

В бытовых холодильниках и кондиционерах может быть использована энергия солнечного излучения, полученная с помощью солнечных коллекторов. СХМ, установленные на холодильниках агропромышленного комплекса и торговли, позволяют дополнительно вырабатывать холод за счет использования теплоты перегрева паров хладагента и теплоты охлаждающего масла винтовых компрессоров. Холодопроизводительность СХМ составляет порядка 1 кВт.

5.4. Пароэжекторные холодильные машины

Пароэжекторные холодильные машины относятся к группе теплоиспользующих. В них осуществляются одновременно два цикла: прямой (силовой), в котором теплота превращается в механическую работу, и обратный (холодильный), в котором эта механическая работа используется для получения холода. В качестве рабочих тел в пароэжекторных холодильных машинах могут быть использованы вода, аммиак и хла-

доны. Однако практически применяют чаще всего пароводяные эжекторные холодильные машины, в которых рабочим телом и одновременно хладоносителем служит вода.

Пароводяные эжекторные холодильные машины работают при температуре кипения выше 0°C . В них охлаждают воду для установок кондиционирования воздуха и производственно-технологических нужд. Холодильный цикл протекает при давлении ниже атмосферного, температура кипения рабочей воды обычно $2 - 15^{\circ}\text{C}$, что соответствует остаточному давлению в испарителе $700 - 1700$ Па. Показатель μ современных парожежекторных холодильных машин в зависимости от условий работы и конструкции составляет $0,14 - 0,18$.

Машины обычно выполняют в виде агрегатов, включающих теплообменные аппараты, эжекторы и внутримашинный трубопровод с запорной, регулирующей и защитной арматурами. Агрегатированные парожежекторные холодильные машины имеют холодопроизводительность от 200 до 2000 кВт.

Вопросы для самоконтроля

1. Аммиак.
2. Хладоны (фреоны).
3. Азеотропные смеси.
4. Теплофизические свойства.
5. Физико-химические свойства.
6. Галогенизированные хладагенты.
7. Гидрофторуглероды (ГФУ) и гидрохлорфторуглероды (ГХФУ).
8. Жидкие хладоносители.
9. Твердые хладоносители.
10. Функциональная схема воздушной холодильной машины.
11. Машины вихревого типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Усов, А.В. Основы холодильной техники: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.В. Усов, И.А. Короткий. — Электрон. дан. — Кемерово : КемТИПП, 2016. — 121 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/99565>. (дата обращения 29.03.2018г).

Дополнительная

1. Буянов, О.Н. Холодильное технологическое оборудование: [Электронный ресурс]. 2009 URL: <http://www.iprbookshop.ru/14401.html> (Дата обращения: 15.02.2018). ISBN: 978-5-89289-542-2
2. Большаков, С.А. Холодильная техника и технология продуктов питания: учебник [Текст] / С.А. Большаков.— М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 304 с.Дополнительная литература

УСТРОЙСТВО КОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

6.1. Компрессионные паровые холодильные машины

подавляющее большинство действующих холодильных машин — парокompрессионные, которые в зависимости от типа используемого компрессора подразделяют на поршневые, центробежные, винтовые и ротационные. Для обеспечения требуемых температур кипения и конденсации рабочего тела используют одноступенчатые, многоступенчатые и каскадные компрессионные паровые холодильные машины.

Функциональные схемы паровой одноступенчатой холодильной машины с детандером и дросселем и их циклы, а также принципиальная схема многоступенчатых парокompрессионных машин и их цикл были рассмотрены выше. Также было дано описание Циклов в парокompрессионных холодильных машинах.

Для реализации цикла в комплект компрессионной паровой холодильной машины входят компрессор, конденсатор, испаритель, теплообменник, приборы автоматики, пускозащитная электроаппаратура, монтажные трубопроводы и другие элементы.

Наиболее широко распространены *компрессионные паровые холодильные машины с поршневыми компрессорами*, обладающие наиболее высокими по сравнению с машинами других типов энергетическими коэффициентами, способностью работать при более высоком отношении давлений конденсации и кипения. Однако они менее надежны, чем машины с центробежными и винтовыми компрессорами. Это машины средней холодопроизводительности. Их используют в рассольных системах охлаждения, но можно применять и в системе непосредственного охлаждения, как и машины малой холодопроизводительности.

Холодильные машины с центробежными компрессорами имеют низкую энергетическую эффективность при небольшой холодопроизводительности (менее 700 кВт), поэтому используются при повышенной холодопроизводительности.

Холодильные машины с винтовыми маслозаполненными компрессорами высоконадежны, имеют удовлетворительные энергетические показатели при производительности, превосходящей верхний предел эффективности холодильных машин с поршневыми компрессорами. Несмотря на основной недостаток — наличие металлоемкой масляной системы, холодильные машины с винтовыми компрессорами получили большое распространение.

Холодильные машины с ротационными пластинчатыми компрессорами отличаются простотой устройства, изготовления и эксплуатации, большей уравновешенностью, чем поршневые, так как в них нет деталей, совершающих возвратно-поступательное движение, нечувствительностью компрессора к гидравлическим ударам. Однако они имеют недостатки: значительные потери на трение, повышенный шум. При холодопроизводительности от нескольких сот ватт до нескольких киловатт сравнимы с показателями холодильных машин с поршневыми компрессорами.

6.2. Поршневые компрессоры

Виды поршневых компрессоров. Поршневые компрессоры подразделяют по холодопроизводительности, виду холодильного агента, области применения, устройству кривошипно-шатунного механизма, конструкции корпуса, расположению цилиндров, направлению движения пара в последних, числу степеней сжатия, степени герметичности и некоторым другим признакам.

По холодопроизводительности поршневые компрессоры подразделяют на малые (Q_0 до 12 кВт), средние (Q_0 12—120 кВт) и крупные (Q_0 более 120 кВт).

По виду холодильного агента различают аммиачные, хладоновые (фреоновые) и универсальные компрессоры.

В зависимости от области применения компрессоры подразделяют на стационарные, транспортные и др.

По устройству кривошипно-шатунного механизма различают компрессоры крейцкопфные, или ползунковые (двойного действия), и бескрейцкопфные (простого действия).

Крейцкопфные компрессоры бывают в основном одноцилиндровые, горизонтальные, сальниковые, непрямоточные.

Наиболее распространены бескрейцкопфные открытые компрессоры вертикальные и V-образные, прямоточные и непрямоточные (рис. 2).

Число цилиндров у бескрейцкопфных компрессоров колеблется от 2 до 16. Двухцилиндровые компрессоры, как правило, вертикальные. Если цилиндров больше, применяют различные пространственные схемы их расположения.

Бескрейцкопфные компрессоры разнообразны по конструктивному исполнению.

По конструкции корпуса компрессоры подразделяют на блок-картерные (общая отливка блока с картером) и разъемные (блок цилиндров и картер представляют собой отдельные детали).

Большое распространение получили блок-картерные компрессоры. В цилиндрическую часть блок-картера вставляют сменные цилиндрические гильзы. Блок-картерные компрессоры по сравнению с разъемными отличаются большей жесткостью и прочностью при меньшей толщине стенок цилиндров; их изготовление и ремонт проще.

В зависимости от кинематической схемы и расположения оси цилиндров компрессоры делят на прямоточные и непрямоточные; горизонтальные и вертикальные; с угловым расположением цилиндров — V-, W-образные или веерные, крестообразные, звездообразные.

В прямоточном компрессоре всасывающие клапаны располагаются на днище поршня, а нагнетательные — в верхней части цилиндра, в ложной крышке.

В непрямоточных компрессорах клапаны всасывающие и нагнетательные размещаются в верхней части цилиндра — на клапанной доске. При движении поршня вниз давление в цилиндре компрессора становится ниже, чем во всасывающей полости, и пар проходит через вентиль во всасывающую полость, а затем через всасывающий клапан в полость цилиндра. При движении поршня вверх пар сжимается до давления конденсации и через нагнетательный клапан попадает в нагнетательную полость.

По числу степеней сжатия компрессоры бывают одно- и многоступенчатые.

По степени герметичности и числу разъемов компрессоры подразделяют:

на герметичные — со встроенным электродвигателем в запаянном кожухе без разъемов;

бессальниковые — со встроенным электродвигателем, с разъемами и съемными крышками;

открытые, или сальниковые, в которых ведущий вал уплотняется при помощи сальника;

простого действия, в которых сжатие пара осуществляется одной стороной поршня, и двойного действия, в которых обе стороны поршня рабочие.

Герметичные компрессоры — компрессор и электродвигатель заключены в общий герметически закрытый сварной стальной кожух. Электродвигатели устанавливают однофазные и трехфазные асинхронные. Ротор электродвигателя насаживается непосредственно на вал компрессора. Частота вращения вала может быть близка к 50 с^{-1} , что позволяет уменьшить геометрические размеры, габариты и массу компрессора при той же холодопроизводительности. Обмотка электродвигателя охлаждается потоком всасываемого пара холодильного агента, благодаря чему возможно повышение на

него нагрузки. Герметичные машины почти бесшумны. Их холодопроизводительность находится в пределах от нескольких сотен ватт до 10 кВт. Герметичные компрессоры изготавливают для трех различных диапазонов температур кипения холодильного агента: С — среднетемпературного от -25 до +10 °С; Н - низкотемпературного от -40 до -25 °С и В — высокотемпературного от -10 до +10 °С.

Компрессоры С используют в торговом холодильном оборудовании и бытовых холодильниках. В бытовых холодильниках применяют в основном одноцилиндровые поршневые непрямotoчные герметичные компрессоры с вертикальным цилиндром и горизонтальным валом. Электродвигатели в последнее время используют однофазные асинхронные с пусковой обмоткой и короткозамкнутым ротором, скорость вращения которого, а следовательно, и вала компрессора 50 с⁻¹.

Компрессоры Н применяют в низкотемпературном холодильном оборудовании и небольших морозильных устройствах.

Компрессоры В используют для кондиционеров, охладителей напитков, соков, молока и других устройств.

Бессальниковые компрессоры непрямotoчные. Разъемное соединение и съемные крышки обеспечивают доступ к их внутренним частям. Обмотки электродвигателей, как и герметичных компрессоров, охлаждаются всасываемым паром холодильного агента.

Отличительная особенность бессальниковых компрессоров – отсутствие сальников, так как электродвигатель находится на одном валу с компрессором и располагается в его картере. Такая конструкция позволяет уменьшить габариты и практически полностью исключить утечку рабочего тела.

Холодопроизводительность таких компрессоров находится в пределах от нескольких до нескольких десятков киловатт (средние по величине холодопроизводительности компрессоры).

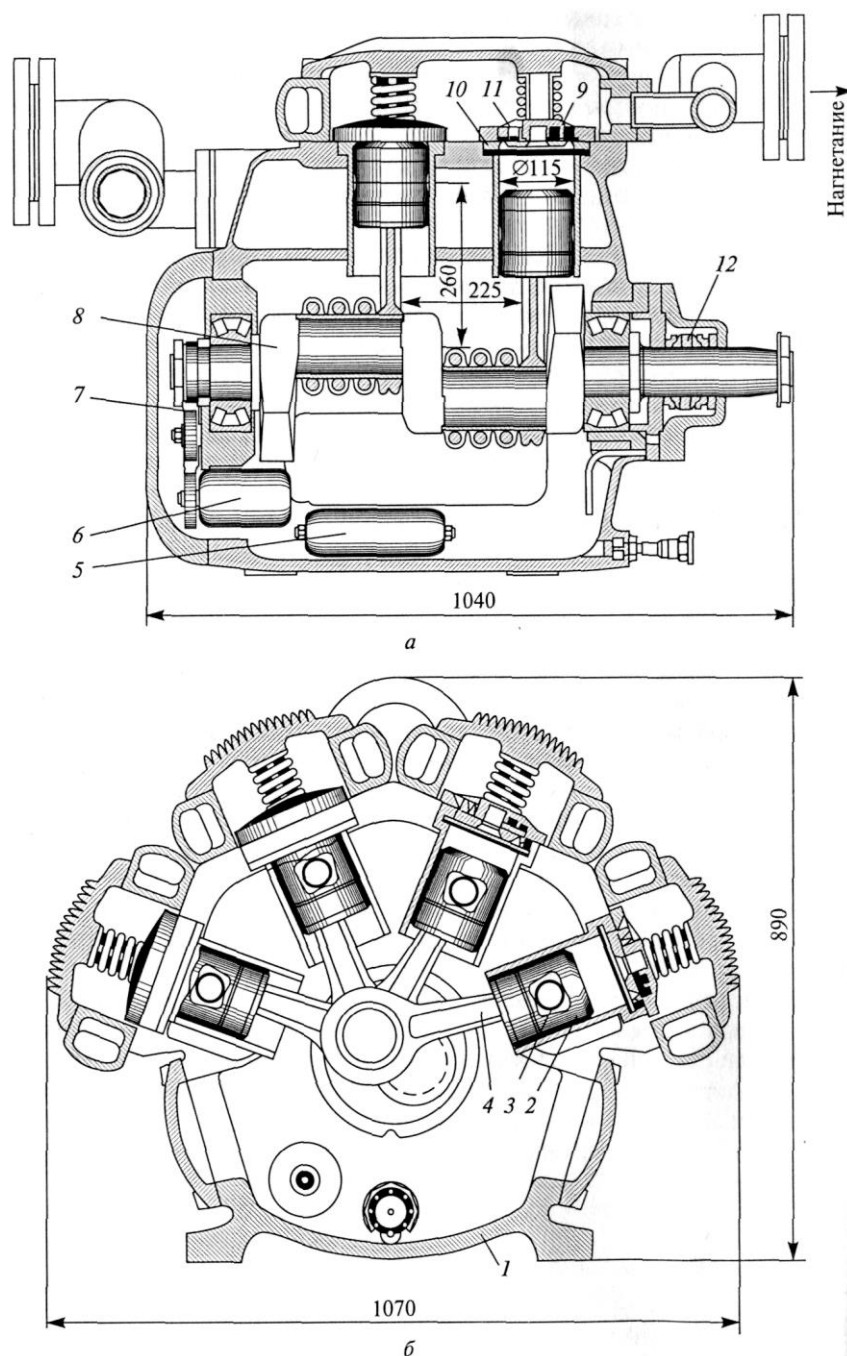


Рис. 6.1. Бескрейцкопфный непрямоточный VV-образный одноступенчатый компрессор П220:

a - продольный разрез; *б* — поперечный разрез; 1 — блок-картер; 2 — гильза Цилиндра; 3— поршень с кольцами; 4— шатун; 5— заборный масляный фильтр; 6 - шестеренчатый затопленный насос; 7— шестерни привода масляного насоса; 8 - коленчатый вал с противовесами; 9 — ложная крышка; 10 — всасывающий клапан; 11 — нагнетательный клапан; 12— сальник уплотнения вала

В сальниковых компрессорах самым уязвимым конструктивным узлом является уплотнение коленчатого вала, через которое наиболее вероятно утечка холодильного агента. Особенно велика опасность утечки в малых хладоновых компрессорах.

По характеру охлаждения блока цилиндров бывают компрессоры с воздушным и водяным охлаждением. Воздушное охлаждение используется в малых холодильных компрессорах, во всех остальных применяют водяное принудительное охлаждение.

Для смазки трущихся деталей используются принудительная, непринудительная или комбинированная системы смазки.

По типу привода различают компрессоры с ременной передачей; непосредственно соединенные с электродвигателем муфтой; с электродвигателем, ротор которого насажен на вал компрессора.

По частоте вращения коленчатого вала компрессоры разделяют на тихоходные — до 500 об/мин и быстроходные — свыше 500 об/мин.

Унифицированные поршневые компрессоры выпускают для хладонов I и II баз, для аммиака и хладонов — III и IV баз, для аммиака — V базы.

Герметичные компрессоры I базы имеют горизонтальное и вертикальное расположения двух или четырех цилиндров.

Компрессоры герметичные и бессальниковые предназначены для хладонов, сальниковые — для аммиака и хладонов. Хладоновые компрессоры I, II и III баз — непрямоточные, IV — прямоточные; аммиачные III и IV баз — прямоточные; аммиачные компрессоры V базы — крейцкопфные непрямоточные с опозитным расположением двух или четырех цилиндров.

Для смазки цилиндров и механизма движения в аммиачных компрессорах используют масла ХА, ХА-30, ХС-40, а в хладоновых — ХФ-12-16, ХФ-22-24, ХФ-22с.

При маркировке унифицированных поршневых компрессоров применяют следующие обозначения: П — поршневой, Ф — хладоновый (фреоновый), А — аммиачный, В — вертикальный, V — V-образный, W — веерообразный, Б — бессальниковый, Г — герметичный, О — опозитный. Цифры после букв означают холодопроизводительность (кВт).

В сальниковых компрессорах марок П14, П20, П28 и др. расположение цилиндров V-, W-, VV-образное.

В бессальниковых компрессорах марок ПБ5, ПБ7 — ПБ220 расположение цилиндров также V-, W-, VV-образное.

Основные конструктивные узлы и детали поршневых компрессоров — рама, картер, блок-картер, цилиндры, коленчатые валы, шатуны, поршни, поршневые кольца, клапаны, сальники.

Картер представляет собой конструктивную основу машины. Картер вертикальных и V-образных компрессоров имеет вид коробки с боковыми окнами, которые закрываются съемными крышками. Крышку со стороны маховика, через которую проходит коленчатый вал компрессора, называют задней, а противоположную ей — передней. Сверху картера крепится *блок цилиндров*. Многие конструкции вертикальных компрессоров выполняются *блок-картерными*. В этом случае цилиндры и картеры отливаются в виде единой детали. Блок-картерные компрессоры компактнее, имеют меньше фланцевых соединений, проще и дешевле в производстве.

В каждый цилиндр запрессовывают сменные гильзы, которые в случае износа могут быть заменены новыми. Сменные гильзы уплотняют по верхнему и нижнему поясам резиновыми кольцами. Для охлаждения цилиндров верхнюю часть их боковой поверхности отливают с ребрами (при охлаждении воздухом) или со специальной полостью (при охлаждении водой — водяной рубашкой).

Коленчатые валы по конструкции могут быть кривошипными и эксцентриковыми. Их выполняют штампованными, литыми или цельноковаными из высококачественной углеродистой или легированной стали. Опорой коленчатого вала служат подшипники, расположенные в крышках картера или корпусе.

Чтобы движение поршня было равномерным, на конец коленчатого вала, выступающий из картера, насаживается маховик — шкив большего диаметра с тяжелым

ободом. При непосредственном соединении компрессора с электродвигателем необходимость в маховике отпадает, его роль выполняет ротор двигателя.

Шатуны передают движение от коленчатого вала к поршням. Они — штампованные стальные двутаврового сечения с разъемной нижней головкой, с вкладышем, залитым баббитом, и неразъемной верхней головкой с бронзовой втулкой.

Нижние головки шатунов, которые охватывают шейки коленчатого вала, стягиваются стальными болтами с зашплинтованными корончатыми гайками. Верхние головки пальцами поршня закрепляются в поршне.

Поршни по конструкции делят на дисковые и тронковые. Дисковые используют в крупных крейцкопфных компрессорах двойного Действия, когда по обе стороны поршня расположены рабочие объемы цилиндра. Тронковые поршни могут быть двух типов: проходные для прямоточных машин, непроходные для непрямоточных.

Конструкция проходных поршней позволяет увеличить проходные сечения всасывающего и нагнетательного клапанов.

Непроходные поршни отличаются простотой конструкции и небольшой массой. Их используют в малых и средних непрямоточных компрессорах. Поршни для герметичных компрессоров делают без поршневых колец. Вместо них на боковой поверхности протачивают неглубокие канавки для сбора и равномерного распределения масла по зеркалу цилиндра.

Всасывающие и нагнетательные клапаны выполняют в компрессоре распределительную функцию. Через всасывающие клапаны происходит засасывание паров холодильного агента из всасывающего трубопровода в цилиндр компрессора, а через нагнетательные — выталкивание сжатых паров в нагнетательный трубопровод. В поршневых холодильных компрессорах клапаны самодействующие, т.е. они открываются и закрываются под действием разности давлений по обе их стороны.

На всасывающие клапаны прямоточных компрессоров, расположенные в днище поршня, помимо давления газа действуют силы инерции. В вертикальном прямоточном компрессоре при движении поршня вверх и достижении им верхней мертвой точки клапанная пластина по инерции стремится продолжить движение вверх, и клапан открывается, в то время как поршень после остановки начинает двигаться вниз. Когда же поршень останавливается в нижней мертвой точке, клапанная пластина по инерции стремится продолжить движение вниз, прижимается к седлу клапана, и он закрывается.

В бескрейцкопфных компрессорах применяют пластинчатые клапаны, получившие свое название потому, что их рабочей запорной деталью служат тонкие (0,8—1,5 мм) стальные пластины. Пластинчатые клапаны в зависимости от конфигурации и крепления клапанных пластин бывают кольцевыми, полосовыми, язычковыми.

Кольцевые клапаны применяют в средних и крупных компрессорах.

В конструкциях клапанов, закрепленных на поршнях, используют беспружинные кольцевые и полосовые клапаны. Полосовые клапаны называют еще ленточными, поскольку в них отверстия для прохода пара перекрываются упругими пластинами, имеющими форму лент.

Предохранительные клапаны предотвращают аварии при чрезмерном повышении давления нагнетания. При превышении предельной разности давлений нагнетания и всасывания ($\Delta P = 1,68$ МПа) предохранительные клапаны перепускают сжатый пар из полости нагнетания в полость всасывания.

Применяют в основном пружинные самодействующие предохранительные клапаны. Когда разность давлений превышает допустимую, пружина сжимается, клапан открывается и нагнетательная сторона компрессора соединяется с всасывающей.

Сальниками называют специальные устройства для уплотнения подвижных деталей, например валов, штоков, плунжеров, в целях предотвращения утечки жидкостей, пара или газа. Применяют сальники с кольцами трения. Сальники открытых хладоновых компрессоров бывают сильфонного и мембранного типов.

6.3. Ротационные компрессоры

Ротационные компрессоры более уравновешены, чем поршневые, поскольку у них нет кривошипно-шатунного механизма, совершающего возвратно-поступательное движение. Кроме того, они не имеют всасывающих клапанов и могут работать при больших частотах вращения вала. Габариты ротационных компрессоров невелики. Изготавливают их с катящимися, качающимися и вращающимися роторами, последние (пластинчатые компрессоры) — с двумя, четырьмя и более пластинами, с круглым или эллиптическим цилиндром.

Вал ротационных компрессоров расположен эксцентрично по отношению к цилиндру. На вал насажен ротор (поршень) с фрезерованными по всей длине пазами, в которые вставлены асботекстолитовые пластины. При вращении ротора пластины под действием центробежной силы выходят из пазов и прижимаются к поверхности цилиндра, образуя замкнутые полости.

Пар из всасывающего трубопровода захватывается пластинами, отсекается в верхней части цилиндра вращающимся ротором и сжимается. При дальнейшем вращении полость со сжатым паром соединяется с нагнетательным трубопроводом и пар выталкивается.

Ротационные компрессоры используют в основном в установках большой холодопроизводительности в качестве ступеней низкого давления в агрегатах двухступенчатого сжатия. Но выпускают и герметичные компрессоры небольшой холодопроизводительности.

Ротационный герметичный компрессор с катящимся ротором состоит из неподвижного цилиндра и поршня-ротора, вращающегося на эксцентриковой шейке вала. К ротору при помощи пружины прижимается лопасть, разделяющая рабочий объем цилиндра на две части: в одной протекает процесс всасывания, в другой — сжатия и нагнетания.

При работе компрессора пары хладона поступают через всасывающий патрубок в кожух, омывают электродвигатель и охлаждают его, затем через всасывающую трубку всасываются компрессором. Сжатые пары холодильного агента через нагнетательный клапан выталкиваются из цилиндра в глушитель, а из него по трубопроводу подводятся к нагнетательному штуцеру. Холодопроизводительность таких компрессоров от 255 до 640 Вт.

6.4. Винтовые компрессоры

Основу винтовых компрессоров составляют два ротора (оба с зубчато-винтовыми лопастями): ведущий и ведомый, расположенные в корпусе (рис. 6.3).

Винтовые впадины роторов, проходя мимо всасывающего окна, заполняются газообразным холодильным агентом. При дальнейшем вращении роторов газ сжимается, так как зубья одного ротора входят во впадины другого и при этом уменьшается объем, занимаемый газом. К концу сжатия впадины со сжатым газом объединяются с нагнетательным окном. Винтовое расположение на роторах нескольких впадин обеспечивает непрерывность подачи газа компрессором.

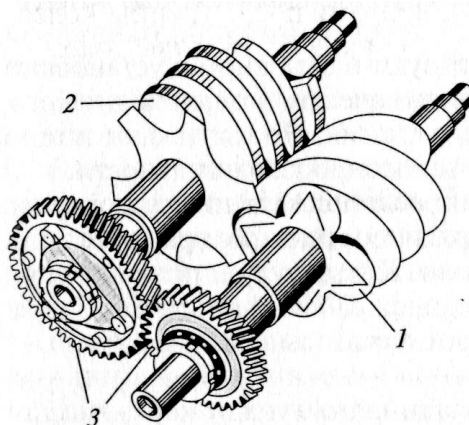


Рис. 5.3. Роторы винтового компрессора:
1 — ведущий ротор с четырьмя зубьями; 2 — ведомый ротор с шестью впадинами; 3 — синхронизирующие шестерни

Применяют большей частью маслозаполненные винтовые компрессоры, в рабочем пространстве которых подается масло. Это повышает производительность компрессора вследствие уменьшения внутренних перетечек холодильного агента через зазоры между корпусом и роторами и между самими роторами, а также снижения температуры нагнетания холодильного агента.

После прохождения компрессора хладагент направляется в маслоотделитель, в котором отделяется до 95 % масла. Шестеренчатым насосом масло направляется в маслоохладитель, через фильтры снова подается в рабочее пространство компрессора и на смазку подшипников.

Винтовые компрессоры надежны в эксплуатации, их холодопроизводительность можно плавно регулировать с помощью золотникового устройства, изменяющего активную длину винтов, у них отсутствует трение в полости сжатия. Они имеют небольшие габариты и массу по сравнению с поршневыми и даже ротационными компрессорами.

Винтовые компрессоры характеризуются очень низким пределом давления всасывания ($5 - 2$ кПа), что позволяет широко использовать их в низкотемпературных установках. Частота вращения ведущего ротора у них составляет 50 с^{-1} .

Целесообразно применение аммиачных винтовых компрессоров холодопроизводительностью $350 - 1745$ кВт. При более низкой производительности они утрачивают преимущества перед поршневыми по массе и габаритным размерам из-за громоздкости маслосистемы.

6.5. Турбокомпрессоры

Турбокомпрессоры редко используют в пищевой промышленности из-за большой холодопроизводительности и широкого применения аммиака в качестве холодильного агента. По сравнению с поршневыми они обладают рядом преимуществ: отсутствие клапанов, динамическая уравновешенность, высокооборотность и малые габариты. Турбокомпрессоры обычно имеют несколько колес, поэтому являются многоступенчатыми машинами. По принципу работы они подразделяются на осевые и центробежные.

Осевые компрессоры применяют для очень большой холодопроизводительности, центробежные — для холодопроизводительности от 500 до нескольких тысяч киловатт. На валу центробежного компрессора вращаются рабочие колеса с лопатками, передающие кинетическую энергию холодильному агенту, который выбрасывается из колеса в диффузор, где его кинетическая энергия преобразуется в

энергию давления. Диффузор выполняется безлопаточным, лопаточным и прямолинейным. Движение пара на рабочем колесе складывается из вращения его вместе с колесом (абсолютное движение) и перемещения вдоль лопаток (относительное движение), что в сумме определяет абсолютную скорость движения пара, а следовательно, его кинетическую энергию. Работа, затрачиваемая на сжатие пара, уменьшается по мере приближения процесса сжатия к изотермическому, поэтому после группы колес применяется промежуточное охлаждение пара в холодильниках.

Вопросы для самоконтроля

1. Компрессионные паровые холодильные машины.
2. Холодильные машины с центробежными компрессорами.
3. Холодильные машины с винтовыми маслозаполненными компрессорами.
4. Холодильные машины с ротационными пластинчатыми компрессорами.
5. Абсорбционные холодильные машины.
6. Сорбционных холодильные машины.
7. Пароэжекторные холодильные машины.
8. Виды поршневых компрессоров.
9. Герметичные компрессоры.
10. Бессальниковые компрессоры.
11. Картер.
12. Блок цилиндров.
13. Коленчатые валы.
14. Шатуны.
15. Поршни.
16. Всасывающие и нагнетательные клапаны.
17. Предохранительные клапаны.
18. Сальники.
19. Ротационные компрессоры.
20. Винтовые компрессоры.
21. Турбокомпрессоры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Усов, А.В. Основы холодильной техники: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.В. Усов, И.А. Короткий. — Электрон. дан. — Кемерово : КемТИПП, 2016. — 121 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/99565>. (дата обращения 29.03.2018г).

Дополнительная

1. Буянов, О.Н. Холодильное технологическое оборудование: [Электронный ресурс]. 2009 URL: <http://www.iprbookshop.ru/14401.html> (Дата обращения: 15.02.2018). ISBN: 978-5-89289-542-2
2. Большаков, С.А. Холодильная техника и технология продуктов питания: учебник [Текст] / С.А. Большаков. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 304 с. Дополнительная литература

ОХЛАЖДАЕМЫЕ СООРУЖЕНИЯ

7.1. Классификация холодильников для пищевых продуктов

Охлаждаемые сооружения, или холодильники, — это промышленные специально оборудованные здания с холодильной компрессорной установкой, обеспечивающей в них температурно-влажностный режим, соответствующий технологическим нормам хранения или производства пищевых продуктов.

В холодильниках поддерживают пониженную температуру воздуха (от +4 до -30 °С) и повышенную относительную влажность (80 — 95 %). Для создания и поддержания таких параметров их сооружают без окон, они имеют мощную тепловую изоляцию кровли, наружных и внутренних ограждений, дверей, оснащаются оборудованием для охлаждения помещений и устройствами для предотвращения промерзания грунта в основании здания.

7.2. Классификация холодильников по назначению.

По назначению различают следующие типы холодильников: заготовительные, производственные, распределительные, базисные, для хранения овощей и фруктов, продовольственных баз, портовые, перевалочные, предприятий розничной торговли и общественного питания, смешанного назначения.

Заготовительные холодильники сооружают в районах заготовок скоропортящихся пищевых продуктов. Они предназначены для первоначальной холодильной обработки, кратковременного хранения и подготовки заготавливаемых продуктов к транспортировке на торговые предприятия или распределительные холодильники и холодильники других типов.

Производственные холодильники — составная часть пищевых предприятий (мясокомбинатов, рыбокомбинатов, консервных, молочных заводов и др.). Они осуществляют холодоснабжение технологических процессов производства. Их используют для охлаждения, замораживания и хранения сырья и готовой продукции.

Распределительные холодильники предназначены для создания и хранения резервных, сезонных, текущих и страховых запасов скоропортящегося сырья и готовой продукции, обеспечивающих ритмичность производства пищевых отраслей и равномерное снабжение пищевыми продуктами населения в течение года.

Распределительные холодильники могут быть универсальными или специализированными в зависимости от номенклатуры сохраняемых грузов. В состав распределительных холодильников, особенно вместимостью от 7000 до 20 000 т, могут входить цехи по выработке мороженого или быстрозамороженных пищевых продуктов (ягод и т.д.), сухого и водного льда, фасовке масла, изготовлению полуфабрикатов. Такие холодильники называются хладокомбинатами.

Базисные холодильники предназначены для длительного хранения резервов скоропортящихся продуктов (госрезерв). Эти холодильники сооружают в местах, которые удалены от населенных пунктов и надежно защищены.

Холодильники для хранения овощей и фруктов могут быть самостоятельными предприятиями либо входить в состав плодоовощных и продовольственных баз. Они располагаются в сельской местности, играя роль заготовительных, или в местах потребления (в городах, поселках).

Холодильники продовольственных баз предназначены для обслуживания торговой сети небольших городов. В них поступают пищевые продукты с производственных и распределительных холодильников.

Портовые холодильники используют для хранения пищевых продуктов, перевозимых водным транспортом. В них осуществляется перевалка пищевых продуктов с судов-рефрижераторов на железнодорожный и автомобильный транспорт и наоборот, поэтому их относят к группе транспортно-экспедиционных.

Перевалочные холодильники предназначены для кратковременного хранения грузов при передаче их с одного вида транспорта на другой, например с железнодорожного на автомобильный и наоборот.

Холодильники предприятий розничной торговли и общественного питания предназначены для хранения запасов продуктов, которые реализуются предприятиями в течение нескольких дней.

Холодильники смешанного назначения выполняют несколько функций. Например, производственные и портовые холодильники в крупных городах могут осуществлять одновременно функции распределительных. А портовые холодильники в рыбных портах могут выполнять роль производственных холодильников рыбокомбинатов.

7.3. Классификация холодильников по грузовместимости.

По грузовместимости холодильники подразделяют на мелкие (до 100 т), малые (до 300 т), средние (до 500 т), крупные (до 10 000 т) и сверхкрупные (свыше 10 000 т).

Грузовместимость (емкость) холодильников выражают в тоннах условного груза. За условный груз принимают мясо в полутушах, имеющее при укладке на пол в штабель объемную массу $0,35 \text{ т/м}^3$ или при размещении на подвесных путях загрузку $0,25 \text{ т}$ на 1 м пути (исключая распределительные пути и стрелки). В зависимости от характера груза, его упаковки и укладки расчетная объемная масса груза может быть больше или меньше указанной. Условную грузовместимость холодильника определяют по формуле

$$E_x = E_{к.о} + E_{к.з} + E_{к.п}, \quad (7.1)$$

где $E_{к.о}$ и $E_{к.з}$ — условные грузовместимости всех камер хранения соответственно охлажденных и замороженных грузов, т; $E_{к.п}$ — условная грузовместимость всех камер хранения охлажденного мяса, оборудованных подвесными путями, т;

$$E_{к.о} = 0,35 V_{з.о}; E_{к.з} = 0,35 V_{з.з}; E_{к.п} = 0,25L, \quad (7.2)$$

где $V_{з.о}$, $V_{з.з}$ — грузовой объем камер хранения соответственно охлажденных и замороженных грузов, м^3 ; L — грузовая длина подвесных путей, м.

Условную грузовместимость можно перевести в фактическую (для конкретного груза) путем ее деления на коэффициент пересчета. Так, коэффициент пересчета, например, для яиц в картонных коробках принимают равным $1,35$, для сливочного масла в картонных ящиках — $0,44$.

При определении грузовместимости холодильника не учитывают камеры охлаждения и замораживания, охлаждаемые помещения, не предназначенные для хранения продуктов (экспедиции, накопительные камеры, загрузочные и разгрузочные помещения, льдохранилища), а также неохлаждаемые помещения (подсобные помещения, коридоры, вестибюли, лифтовые шахты и лестничные клетки).

Охлаждаемый строительный объем камеры холодильника, м^3 , определяют по формуле

$$V_c = FH, \quad (7.3)$$

где F — площадь пола камеры, м^2 ; H — высота камеры от пола до потолка, м.

Грузовой объем камеры V_z , меньше строительного:

$$V_z = F_z H_z < V_c, \quad (7.4)$$

где F_z — площадь пола камеры, на который уложен груз, м^2 ; H_z — грузовая высота помещения, м;

$$F_z = F - \sum f, \quad (7.5)$$

где $\sum f$ — общая площадь пола, занятая колоннами, проходами и проездами, холодильным оборудованием, м^2 ;

$$H_z = H - h, \quad (7.6)$$

где h — расстояние от верха штабеля до потолка или балок, приборов охлаждения и воздушных каналов (0,2 — 0,3 м).

Грузовместимость распределительных холодильников устанавливается на основе годового грузооборота. Имеющиеся в нашей стране распределительные холодильники рассчитаны на кратность грузооборота 4 — 6 в год.

На холодильнике мясокомбинатов вместимость камер для хранения замороженного мяса должна соответствовать 40 — 60-сменной производительности комбината по выработке мяса, а камер хранения охлажденного мяса — двухсуточному производственному запасу. Грузовместимость холодильника при городском молочном заводе принимается равной 10 — 15-сменному объему производства продукции, подлежащей хранению.

Холодильники грузовместимостью до 700 т относятся к I классу, свыше 700 т — ко II классу капитальности здания со сроком эксплуатации 50 — 100 лет, от 250 до 700 т — к III классу со сроком эксплуатации 25 — 50 лет, менее 250 т — к IV классу со сроком эксплуатации 5 — 25 лет.

Основные несущие конструкции зданий II и III классов выполняются из железобетона или стали.

Здания холодильников — одноэтажные и многоэтажные; иногда в них устраивают подвальный этаж.

В одноэтажных холодильниках, где нет необходимости поэтажного вертикального перемещения грузов, появляется возможность увеличения пролетов несущих конструкций здания до 24 — 30 м (по сравнению с сеткой колонн 6 · 6 м в многоэтажных холодильниках), в два-три раза полезной нагрузки на полы вследствие их расположения на грунте, что позволяет складировать грузы на большую высоту (10 — 20 м). Однако одноэтажные холодильники отличаются повышенными по сравнению с многоэтажными теплопритоками через наружные ограждения (на 20 — 40 %), особенно через кровлю, поверхность которой может составлять до 70 % всей поверхности их наружных ограждений.

Для многоэтажных холодильников проще решается вопрос защиты грунта в основании здания от промерзания. Они занимают меньшую площадь, теплопритоки через кровлю в общем балансе тепlopотуплений в них меньше, чем в одноэтажных.

Объемно-планировочное решение и число холодильных камер того или иного назначения (структура грузоместимости) должны позволять внедрять передовую тех-

нологию холодильной обработки и хранения пищевых продуктов, организовывать рациональные грузопотоки в здании, добиваться высокого уровня механизации погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ, минимальных теплопритоков и расхода холода.

В России холодильники грузовместимостью свыше 4000 т оснащены в основном камерами грузовместимостью более 400 т (свыше 90 %). Грузовместимость камер хранения замороженных продуктов (-20°C) распределительных холодильников составляет 50 — 70%, камер хранения охлажденных продуктов ($+4\ldots-3^{\circ}\text{C}$) — 20 — 35%, универсальных ($0\ldots-20^{\circ}\text{C}$) — 10—15%, камер замораживания (-30°C) — 0,5—1 %. Размеры камер различны. Например, в одноэтажных холодильниках камеры для хранения замороженных продуктов имеют площадь 300 — 600 м², а камеры для хранения охлажденных продуктов — до 300 м². В многоэтажных холодильниках площадь камер больше — до 1000 м².

Камеры с одинаковым температурным режимом формируют блоки (отсеки) по горизонтали (на этажах) и вертикали (в здании). В подвале располагают камеры с температурой не ниже -3°C , чтобы не промерзал грунт под полом.

Многоэтажные холодильники строят шириной до 40 м, одноэтажные — 24 — 72 м. Длина холодильника определяется в основном фронтом погрузочно-разгрузочных работ, т.е. длиной железнодорожной и автомобильной платформ, которая зависит от вместимости холодильника и грузооборота. Для холодильников вместимостью свыше 3000 т длина железнодорожной платформы должна быть не менее 120 м, т.е. достаточной для разгрузки 5-вагонной рефрижераторной секции.

Для охлаждения мяса используют до 3 камер, для замораживания — 5 - 7, для хранения охлажденного мяса — 1 - 2 (площадью 200 — 300 м²), замороженного мяса — 3 - 4 (площадью 300 — 1000 м²). В зависимости от необходимости для холодильной обработки и хранения используют универсальные камеры (от 1 до 3).

С утверждением в нашей стране рыночных отношений изменились предусмотренные в проектах условия работы холодильных предприятий, в первую очередь распределительных холодильников, спроектированных и построенных в период планово-распределительной экономики и предназначенных для единовременного длительного хранения пищевых продуктов в больших количествах.

В связи с ростом грузооборота, вызванным сокращением сроков хранения грузов, неритмичным их поступлением, малыми партиями грузов, использование имеющихся емкостей холодильников не превышает 25 — 35 %, в то время как раньше оно доходило до 100 %. Появилась необходимость в камерах небольшой вместимости, которые могли бы арендовать мелкие торговые фирмы. Необходима перепланировка существующих холодильных камер, что позволит повысить степень загрузки холодильников, снизить себестоимость грузооборота, увеличить прибыль.

Создание холодильных камер вместимостью 100 т на базе холодильных вместимостей имеющихся распределительных холодильников позволяет увеличить количество охлаждаемых объемов и эффективность их использования.

На рис. 1 представлена схема реструктуризированной холодильной камеры.

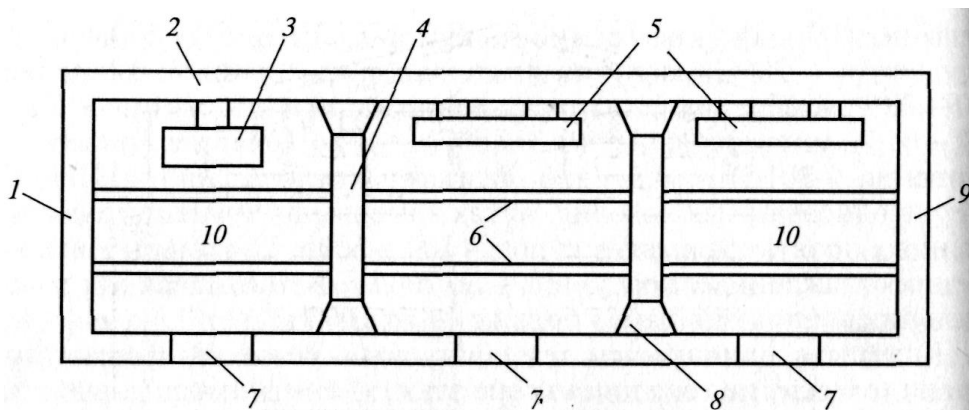


Рис. 7.1. Реструктуризированная холодильная камера:

1 — теплоизоляционное ограждение; 2, 9 — боковые ограждения; 3 — воздухоохладитель; 4 — передвижная перегородка; 5 — пристенные батареи; 6 — монорельсовые пути; 7 — двери; 8 — уплотнитель из эластичного материала; 10 — автономные отсеки

При создании новых холодильников рационально компоновать их в виде модулей различной грузоместимости, приспособленных как для хладообработки грузов, так и для их хранения.

Приведем технические характеристики холодильных модулей производительностью по замораживанию 1; 3 и 6 т мяса в сутки.

В отличие от существующих холодильников, каркасы которых выполняются из сборных железобетонных конструкций с многослойными ограждающими стенами из кирпича или железобетонных панелей с тепловой изоляцией, каркас модулей выполняется из металлических рам, профильного железа и трубных стоек, а стены — из теплоизолированных пенополиуретаном панелей типа «сэндвич». Такая конструкция позволяет транспортировать модуль в разобранном виде по железной дороге и автомобильным транспортом.

Холодоснабжение обеспечивают 4 холодильные машины с воздушным охлаждением конденсаторов, позволяющие регулировать температуру путем отключения отдельных агрегатов в зависимости от загрузки камер и наружной температуры. Максимальная потребляемая мощность при температуре в камерах -3°C 1,2 кВт.

7.4. Конструкции холодильников

Конструкции холодильника подразделяют на несущие и ограждающие.

Ограждающие конструкции защищают здание от воздействия внешней среды (стены и покрытия) или условий соседних помещений (междуэтажные перекрытия в многоэтажных холодильниках, полы, внутренние стены).

Несущие конструкции для многоэтажных и одноэтажных холодильников различны.

В многоэтажных холодильниках несущей конструкцией служит каркас, наружные стены являются самонесущими.

Каркас состоит из сборных железобетонных вертикальных колонн (их сетка 6х6 м), сборных капителей, надколонных и пролетных плит. Каркас воспринимает собственную массу конструкций, массу снега на кровле, ветровую нагрузку, массу хранящихся продуктов, а также механизмов и передает эту нагрузку через фундамент на основание — грунт, на котором расположен холодильник.

Наружные стены несут нагрузку собственной массы, т.е. независимы от каркаса (самонесущие), и крепятся к каркасу. Они выполняются из полнотелого кирпича с применением теплоизоляционного слоя или специальных сборных стеновых панелей.

В одноэтажных холодильниках несущие конструкции монтируют из сборных железобетонных элементов — колонн, балок и плит покрытия. Сетка колонн 6х12 м.

Стены самонесущие. Масса хранящихся на холодильнике продуктов и механизмов воспринимается полами, расположенными на грунте, а не несущей конструкцией холодильника. Это позволяет увеличить нагрузку на пол до 4000 кг/м².

В последнее время строят одноэтажные холодильники из облегченных конструкций. В них колонны и балки (фермы) выполнены из стальных профилей. Сетка колонн имеет размер 6х24 (36) м. Элементы наружных стен и покрытия монтируют из облегченных трехслойных панелей, получивших название «сэндвич». В этом случае большие холодильные камеры могут быть без внутренних колонн. Холодильники такого типа бывают двух видов: с внутренним или наружным каркасом. Если каркас наружный, колонны и фермы остаются снаружи здания, их закрывают профилированным стальным настилом, отнесенным от них на расстояние 50 — 60 см для образования сквозного прохода вдоль стен. Панели типа «сэндвич» монтируют к каркасу изнутри.

7.5. Наружные ограждающие конструкции.

В наружных стенах зданий можно выделить три основных слоя.

Наружный слой — несущий, выполняется из кирпича, оштукатуренного с одной или двух сторон, железобетонных (в многоэтажных холодильниках) или керамзитовых (в одноэтажных холодильниках) панелей. Этот слой воспринимает нагрузку собственной массы всех слоев стены и ветровую нагрузку, защищает тепловую изоляцию от механических повреждений и погодных факторов, а также создает общий вид фасада здания. Кирпичные стены крепят стальными анкерами к каркасу здания в уровнях междуэтажных перекрытий или покрытия здания.

Средний слой — изоляция из теплоизоляционных материалов. Между наружным слоем и тепловой изоляцией осуществляется пароизоляция, защищающая тепловую изоляцию от увлажнения.

Третий слой — внутренний — оштукатурен и предназначен для защиты теплоизоляции от разрушения при грузовых работах на холодильнике и устранения контакта изоляционных материалов с пищевыми продуктами.

В стенах из облегченных панелей типа «сэндвич» наружный и внутренний слои выполняют из листового металла (гладкого или профилированного) — алюминия либо стали. Средний теплоизоляционный слой — из пенопластов. Пароизоляцию не делают. Ее функции выполняют металлические листы облицовки. Панели крепят к каркасу здания, тщательно герметизируя стыки между ними.

Покрытия холодильников после 1960-х годов сооружают совмещенными бесчердачными. Они состоят из трех конструктивных элементов: несущих конструкций (балок, ферм, плит), теплоизоляции и плоской кровли-гидроизоляции и основания под нее.

Для гидроизоляции наклеивают на горячей битумной мастике на основание 4 - 5 слоев рулонных кровельных материалов — рубероида подкладочного и кровельного. Для повышения отражающей способности кровли по отношению к солнечной радиации в целях уменьшения теплопритоков в холодильник, а также защиты гидроизоляции от механических повреждений и влияния погоды поверх кровельного ковра укладывают более светлый материал, например фольгоизол. В России разработан и выпускается теплоотражательный материал ДМПС (дублированный металлизированной пленкой спецматериал), имеющий степень черноты не более 0,06. Этот материал может наноситься взамен последнего слоя кровельного покрытия, он резко уменьшает поступление тепла от солнечной радиации, что особенно важно для одноэтажных холодильников.

7.6. Внутренние ограждающие конструкции.

Междуэтажные перекрытия многоэтажных холодильников выполняют трехслойными. Нижний слой составляют железобетонные плиты перекрытия. Теплоизоляцию укладывают на перекрытие сверху. Теплоизоляционную конструкцию защищают от увлажнения пароизоляцией, которая может быть сверху или снизу. Пароизоляцию относительно теплоизоляционного слоя наносят со стороны помещений с более высокой температурой. Верхний слой составляет конструкция пола, включающая бетонную стяжку (подстилающий слой) и покрытие «чистого» пола.

Подстилающий слой придает полу прочность, равномерно распределяя нагрузку на расположенную ниже теплоизоляцию, и выравнивает основание под покрытие пола. Покрытие пола может быть из асфальтобетона, металлических, бетонных армированных, мозаичных, шлакоситалловых плит.

При наличии подвала перекрытие между первым этажом и подвалом выполняют как междуэтажное.

Конструкция полов первого этажа в зданиях без подвалов может быть различной в зависимости от того, какое устройство применено для защиты от промерзания грунта под холодильником. При замерзании грунта его объем увеличивается, в результате создается вертикальная выталкивающая сила, действующая на здание. Это приводит к деформации полов и конструкций здания и даже к его разрушению. Наличие подвального этажа, в котором температура воздуха 0°C , предотвращает промерзание грунта под холодильником.

При отсутствии подвала грунт в основании защищают от промерзания путем подвода теплоты к основанию здания одним из трех способов: теплым воздухом, нагретой жидкостью или электрообогревом. Воздушная система обогрева грунта обеспечивается за счет ветрового напора подполья, т.е. отрыва полов холодильника от грунта на высоту 1 — 1,8 м, или устройством под полом воздушных каналов (шанцев), по которым летом вентилятором прогоняется теплый наружный воздух, а зимой — подогретый.

При жидкостном обогреве в железобетонную плиту основания, расположенную под полом, закладывают систему трубопроводов, по которой с помощью насоса циркулирует жидкость (этиленгликоль, смазочное масло), подогреваемая в теплообменниках паром, электроэнергией и т.д. Электрический обогрев осуществляется электронагревателями, к которым электрический ток подводится через трансформаторы, понижающие напряжение до 36 В.

Стальные стержни (арматурную проволоку) укладывают в бетонные плиты основания. Особое внимание уделяют гидроизоляции конструкции пола, которую выполняют в виде двух слоев гидроизола на горячей битумной мастике.

В зоне расположения устройств для обогрева грунта необходимо поддерживать температуру 2°C .

Межкамерные перегородки сооружают из блоков строительных материалов с хорошими теплоизоляционными свойствами (пенобетон, пеностекло) или двухслойными — кирпичная стенка (бетонные панели) и эффективная изоляция с защитой от увлажнения пароизоляцией и оштукатуриванием внешних поверхностей.

В холодильниках устанавливают специальные изолированные двери. По контуру примыкания дверей к дверной коробке закладывают герметизирующие прокладки из упругих материалов (губчатая резина). Двери оснащают замками натяжного типа.

Прислонные двери (распашные) ручные, откатные — механические. Каркас дверей выполняют из дерева, теплоизоляция имеет толщину до 150 мм. С двух сторон двери обивают оцинкованным стальным листом. Для предотвращения примерзания дверей к дверной коробке устанавливают электрообогрев. Для уменьшения притока

теплого воздуха в охлаждаемые помещения при открывании дверей их оснащают воздушными завесами или брезентовыми шторами.

7.7. Теплоизоляционные материалы.

Коэффициент теплопроводности основных конструкций $0,03 — 0,05 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, а объемная масса $30 — 250 \text{ кг/м}^3$. Материалы должны иметь микропористую структуру с объемом пор $90 — 98 \%$, обладать свойством гидрофобности (плохо увлажняться при соприкосновении с водой), достаточной прочностью на изгиб (не менее 150 кПа) и сжатие (до 40 кПа), морозостойкостью, не поражаться грызунами и микроорганизмами, не иметь запаха и не выделять вредных летучих компонентов. Они должны быть труднотлеющими или самозатухающими (не гореть при удалении огня).

Ранее применялись минераловатные плиты на битумном связующем (минеральная пробка), блоки и плиты пенобетона и пеностекла, а также органические материалы синтетического происхождения — пенопласты и поропласты, пенополистирол ПС-1, ПС-4, ПСБ и ПСБ-С, пенополиуретан ППУ-3Н, ППУ-3С, фенольно-резольный пенопласт ФРП-1 и ФРП-2, пенополивинилхлорид ПВХ-1 и др. Перспективен пенополиуретан. Его объемная масса $20 — 80 \text{ кг/м}^3$, коэффициент теплопроводности $0,025 — 0,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, предел прочности при изгибе $70—190 \text{ кПа}$.

Пенополиуретан позволяет создавать изоляционные конструкции из готовых плит и выполнять эти конструкции на месте производства работ путем заливки жидких компонентов материала в изолируемую полость, например между наружным и внутренним ограждениями стен.

Его применяют для производства облегченных панелей типа «сэндвич».

Из пароизоляционных наиболее распространены материалы, изготавливаемые на основе нефтяного битума: мастики и эмульсии различного состава, а также рулонные (рубероид, изол, фольгоизол).

7.8. Гидроизоляционные материалы.

Для защиты теплоизоляционных конструкций от проникновения в них влаги (в виде водяных паров или капель) служат различные паро- и водонепроницаемые материалы.

Основными из этих материалов являются: битумы, борулин, гидроизол, толь, рубероид, пергамин, фольгоизол. Кроме того, в последнее время успешно начали применять гидроизоляцию в виде пленок из полиэтилена, перфоля, полиамидов и других материалов.

Битумы. Это вязкие вещества, состоящие из углеводородов и вырабатываемые из минералов, каменных углей, нефти и дерева. Встречаются и естественные битумы. Различают пять марок битумов: I, II и III марки являются легкоплавкими, IV и V — тугоплавкими. Для изоляции холодильных конструкций наиболее подходит битум IV марки. Применяют битумы не только для гидроизоляции, но и как склеивающее вещество при креплении плит теплоизоляционных материалов. Битумы используют как в чистом виде, так и в виде эмульсий и паст.

Борулин, гидроизол, толь, рубероид и пергамин являются рулонными материалами.

Борулин. Изготавливают его из нефтяных битумов, асбеста и талька. Все три компонента перемешивают и смесь подвергают своеобразной прокатке. Для пластификации изделия применяют минеральное масло.

Гидроизол. Материал представляет собой асбестовый картон, пропитанный нефтяным битумом. Наружных покрытий не имеет.

Толь, рубероид и пергамин. Изготавливают их из бумажного картона, пропитывая его битумами или смолами. При этом для каждого из материалов употребляют определенные сорта картона и пропитывающее вещество. Так, при изготовлении рубероида применяют картон более высокого качества, чем для толя и пергамина. При получении рубероида картон пропитывают смесью нефтяных битумов и сверху покрывают тугоплавким битумом. Картон для толя пропитывают смесью каменноугольной смолы и песка. И, наконец, для получения пергамина картон пропитывают смесью нефтяных битумов. Пергамин по качеству занимает среднее положение между рубероидом и толем.

Пленочную гидроизоляцию выпускают в основном в виде рулонов.

Фольгоизол. Материал представляет собой алюминиевую фольгу (толщиной 0,2–0,3 мм), покрытую с одной стороны битумно-резиновым составом. Толщина листов до 4 мм

7.9. Расчет тепловой изоляции охлаждаемого помещения

Толщина тепловой изоляции $\delta_{из}$, м, определяется по формуле:

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \left[\frac{1}{k} - \left(\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) \right]$$

где $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности выбранного теплоизоляционного материала, Вт/(м·К);

k - нормативный коэффициент теплопередачи рассчитываемого ограждения, Вт/(м²·К),

$\delta_1, \delta_2, \delta_i$ - толщина каждого слоя ограждения, кроме толщины тепловой изоляции, м;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_i$ - коэффициенты теплопроводности строительных материалов ограждения, Вт/(м·К),

α_n - коэффициент теплоотдачи от наружного воздуха к наружной поверхности ограждения, Вт/(м²·К),

$\alpha_{вн}$ - коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности ограждения к воздуху в камере, Вт/(м²·К),

Полученное значение $\delta_{из}$ округляется (в сторону увеличения) до величины кратной стандартной толщине плит теплоизоляции. При увеличении толщины теплоизоляции после округления уменьшится коэффициент теплопередачи ограждения, поэтому необходимо определить его действительное значение:

$$k_d = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) + \frac{\delta_{из.ст}}{\lambda_{из}}}$$

$\delta_{из.ст}$ - принятая стандартная толщина изоляционного слоя, м.

Вопросы для самоконтроля

1. Заготовительные холодильники.
2. Производственные холодильники.
3. Распределительные холодильники.
4. Базисные холодильники.
5. Холодильники продовольственных.
6. Портовые холодильники.
7. Перевалочные холодильники.
8. Холодильники смешанного назначения.

9. Условную грузовместимость холодильника.
10. Грузовой объем камеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Усов, А.В. Основы холодильной техники: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.В. Усов, И.А. Короткий. — Электрон. дан. — Кемерово : КемТИПП, 2016. — 121 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/99565>. (дата обращения 29.03.2018г).

Дополнительная

1. Буянов, О.Н. Холодильное технологическое оборудование: [Электронный ресурс]. 2009 URL: <http://www.iprbookshop.ru/14401.html> (Дата обращения: 15.02.2018). ISBN: 978-5-89289-542-2
2. Большаков, С.А. Холодильная техника и технология продуктов питания: учебник [Текст] / С.А. Большаков.– М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 304 с.Дополнительная литература

ХОЛОДИЛЬНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ И ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Для холодильной обработки пищевых продуктов небольшой толщины предназначены холодильные аппараты, которые в наибольшей степени отвечают современным производственным и технологическим требованиям. Холодильные аппараты применяют в основном для замораживания продуктов, поэтому их принято называть морозильными.

Аппараты различаются в зависимости от среды, непосредственно воспринимающей теплоту от продукта (воздух, диоксид углерода, кипящие и некипящие жидкости), устройств для транспортирования продукта в процессе холодильной обработки и др.

Аппараты, поддерживающие в заданных пределах несколько параметров воздуха (температура, влажность, скорость движения и т.д.) при холодильной обработке и хранении пищевых продуктов, относят к технологическим кондиционерам. Консервирование пищевых продуктов сублимационным методом производят в сублимационных установках.

8.1. Оборудование для охлаждения пищевых продуктов

Охлаждение – это понижение температуры пищевых продуктов вплоть до криоскопической (обычно до 0...плюс 5 °С). При этом, с одной стороны, резко замедляются биохимические процессы деградации продукта, а, с другой, – снижается жизненная активность микрофлоры и микрофауны на поверхности (замедляются процессы микробной порчи). В результате существенно увеличиваются допустимые сроки хранения продукции, что весьма важно для предприятий пищевой промышленности.

Как правило, охлаждение СПП (кроме пищевых жидкостей) производится в камерах. Рассмотрим устройство наиболее распространённых из них.

8.1.1. Камеры охлаждения

Оборудование таких камер включает мощный воздухоохладитель и устройства, способствующие равномерному распределению воздуха по объёму камеры. Средняя температура воздуха составляет 0...плюс 2 °С, а его скорость в грузовом объёме неравномерна и колеблется в пределах 0,5...2 м/с. Охлаждаемый груз размещается в ящиках (коробах), которые, как правило, уложены в штабели, либо на специально предусмотренных в камерах полках, либо на крючьях подвесных путей.

При охлаждении фруктов и овощей большое распространение получили камеры с одно- и двухканальными системами охлаждения (СОХ). Такие камеры достаточно велики по размеру, как правило, имеют большой постаментный воздухоохладитель и каналы, способствующие равномерному распределению холодного воздуха по всему объёму камеры.

При **одноканальной системе** воздухооборудования воздух попадает в батареи воздухоохладителя прямо из камеры, охлаждается там и по нагнетательному воздушному каналу распределяется (душируется) по всей его длине.

Двухканальная система предполагает наличие как нагнетательного, так и всасывающего (воздухозаборного) каналов (рис. 12.1).

Постаментный воздухоохладитель 2 установлен в торце камеры. Со стороны боковых стен к нему подходят нагнетательный 4 и всасывающий 5 каналы, выполненные из оцинкованного железа. В начале всасывающего канала установлен вентилятор 3,

с помощью которого воздух поступает во всасывающий канал из всех частей камеры. Воздух, проходя через воздухоохладитель, охлаждается и под напором поступает в нагнетательный канал, откуда через систему отверстий (сопел) в нижней части канала 4 попадает в грузовой объём камеры. Дальнейший путь воздуха внутри камеры указан стрелками. Для сохранения постоянной скорости истечения воздуха из сопел живое сечение каналов по длине уменьшается (часто канал выполняют ступенчатым по высоте).

Преимуществом рассмотренных камер охлаждения является простота их конструкции, что позволяет оставлять в них охлаждённую продукцию на последующее хранение, а недостатком – неравномерность параметров воздуха в объёме камеры.

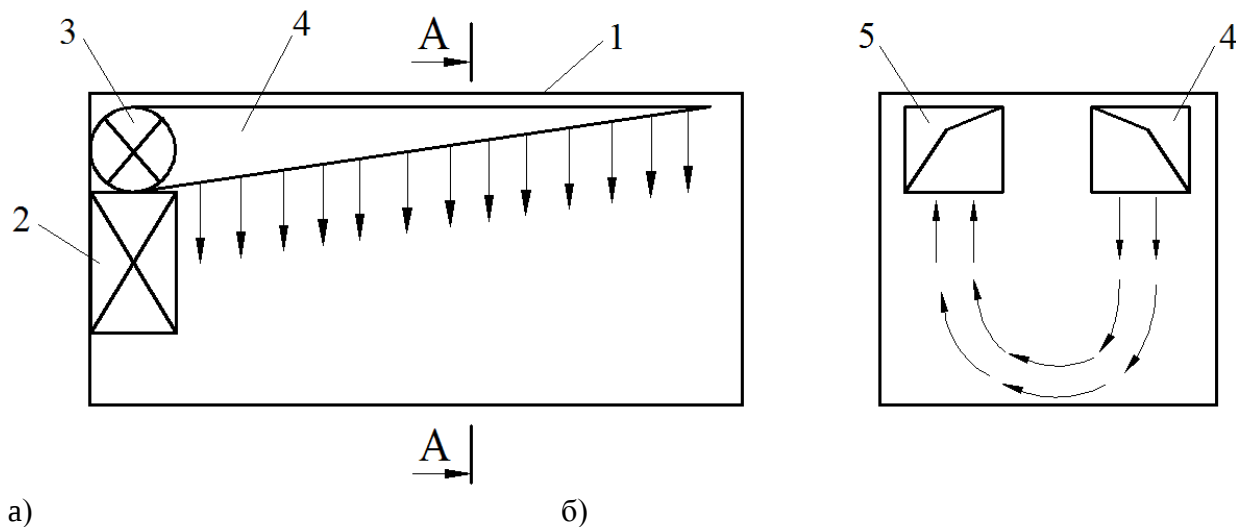


Рис. 9.1. Камера охлаждения с двухканальной системой воздухораспределения

а) вид сбоку; б) разрез А–А;

1 – строительные ограждения камеры; 2 – батареи воздухоохладителя; 3 – вентилятор; 4 – нагнетательный канал (воздухораздача); 5 – всасывающий канал (воздухозабор)

На предприятиях мясной, рыбной и консервной промышленности большое распространение получили камеры охлаждения **туннельного типа**. Такое название они получили по причине того, что их длина гораздо больше ширины (т.е. выполнены в виде туннелей). Циркуляционный контур для движения воздуха создаётся в них либо за счёт установки перегородок внутри объёма камеры (наиболее распространённый тип такой перегородки – “ложный” потолок, разделяющий камеру на два отсека по высоте), либо путем создания лабиринтов. Камеры выполняют как с продольным, так и с поперечным движением воздуха. Батареи воздухоохладителя размещают либо в торце, либо сверху (над подвесным потолком).

Температура воздуха поддерживается в интервале 0...плюс 2 °С, а его скорость в грузовом отсеке составляет 1,5...2 м/с. Такие условия гарантируют охлаждение стандартных говяжьих полутуш за 18...20 часов.

Важнейшим технологическим фактором при камерном охлаждении является время цикла охлаждения ($\tau_{ц}$). Оно включает в себя как непосредственно время охлаждения продукта, так и время, необходимое для дополнительных операций при эксплуатации камеры (загрузки и выгрузки продукции при циклической работе камеры, время на оттаивание батарей от снеговой шубы и т.д.). Обычно $\tau_{ц}$ стремятся вписать в рамки одних суток. По этой причине такие камеры выполняют небольшой вместимости (10...20 т), чтобы $\tau_{з.в}$ не превышало 4...6 часов.

К достоинствам камер следует отнести простоту их конструкции, универсальность по продукту, надёжность и высокую степень механизации технологических процессов. К недостаткам – значительную неравномерность скорости воздуха по длине ка-

мер. Камеры этого типа получили самое широкое распространение в развитых капиталистических странах Европы и США.

В странах СНГ часто можно встретить различного типа лабиринты – результаты реконструкции камер холодильника на местном уровне. Планировка такой камеры на площади двух строительных модулей (6×12 м), выполненная на Белгородском мясокомбинате, приведена на рис. 12.2 (высота камеры 4,2 м):

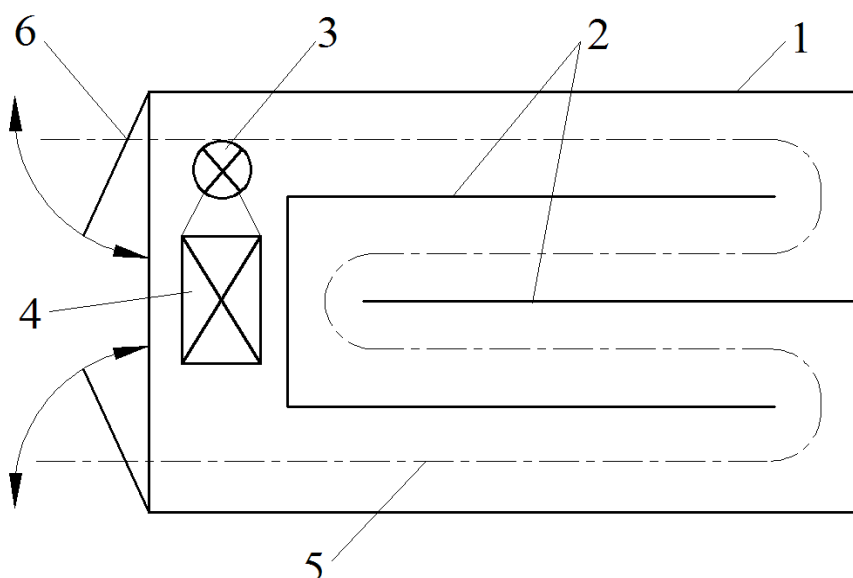


Рис. 8.2. Камера охлаждения туннельного типа с продольным движением воздуха

1 – строительные ограждения камеры; 2 – деревянные перегородки; 3 – вентилятор;
4 – батарея воздухоохладителя; 5 – линия подвешного пути; 6 – двери прислонного типа

Камера работает в периодическом режиме с $\tau_u = 24$ часа. Перегородки 2, выполненные из досок $\delta = 0,04$ м, образуют четыре туннеля, в каждом из которых смонтирована одна нитка подвешного пути 5. Три вентилятора, расположенные один над другим, забирают воздух из крайнего туннеля и под напором направляют его по всей высоте в воздухоохладители 4, где он осушается, охлаждается на 2...3 °С и снова возвращается в грузовой отсек. К недостаткам камер подобного типа следует отнести невозможность использования их в качестве камер хранения.

В камерах охлаждения с **“ложным” потолком** нет необходимости для создания циркуляционного кольца сооружать туннели. Для этой цели предусмотрен “ложный” потолок, разделяющий камеру на два отсека по высоте. Камера снабжена воздухоохладителем, батареи которого располагают либо в торце (по всей высоте камеры), либо в пространстве над “ложным” потолком.

Тёплый и влажный воздух отбирается из камеры вентиляторами и направляется в батареи воздухоохладителя, где охлаждается, осушается и направляется в пространство над ложным потолком. Последний простирается не до конца противоположной стены, а обрывается раньше, образуя проход воздуха в нижнюю часть камеры. Здесь воздух омывает охлаждаемый груз, нагревается, увлажняется и постепенно продвигается к всасывающему патрубку вентилятора. Определённым недостатком такой камеры является неравномерность температуры воздуха внутри камеры (чем ближе к вентилятору, тем он теплее).

От этого недостатка избавлена камера охлаждения системы ГИПРОХОЛОДА, в которой предусмотрена раздача воздуха через щели в ложном потолке (рис. 8.3).

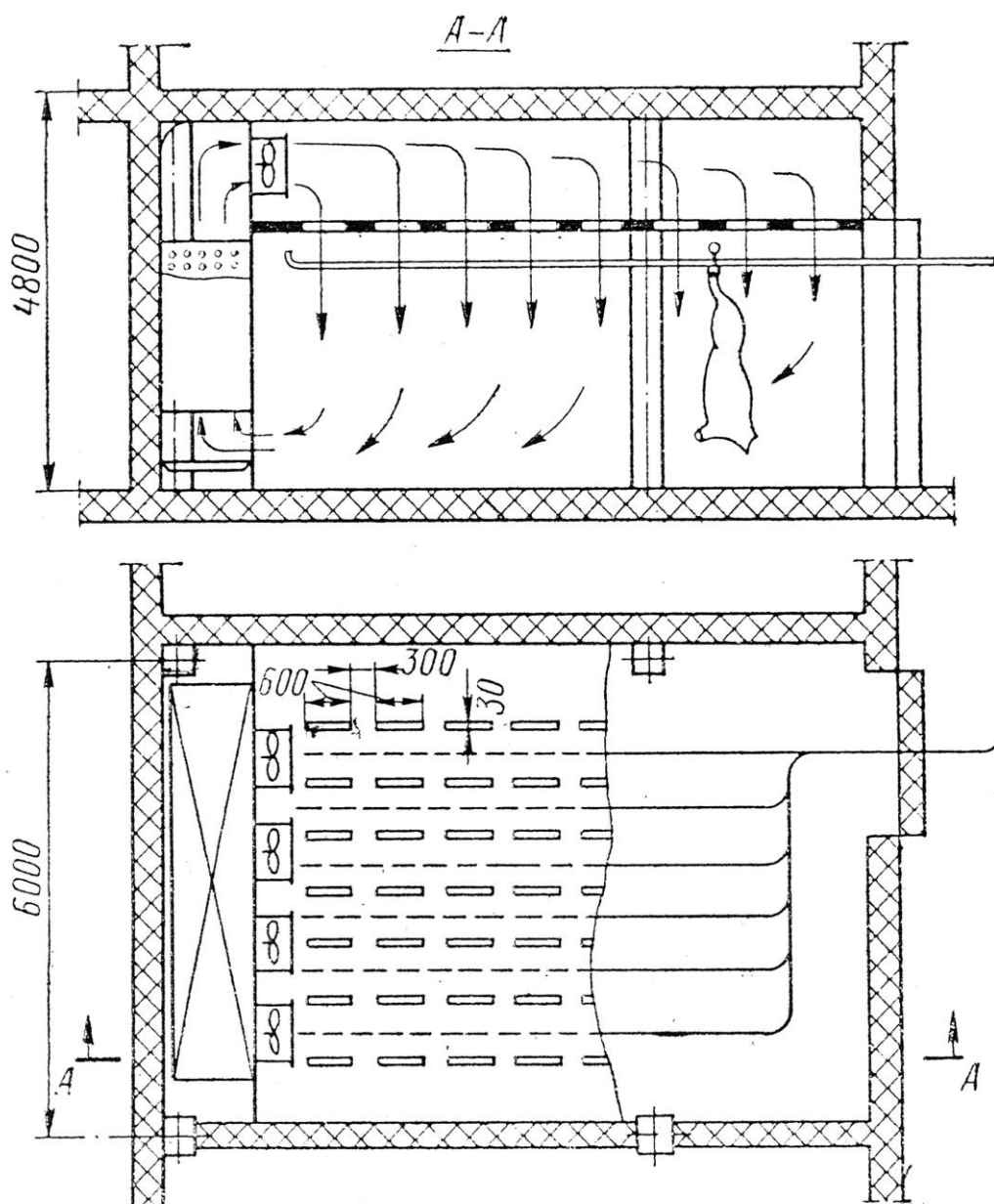


Рис. 8.3. Разрез и план камеры охлаждения системы ГИПРОХОЛОДА

Над каждой ниткой подвесного пути имеется ряд щелей в ложном потолке, через которые воздух истекает вниз, обдувая каждую тушу в вертикальном направлении. Для сохранения постоянной начальной скорости истечения воздуха из сопел, иногда в пространстве над ложным потолком предусматривают отбойный щит, уменьшающий пространство для прохода воздуха (живое сечение) по мере истечения и уменьшения его количества над ложным потолком. Камерами такого типа производительностью 10...15 т/сутки снабжены все типовые холодильники ГИПРОХОЛОДА емкостью от 1 500 до 10 000 тонн груза.

Расчёт такой камеры сводится к определению оптимальной скорости истечения воздуха из щелей в ложном потолке (который обеспечил бы $\tau_u = 24$ часа), необходимой строительной площади камеры, а также необходимой поверхности теплообмена и динамических характеристик воздухоохладителя. Пример такого расчета приведен в.

8.1.2. Оборудование для охлаждения рыбы и жидких пищевых продуктов

Большинство сортов рыбы обладают очень активной ферментативной системой, поэтому нуждаются в немедленном охлаждении сразу же после вылова.

На судах прибрежного лова такое охлаждение обычно осуществляется с помощью мелкодроблённого льда, полученного в льдогенераторах.

На крупных рыбодобывающих судах (МРТ, БМРТ, супертраулерах, плавбазах), как правило, технологией предусматривается предварительное охлаждение с последующей заморозкой и холодильным хранением выловленной рыбы. При этом от эффективности системы предварительного охлаждения (СПО) рыбы-сырца зависит производительность морозильных аппаратов, что является весьма важным при больших уловах.

На судах флота рыбной промышленности применяются различные СПО, но чаще всего встречаются следующие системы:

- в охлаждаемых бункерах, которые заполняются предварительно охлажденной в отдельной цистерне заборной водой с температурой 0...минус 1 °С. Охлаждение воды в цистерне и рыбы в бункерах осуществляется встроенными в них рассольными испарителями. Последующее охлаждение рыбы в бункере осуществляется смесью воды и чешуйчатого льда при соотношении рыбы и воды 1:2;

- в неохлаждаемых бункерах, которые предварительно заполняются заранее охлажденной до 0 °С заборной водой. Последующее охлаждение рыбы сопровождается добавлением в бункера смеси воды и чешуйчатого льда;

- в охлаждаемых бункерах с использованием выносных настенных водоохладителей для предварительного охлаждения воды. Последующее охлаждение воды и рыбы в бункерах осуществляется с помощью пристенных батарей с непосредственным кипением R22.

Конструктивное исполнение и технологические характеристики перечисленных выше систем предварительного охлаждения рыбы приведены в [3, с. 48...58; 4, с. 109...122].

В консервной промышленности и виноделии охлаждение соков и виноматериалов используется как эффективный способ их осветления, высадки винного камня. Чаще всего такое охлаждение (с последующей выдержкой) производится в охлаждаемых танках с применением рассольной системы охлаждения.

Ещё более актуальной проблемой является быстрое охлаждение молока (согласно существующим нормативным документам молочный завод обязан охладить поставленное молоко не более, чем за 2 часа). Как правило, это осуществляется в теплообменниках типа “труба в трубе” с помощью предварительно заготовленного холодного рассола. Отечественной промышленностью выпускаются такие охладители производительностью до 25 т/час [3, с. 76].

Охлаждение пищевых жидкостей после пастеризации часто осуществляется в охладителях пластинчатого типа. Они собираются из отдельных пластин, выполненных из нержавеющей стали, и имеющих каналы для прохода охлаждаемой и охлаждающей жидкостей. Эти пластины надеваются на две штанги и разделены между собой резиновыми прокладками. Пластины разделены промежуточной плитой или перегородкой на два отсека: в первом молоко охлаждается проточной водой, а во втором – холодным рассолом до плюс 2...плюс 4 °С. Для создания герметичности между пластинами они сжимаются с помощью нажимной плиты и прижимных муфт. Пластины собраны в пакеты, из которых состоят секции. Двухсекционный аппарат такого типа представлен на рис. 8.4.

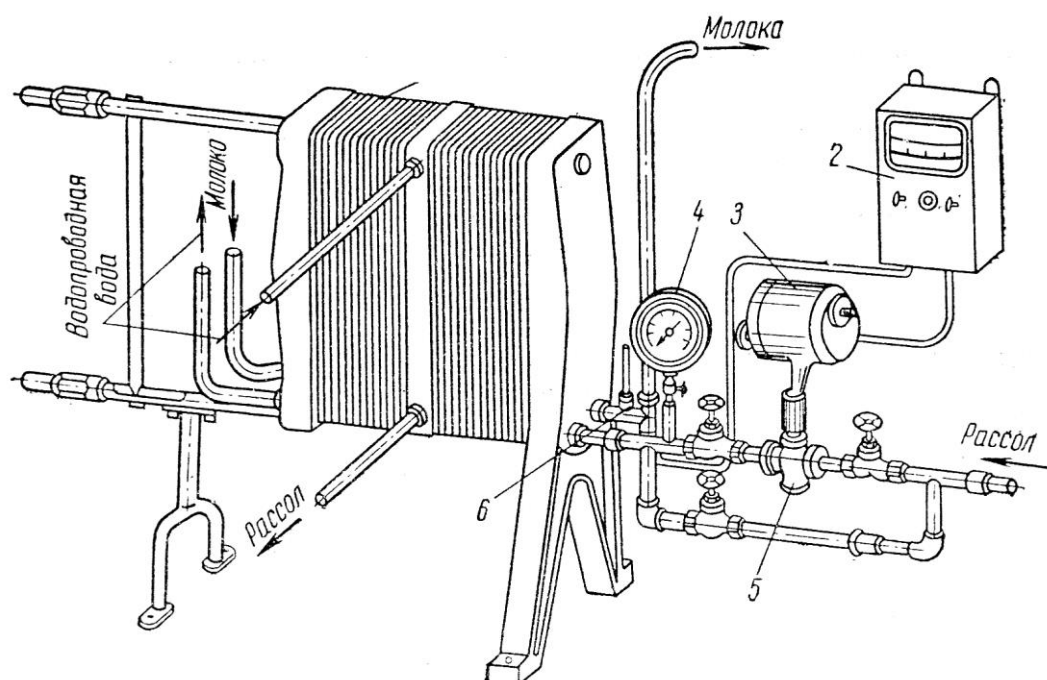


Рис. 8.4. Двухсекционная пластинчатая установка: 1 – пластинчатый теплообменник; 2 – шкаф с контрольно-измерительными приборами; 3 – исполнительный механизм; 4 – манометр; 5 – трубопровод подачи хладоносителя; 6 – термометр сопротивления

Промышленностью выпускаются также пастеризационно-охладительные агрегаты для комплексной обработки молока. В них предусмотрены секция пастеризации, в которой молоко нагревается до плюс 78 ... плюс 80 °С, секция регенерации, где в противотоке горячее молоко подогревает холодное, поступающее на пастеризацию, а также секция охлаждения молока холодным рассолом до температуры хранения.

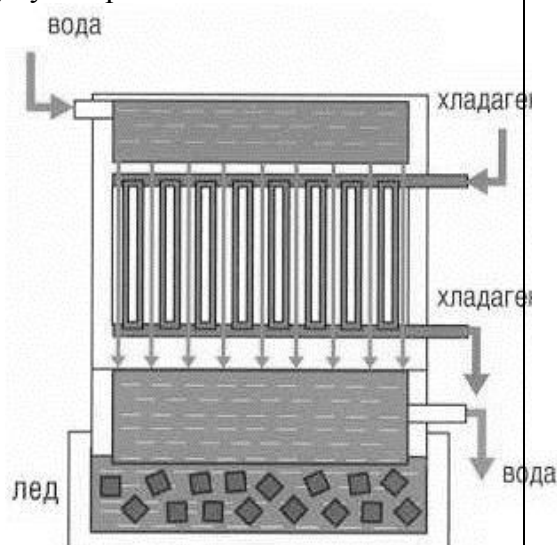
В плане сказанного выше определённый интерес представляет оборудование фирмы “Простор-Л” – одного из лидеров в производстве холодильного технологического оборудования предприятий пищевой промышленности. Компанией разработан и внедрён целый ряд холодильных установок, аналогичных установкам зарубежных производителей, но имеющих перед ними ряд технологических преимуществ. Одной из таких разработок являются аккумуляторы холода или водоохлаждающие установки для получения ледяной воды. Ледяная вода – идеальный хладоноситель, применяемый иногда в молочной промышленности наряду с рассолом.

Альтернативы столь дешёвому и апробированному средству охлаждения, по мнению специалистов фирмы, нет. Ими предлагается несколько способов получения ледяной воды. Наиболее интересные из них представлены ниже в рекламных материалах фирмы (табл. 8.1).

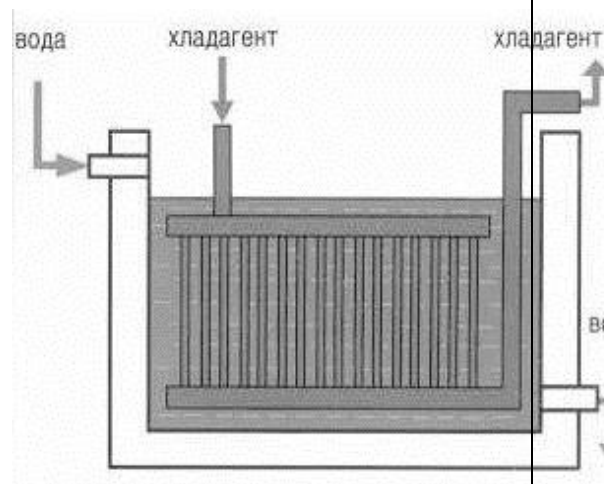
Таблица 8.1 – Способы охлаждения молочных продуктов

Способы охлаждения молочных продуктов	
С переменной нагрузкой	
с орошаемым панельным теплообменником	с погружным панельным теплообменником

У льдоаккумулятора с насыпным льдом над теплоизолированной емкостью установлены пленочные теплообменники-льдогенераторы. На внешнюю поверхность панелей-испарителей этих теплообменников из ванны подается вода. Стекая тонкой пленкой по панелям испарителя, она замерзает и образует ледяную корку. Когда толщина намороженного льда составляет 6...8 мм, в испарителе подается горячий газ, ледяная корка отделяется от поверхности испарителя и падает в бак-аккумулятор.



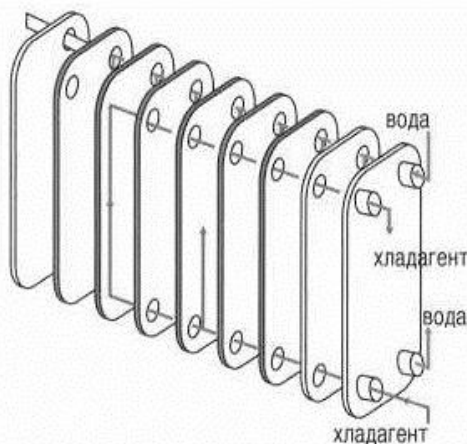
Традиционные льдоаккумуляторы холода представляют собой бак-аккумулятор с водой, в которую погружены испарительные секции и активатор, обеспечивающий непрерывное движение воды вдоль испарительной секции. С помощью подобных конструкций удается получать ледяную воду с температурой порядка 0,5...1 °С. Наибольшее применение аккумуляторы холода нашли в молочной промышленности.



С постоянной нагрузкой

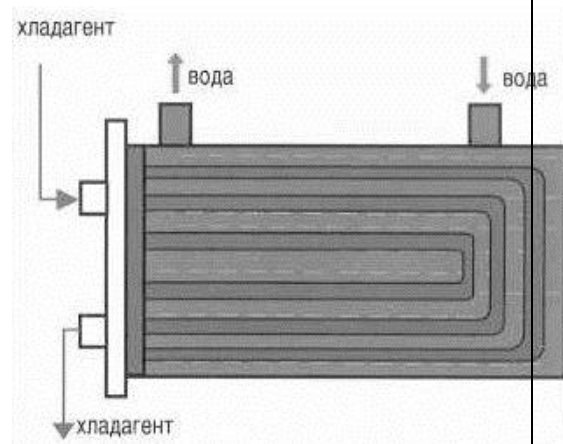
с пластинчатым теплообменником

Вода протекает по полостям, образуемым пластинами и уплотнителями. Протекание сред в полостях чередуется – в 1-й полости хладагент, во 2-й – вода и т.д. Процесс теплообмена между водой и хладагентом происходит с обеих сторон каждой из полостей.



с кожухотрубным теплообменником

Вода протекает внутри теплообменных труб, а хладагент испаряется в кожухе (кожухотрубный испаритель с межтрубным кипением). Вода протекает в кожухе, а хладагент циркулирует внутри теплообменных труб (кожухотрубный испаритель с внутритрубным кипением).



8.2. Технологическое оборудование для замораживания в воздухе

Замораживанием называется отвод теплоты от продуктов с понижением температуры ниже криоскопической при кристаллизации большей части воды, содержащейся в продукте. В пищевой промышленности замораживание применяется для долгосрочного хранения пищевых продуктов.

Основное отличие замораживания от охлаждения состоит в том, что замороженные продукты являются более стойкими при хранении, чем охлажденные.

Процесс замораживания применяется также для достижения следующих целей:

- отделения влаги при концентрировании жидких пищевых продуктов;
- изменения физических свойств продуктов (твердость, хрупкость и др.) при подготовке их к дальнейшим технологическим операциям;
- сублимационной сушки;
- производства своеобразных пищевых продуктов и придания им специфических вкусовых и товарных качеств (мороженое, пельмени и другие быстрозамороженные продукты).

Чаще всего пищевые продукты замораживаются в воздухе, однако широко применяется замораживание и в других средах.

Вода в продуктах содержит растворенные соли, поэтому она замерзает не при 0 °С, а при более низкой температуре, называемой криоскопической, значение которой на несколько градусов ниже температуры замерзания воды.

При минус 5 °С обычно замерзает около 75 % воды в мясе, при минус 10 °С – более 80 %, а при минус 20 °С – около 90 %. Дальнейшее понижение температуры на интенсивность вымораживания практически не влияет.

Численные значения криоскопической температуры для ряда продуктов:

- а) мясо – от минус 1,2 до минус 0,6 °С;
- б) яблоки – от минус 2,1 до минус 1,5 °С;
- в) рыба – от минус 2,0 до минус 0,6 °С;
- г) картофель – от минус 1,6 до минус 1,1 °С;
- д) яйца – минус 0,5 °С.

Замораживание продуктов может происходить быстро или медленно. При быстром замораживании в тканях образуются более мелкие кристаллы льда, меньше повреждающие ткани, поэтому продукты сохраняются лучше.

Как правило, замораживание начинается с поверхности. Через некоторое время продукт покрывается твердой замороженной коркой, тогда как внутренние слои его остаются мягкими. Затем начинают промерзать и внутренние слои. Обычно фронт промораживания в воздухе продвигается вглубь продукта со скоростью 3...7 мм/час.

Продолжительность замораживания зависит от тех же факторов, что и продолжительность охлаждения: содержания жира, толщины, упаковки и тары, температуры и скорости движения охлаждающей среды.

При замораживании, в отличие от охлаждения, происходит частичное перераспределение влаги, травмирование тканей продукта кристаллами льда, а также иногда частичная денатурация белка. В совокупности всё это может снизить вкусовые и питательные достоинства продукта, если замораживание осуществлено неправильно.

На современных предприятиях пищевой промышленности замораживание производится либо в камерах замораживания (камерных морозилках – КМ), либо в морозильных (скороморозильных) аппаратах – СА.

8.2.1. Классификация и устройство камерных морозилок

Конструктивно КМ мало чем отличаются от соответствующих камер охлаждения: это те же камеры, но с более низкими температурами воздуха (если в КО температура воздуха поддерживается на уровне минус 2...плюс 2 °С, то в КМ- минус 35...минус 28 °С).

Однако они гораздо более энерговооружены. Камерные морозилки снабжены мощными воздухоохладителями – напольными (постаментными), навесными (пристенными), либо подвесными (потолочными), способными отвести из камеры большое количество теплоты. Это связано с тем, что, помимо локализации теплопритоков из окружающей среды, в таких камерах приходится затрачивать большое количество холода на сам процесс замораживания продукции.

Продукция, как правило, размещается в камерах либо в штабелях груза (если упакована в ящики, либо коробка), либо на специально предусмотренных стеллажах, либо на крючьях подвесных путей (это, в основном, мясо).

Как уже отмечалось ранее, важным технологическим фактором при камерном замораживании является время цикла замораживания ($\tau_{ц}$). Оно включает в себя как непосредственно время замораживания $\tau_{зам}$, так и время, необходимое для дополнительных операций – $\tau_{з.в}$ (загрузка и выгрузка продукции при циклической работе камеры, время на оттаивание батарей и т.д.). Обычно $\tau_{ц}$ стремятся вписать в рамки 24 часов. Тогда при $\tau_{з.в} = 2...4$ часа (в зависимости от размеров камеры) следует так организовать процесс заморозки, чтобы $\tau_{зам}$ составляло 20...22 часа.

Интенсивность теплообмена и, как следствие, время замораживания в камерных морозилках существенно зависит от скорости движения воздуха в них. На заре холодильной техники широко использовались так называемые “тихие” морозилки (без принудительного движения воздуха, с естественной конвекцией). Это были очень простые и удобные в эксплуатации устройства. Однако время цикла замораживания стандартных говяжьих полутуш достигло в них 50...60 часов. Естественно, что технологи отвергли такой способ замораживания и ему на смену пришли морозилки с интенсивным движением воздуха.

Для стабильной работы такой морозилки с одинаковым временем замораживания во всех её частях необходимо предусмотреть стабильную циркуляцию воздуха во всём объёме камеры. Это возможно лишь в том случае, если организовать для потока воздуха циркуляционное кольцо с постоянной скоростью движения воздуха во всём грузовом объёме камеры.

Существует несколько типов камерных морозилок, отличающихся друг от друга, в основном, только организацией такого циркуляционного кольца.

В настоящее время это, как правило, морозилки туннельного типа с продольным и поперечным движением воздуха, либо камерные морозилки с “ложным” потолком (например, морозилка системы Гипрохолода). Их конструкции рассмотрены в предыдущей лекции, а также подробно описаны в [5, 6].

8.2.2. Воздушные морозильные аппараты

Это устройства, в которых условия замораживания и его скорость доведены до разумных пределов. По этой причине их иногда называют скороморозильными аппаратами (СА).

В единственном существующем на сегодняшний день учебнике по холодильному технологическому оборудованию [6] СА подразделяют на воздушные (замораживание происходит в воздухе), бесконтактные (замораживание хладоносителем, отделённым от продукта какой-либо поверхностью, т.е. когда нет непосредственного кон-

такта замораживаемого продукта и хладоносителя) и аппараты контактного замораживания (когда имеет место непосредственный контакт продукта и хладоносителя).

Они могут быть непрерывного и периодического действия и имеют одно очень существенное ограничение: толщина замораживаемого продукта не должна превышать 50...60 мм (исключение составляют лишь аппараты для замораживания цыплят и кур).

Основным достоинством воздушных СА является то, что замораживание происходит в воздухе – естественной среде обитания человека. Они получили широкое распространение для замораживания различных продуктов растительного и животного происхождения. Замораживание в воздухе позволяет сохранить высокие питательные и вкусовые качества продукции и хороший товарный вид.

Воздушные СА представляют собой изолированный контур, разделённый на два отсека: грузовой и отсек воздухоохладителя. В грузовом отсеке находится замораживаемый продукт, перемещаемый различными транспортными средствами, а в отсеке воздухоохладителей размещают трубчатые секции (батареи), предназначенные для охлаждения воздуха. Как правило, здесь имеется обогреваемый поддон для сбора талой воды, образующейся при оттаивании, а также вентиляторная установка.

В качестве транспортных средств для непрерывного, либо периодического перемещения замораживаемых продуктов применяют различного рода тележки, конвейеры, ленты и гравитационные устройства. Транспортные средства приводятся в движение электрическим, либо гидравлическим приводом с плавным или ступенчатым регулированием скорости, что позволяет регулировать производительность аппаратов в зависимости от вида поступающего на замораживание продукта.

В зависимости от способа передвижения продукта в СА при его замораживании различают воздушные СА тележечного, конвейерного и флюидизационного типов. В первых двух СА продукты можно замораживать как в мелкой расфасовке массой до 1 кг, так и в виде блоков массой до 10...12 кг. В флюидизационных морозильных аппаратах продукты замораживаются россыпью в восходящем воздушном потоке.

Некоторые продукты (субпродукты, рыбу, творог) удобно замораживать в специальных формах (блокформах) или в противнях. При этом толщина блоков не должна превышать 50...60 мм. Формы, в которых замораживают продукты, могут быть с крышками или без них.

Батареи воздухоохладителя обычно выполняют многосекционными с тем, чтобы можно было проводить их оттаивание посекционно, не прерывая работы аппарата. Как правило, трубы оребрены и это является серьёзным препятствием при снятии снеговой шубы. Снеговая шуба на поверхности оребрённых батарей уменьшает коэффициент теплопередачи, а, следовательно, и количество тепла, отводимое такой батареей, приводит к возрастанию аэродинамического сопротивления.

Влияние снеговой шубы на работу СА можно уменьшить, если охлаждающие секции воздухоохладителя выполнять из труб с различным шагом оребрения в каждой секции. Например, по ходу движения воздуха – 30, 20 и 13,3 мм. В этом случае трубы с большим шагом оребрения, забирая на себя большее количество влаги, забиваются снегом более интенсивно, но дольше сохраняют проход для воздуха в следующих по ходу движения секциях.

Непрерывной работе СА способствует также применение так называемого влагофильтра – небольшой гладкотрубной батареи, которая устанавливается перед основным воздухоохладителем и забирает на себя большую часть влаги, предохраняя таким образом батарею от засорения снегом.

8.2.3. Морозильные аппараты тележечного типа

В них груз транспортируется на тележках по рельсам, либо на подвесных этажерках. Тележечные аппараты могут быть с продольным, либо поперечным движением воздуха, с ручным или механизированным передвижением тележек (рис. 9.5).

В странах СНГ большое распространение получили серийно выпускаемые двухтуннельные аппараты марок СА с поперечным движением воздуха и ручным передвижением тележек.

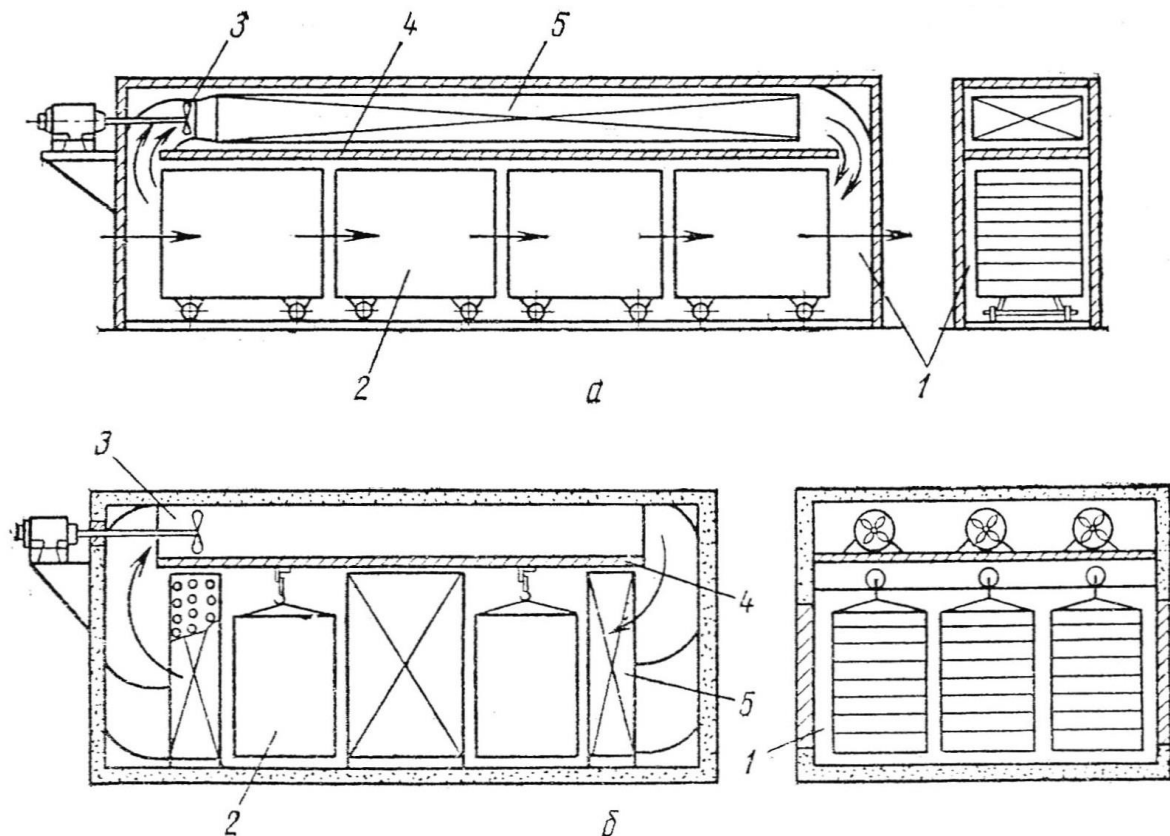


Рис. 8.5. Схема устройства тележечного морозильного аппарата:

а – с продольным движением воздуха; б – с поперечным движением воздуха; 1 – грузовой отсек; 2 – этажерки или тележки; 3 – вентилятор; 4 – ложный потолок; 5 – воздухоохладитель.

Базовый модуль СА-3 (рис. 13.2) содержит по одной тележке в каждом из двух туннелей, образованных секциями батарей воздухоохладителя.

Тележки представляют собой конструкции этажерочного типа, на полках которых устанавливают по два противня с замораживаемым продуктом. В каждой секции установлен один реверсивный вентилятор, который периодически меняет поперечное направление движения воздушного потока. Снеговую шубу оттаивают горячими парами аммиака.

Тележечные аппараты используют для замораживания рыбы, субпродуктов, птицы, плодов, ягод и овощей.

Выстраивая в ряд несколько аппаратов СА-3, можно получить другие аппараты из этого параметрического ряда. Их технические характеристики представлены в табл. 13.1.

Преимуществом аппаратов данного типа является их относительная универсальность по замораживаемому продукту, простота и надежность конструкции. К недостаткам следует отнести отсутствие крышек на противнях (повышенная усушка!) и

ручное передвижение тележек по рельсам внутри грузового отсека. В последнее время аппараты этого типа широко используются для сверхбыстрой, “шоковой” заморозки. Серийно выпускаемый туннель типа ТСТ предназначен для шоковой заморозки пельменей, вареников, чебуреков, сосисок, рыбных палочек и других мелкоштучных пищевых продуктов.

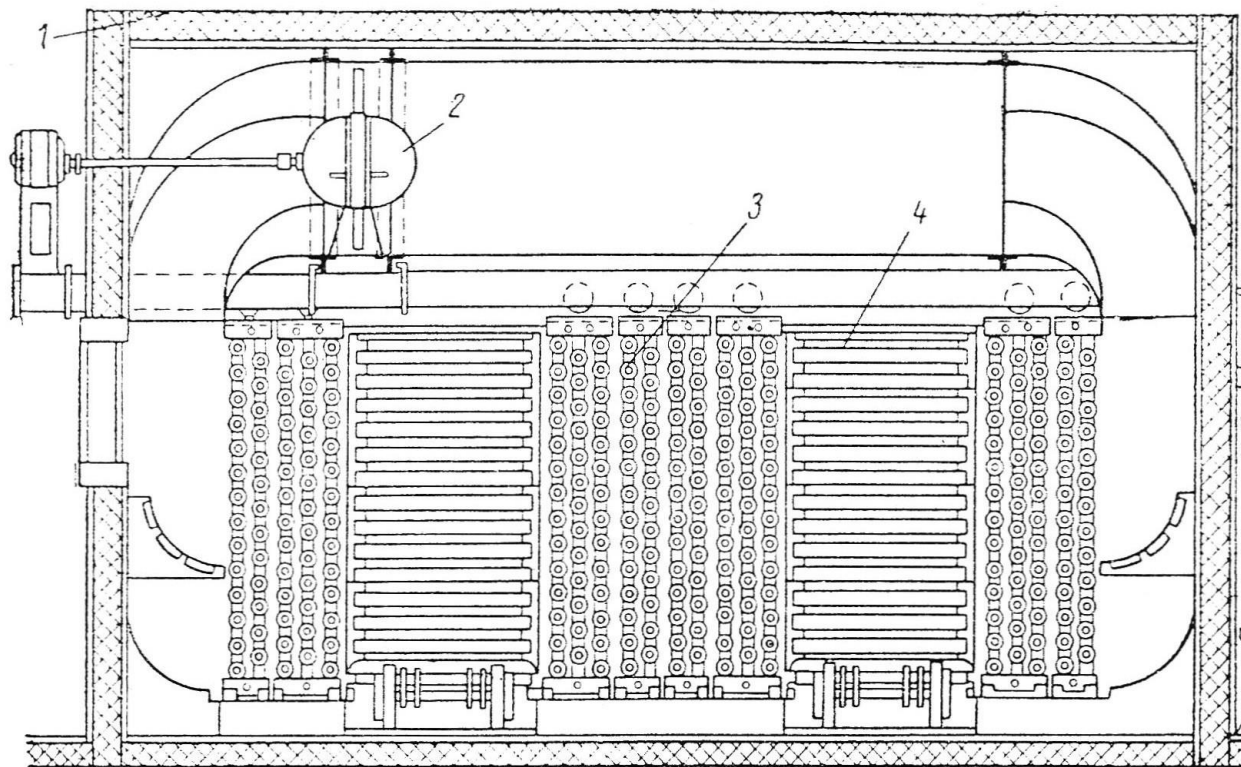


Рис. 8.6. Тележечный морозильный аппарат марки СА-3:

1 – изолированный контур; 2 – реверсивный вентилятор; 3 – охлаждающие секции воздухоохладителя; 4 – тележки с продуктом.

Скороморозильный туннель состоит из теплоизолированной камеры, постаментного воздухоохладителя и компрессорно-конденсаторного агрегата.

Тележки-стеллажи с разложенными на них ровным слоем продуктами подаются в морозильный туннель и устанавливаются непосредственно перед постаментным воздухоохладителем. Охлажденный в нем воздух направляется вентиляторами противотоком или перекрестным потоком к продукту со средней скоростью 3...4 м/с, что обеспечивает интенсивную теплоотдачу.

Конструкция воздухоохладителя дает возможность длительное время (от 6 до 24 ч в зависимости от типа продукта) работать без оттаивания, поддерживая заданную температуру в аппарате.

Скороморозильные туннели циклического действия типа ТСТ эффективны на производствах с объемом выпускаемой продукции 2000...5000 кг в сутки. Небольшие габариты туннеля, простота конструкции, невысокие капитальные вложения, быстрое введение в эксплуатацию, простота обслуживания – основные факторы, определяющие заинтересованный выбор потребителя.

8.2.4. Конвейерные морозильные аппараты

В зависимости от способа размещения замораживаемого продукта в грузовом отсеке различают аппараты этого типа с цепным конвейером, гравитационные и ленточные.

В аппаратах с цепным конвейером продукт замораживается в металлических блок-формах, прикрепленных к непрерывно движущимся цепям специальными шарнирами. Чаще всего используется две параллельные зигзагообразные цепи с закрепленными между ними блок-формами. Встречаются аппараты с продольным и поперечным движением воздуха относительно блок-форм. Принципиальные схемы таких аппаратов приведены на рис. 8.7.

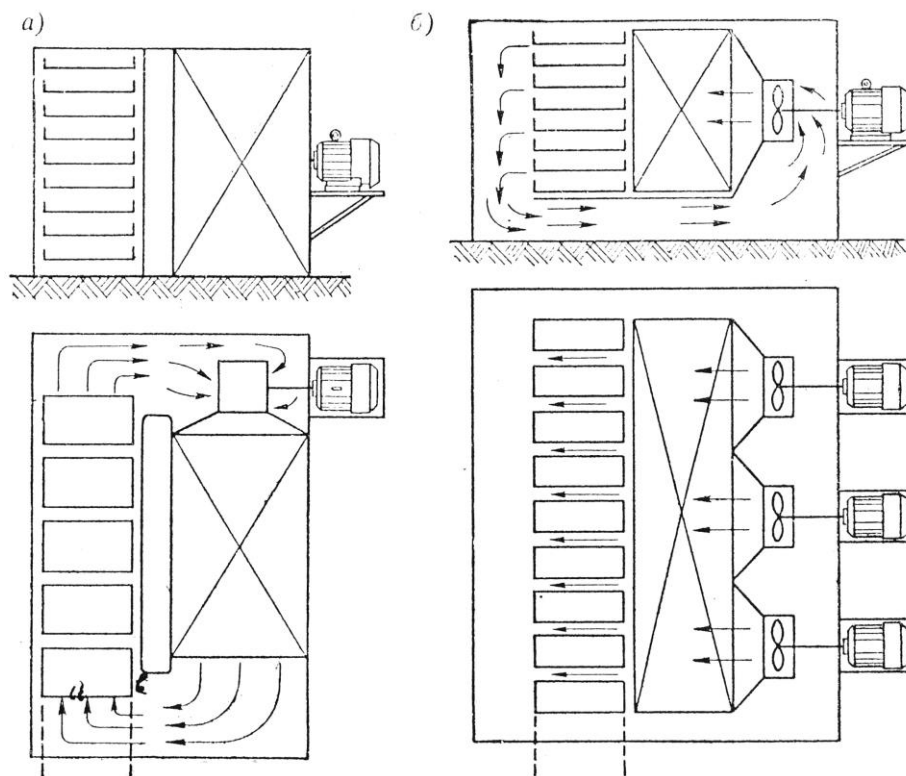


Рис. 8.7. Конвейерные скороморозильные аппараты непрерывного действия:
а – с продольным движением воздуха; б – с поперечным движением воздуха

Рассмотрим работу такого аппарата с продольным движением воздуха на примере серийно выпускаемых судовых морозильных аппаратов АСМА.

Их отличительной особенностью является замораживание продукции в блок-формах с крышками, что снижает усушку при замораживании блоков рыбы. Блок-формы являются неотъемлемой частью конвейера (рис. 8.8).

Грузовой конвейер состоит из двух параллельных конвейерных цепей, направление движения которых меняется с помощью звездочек. Конвейер образует 16 горизонтальных ветвей. Из изолированного контура в теплое помещение через проемы в передней торцевой стенке аппарата выходят верхняя и нижняя ветви конвейера. В этом же помещении блок-формы аппарата загружают продуктом и разгружают их.

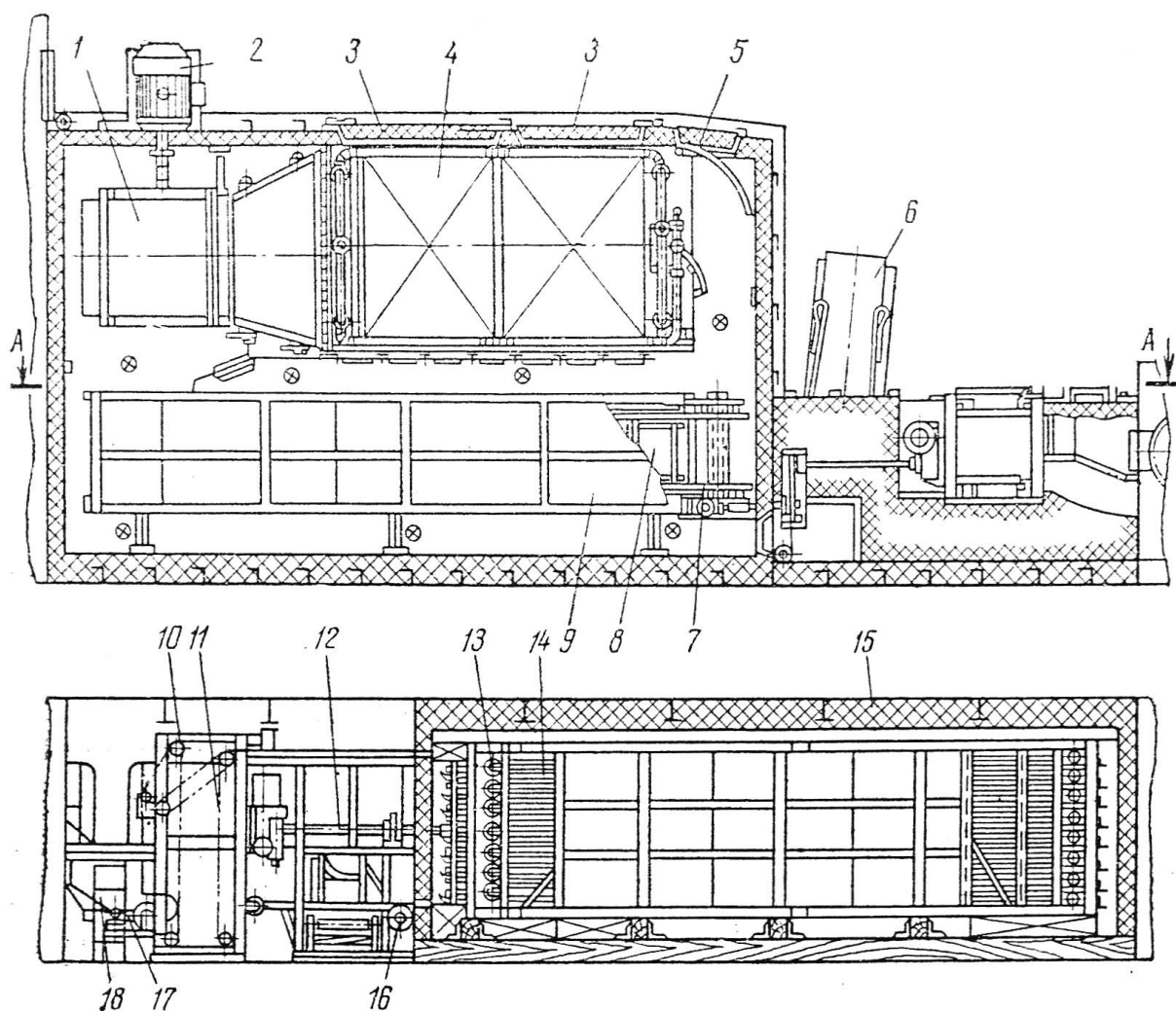


Рис. 8.8. Автоматизированный судовой морозильный аппарат типа АСМА:

1 – вентилятор; 2 – электродвигатель вентилятора; 3 – изолированные двери; 4 – воздухоохладитель; 5 – дверь; 6 – разгрузочный транспортер; 7 – опрокидыватель; 8 – блок форма; 9 – грузовой конвейер; 10 – элеватор; 11 – конвейерные цепи; 12 – привод конвейера; 13 – звездочки; 14 – направляющие; 15 – изолированный контур; 16 – электродвигатель конвейера; 17 – транспортер-питатель; 18 – бункер

С помощью пальцев цепи конвейера шарнирно соединены с блок-формами. Каждая блок-форма имеет четыре ролика, на которых она перемещается по направляющим. Перемещение блок-форм с одного яруса на другой происходит сверху вниз. Переход блок-форм с верхних направляющих на нижние происходит гравитационным способом.

Привод конвейера осуществляется от электродвигателя через двухступенчатый червячный редуктор и цепную передачу.

Движение воздуха создается центробежным вентилятором с двусторонним всасыванием. Электродвигатель вентилятора вынесен за охлаждаемый контур аппарата.

Из моечной машины рыба поступает на бункерные весы, а затем в загрузочный бункер, из которого высыпается в блок-формы грузовой конвейера. Заполненные блок-формы поступают в грузовой отсек. Скорость движения конвейера можно регулировать в пределах, которые соответствуют времени пребывания блок-формы в грузовом отсеке.

По выходе из аппарата блок-формы, шарнирно связанные с цепями конвейера только одной стороной, переворачиваются с помощью специального устройства. Перевернутая блок-форма подводится под нагреватель для оттаивания, после чего оттягивается крышка и подтаявший блок выпадает на разгрузочный транспортер.

Достоинством аппарата является высокая степень его механизации, что уменьшает трудовые затраты на единицу продукции. К недостаткам следует отнести нестандартные размеры и недостаточную жесткость блок-форм.

Частным случаем конвейерных аппаратов являются гравитационно-конвейерные (ГКА). Их отличительная особенность – отсутствие конвейерных цепей: противни с замораживаемым продуктом располагают на каретках, которые передвигаются по горизонтальным полкам, проталкивая друг друга. А переход крайней каретки с верхней полки на нижнюю осуществляется под воздействием сил тяжести.

Наибольшее распространение из аппаратов ленточного типа получили **спиральные СА** – разновидность конвейерных морозильных аппаратов, в которых длинная конвейерная лента располагается по спирали ярусами (до 50 ярусов в высоту). Сетчатая лента с продуктом, скользя по направляющим, движется по спирали вдоль медленно вращающегося барабана, который приводит её в действие за счёт трения. На отечественных предприятиях можно встретить такие аппараты шведского производства типа Гирофриз (рис. 8.9).

Он состоит из изолированного контура, воздухоохладителя, вентиляторов, устройства для мытья и сушки ленты, натяжного устройства и узла разгрузки.

Спиральный ленточный конвейер может перемещаться вокруг одного или двух барабанов. Лента конвейера по краям снабжена специальными звеньями, которые соединены между собой крестообразно круглыми стержнями. Отверстия в звеньях выполнены так, что лента может сжиматься и растягиваться. Ленту можно навивать на барабан диаметром около 2 м. Характерной особенностью такой ленты является и то, что продукт остается зафиксированным на ней при движении в аппарате. Это позволяет на одной ленте одновременно замораживать различные продукты, продолжительность холодильной обработки которых одинакова.

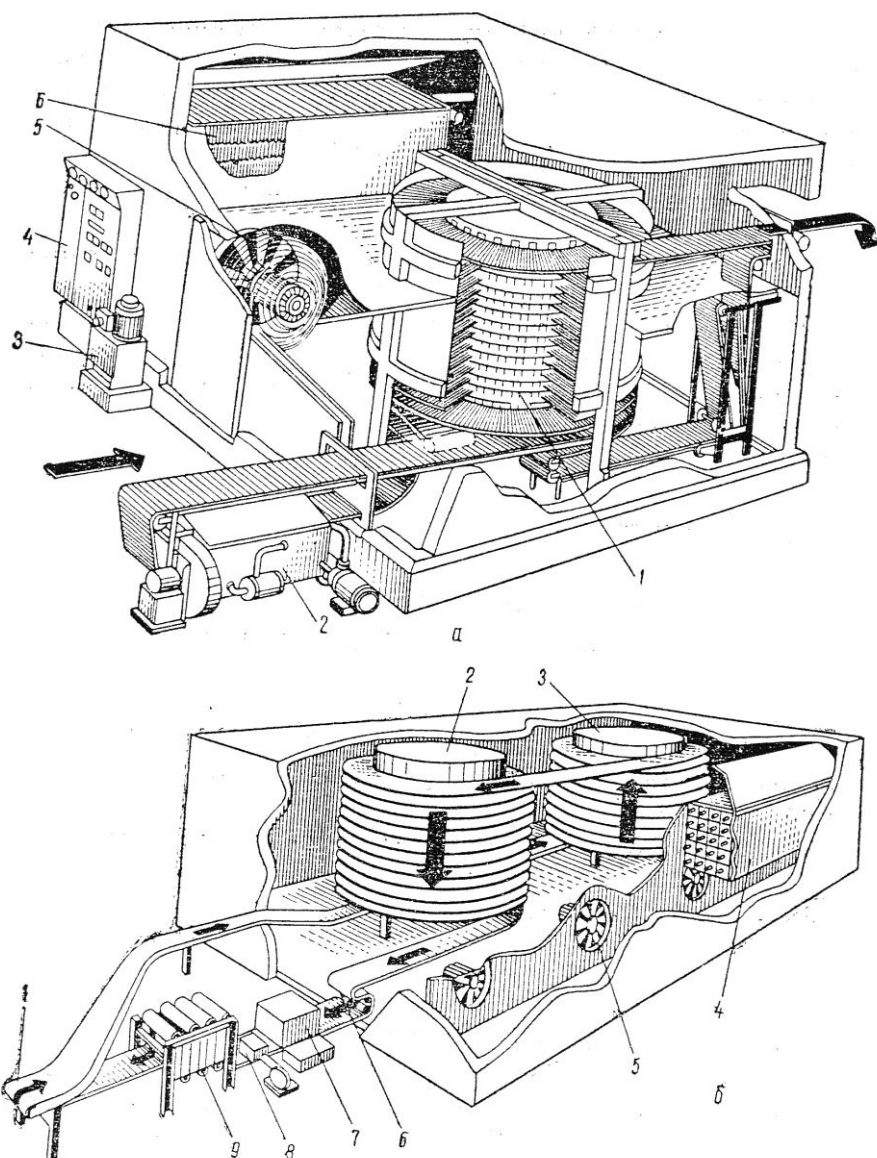


Рис. 8.9. Морозильные аппараты Гирофриз:

а) с одним барабаном: 1 – барабан; 2 – устройство для мытья ленты; 3 – преобразователь частоты; 4 – распределительный щит; 5 – вентилятор; 6 – воздухоохладитель;

б) с двумя барабанами: 1 – устройство для переворачивания ленты; 2 – второй барабан; 3 – первый барабан; 4 – воздухоохладитель; 5 – вентилятор; 6 – узел разгрузки; 7 – моечное устройство; 8 – вентилятор сушки ленты; 9 – натяжное устройство.

Барабан приводится в движение электрическим или гидравлическим приводом. Такой привод исключает необходимость применения промежуточных валов, подшипников и передач. Скорость движения ленточного конвейера задается такой, чтобы продукт за время перемещения его в аппарате был заморожен. Отсек с оребренными воздухоохладителями и осевыми вентиляторами находится рядом с грузовым отсеком. Охлаждение воздухоохладителей может производиться аммиаком (с применением насосно-циркуляционной схемы) или R22.

Холодный воздух в аппарате обдувает замораживаемые продукты сверху вниз. Вентилятором 5 (рис. 13.6 а) подогретый и увлажнённый воздух нагнетается в пространство на втором этаже аппарата (на полу второго этажа установлен воздухоохлади-

тель 6), охлаждаясь и осушаясь при этом в воздухоохладителе 6. Отсюда под избыточным давлением он последовательно проходит через ярусы и постепенно насыщается влагой. Это способствует уменьшению усушки замораживаемых продуктов. В аппаратах Гирофриз усушка на 40...50 % меньше, чем усушка в воздушных морозильных аппаратах.

Аппарат оборудуется автоматическим устройством для мытья и сушки ленты. Лента сначала орошается теплой водой и дезинфицирующим раствором, а затем ополаскивается теплой водой. Вентилятор, установленный по ходу движения ленты за моющим устройством, подсушивает ленту.

После мытья и сушки ленты она проходит натяжное устройство, которое компенсирует изменение длины. Лента меняет линейные размеры при изменении температуры и вследствие износа. Узел разгрузки, оборудованный нейлоновым ножом, снимает продукт с ленты.

Простота эксплуатации, максимальная гигиеничность, интенсивность холодильной обработки, малая усушка являются основными достоинствами аппаратов типа Гирофриз.

Техническая характеристика однобарабанного аппарата такого типа:

- производительность 550 кг/ч
- количество рабочих ярусов 17,5
- поверхность охлаждающих батарей 750 м²
- температура воздуха в аппарате минус 35 °С
- скорость движения воздуха 5 м/с
- производительность вентиляторов 10 м³/с
- продолжительность замораживания 5...20 мин
- габаритные размеры аппарата 5,4×3,0×2,75 м

Аналогичный модульный ряд САС (скороморозильных аппаратов спиральных) недавно разработала и начала их серийное производство российская фирма “Простор Л”. Однобарабанные конструкции изготавливаются с конвейерными лентами шириной от 300 до 660 мм, способны замораживать самую разнообразную мелкоштучную продукцию толщиной не более 20...25 мм.

Модель	Производительность, кг/ч	Электрическая мощность, кВт
САС 500	500	13,8
САС 700	700	13,8
САС 900	900	18,2
САС 1100	1100	18,2
САС 1300	1300	22,6
САС 1500	1500	22,6

Несомненным преимуществом аппаратов данного типа является компактность: занимаемая ими площадь составляет менее 60 % площади конвейерных аппаратов той же производительности.

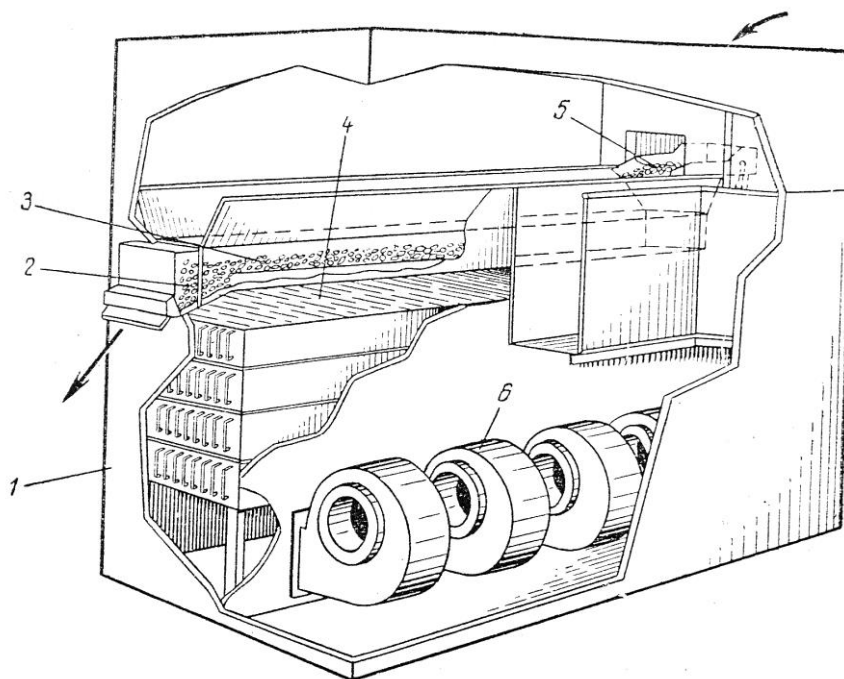
8.2.5. Флюидизационные морозильные аппараты

Они предназначены для замораживания мелкоштучных пищевых продуктов россыпью (зелёный горошек, бобы, фасоль, ягоды, рыбные палочки и др.), которые имеют одинаковую форму и незначительно различаются размерами и массой отдельных частиц (кусков). В таких аппаратах продукты замораживают в потоке холодного воздуха, который подается снизу через специальную решетку (перфорированный под-

дон) в грузовой отсек. Движущийся воздух создает воздушную подушку и перемещает мелкоштучный продукт вдоль грузового отсека аппарата.

При замораживании продуктов в флюидизационных аппаратах энергетические затраты на привод вентиляторов зависят от скорости движения воздуха, продуваемого через решетку. Если размеры и масса единичного продукта увеличиваются, то возрастает скорость движения воздуха, его объем и масса.

Флюидизационные морозильные аппараты бывают малой, средней и большой производительности.



Аппарат
ой производи-
тельности
8.10) состоит
изолированного
тура, воздухо-
оохладителя, под
орым распо-
ожен поддон с
форированным
м, вибрацион-
решетки и
гребенных
вентиляторов.

Из техно-
ического цеха
жный продукт
спортером
ез окно пода-

Рис. 8.10. Флюидизационный морозильный аппарат малой производительности: 1 – изолированный контур; 2 – поддон с перфорированным дном; 3 – продукт; 4 – воздухоохладитель; 5 – вибрационная решетка; 6 – центробежные вентиляторы. Подсушивание предотвращает примерзание влажного продукта к поддону с перфорированным дном. Попадая на поддон, продукт обдувается холодным воздухом и во взвешенном состоянии быстро замораживается. Образовавшаяся ледяная корочка сокращает усушку.

Из аппарата замороженный продукт удаляется через разгрузочное окно и направляется для расфасовки и упаковки.

Движение воздуха в аппарате производится центробежными вентиляторами. Воздух нагнетается вентиляторами в грузовой отсек.

Из воздухоохладителя воздух направляется к поддону с перфорированным дном. Воздухоохладитель аппарата оттаивается горячими парами аммиака.

В аппарате быстро замораживается мелкоштучный продукт, аппарат прост в эксплуатации и надежен в работе. Недостатком аппарата является необходимость периодических остановок для удаления снеговой шубы с поверхности воздухоохладителя.

Технические характеристики флюидизационного морозильного аппарата малой производительности приведены ниже.

Производительность, т/смену	0,6...0,8
Емкость, кг	100...150
Площадь поверхности воздухоохладителя, м ²	800
Температура воздуха в аппарате, °С	минус 30...минус 25
Скорость движения воздуха в аппарате, м/с	3...5

На крупных предприятиях консервной промышленности широкое распространение получили аппараты большой производительности. Серийно выпускаемый в Болгарии АЗФ-1 (рис. 13.8) включает изолированный контур, состоящий из двух отсеков, устройство предварительного охлаждения и жалюзийные шторы, предназначенные для изменения количества воздуха и направления его движения, центробежные вентиляторы и воздухоохладитель.

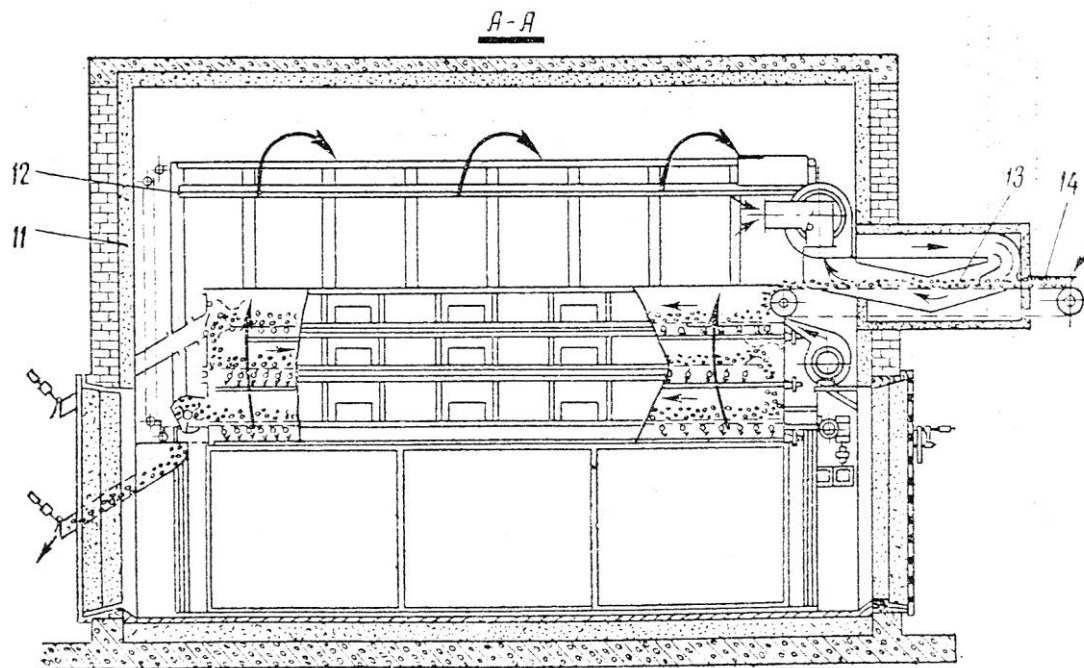
В большом отсеке 2 изолированного контура замораживаются мелкоштучные продукты, а во втором – 2 можно замораживать крупнокусковые.

Продукт, подлежащий замораживанию, попадает в устройство предварительного охлаждения и подсушки. Это устройство оборудовано вибрационной решеткой и индивидуальным центробежным вентилятором, интенсивно обдувающим вибрационную решетку. Устройство предварительного охлаждения исключает намораживание и нагромождение теплого и влажного продукта в начальной части аппарата.

Если в аппарате замораживаются продукты небольших размеров (горошек, малина, резаная стручковая фасоль и др.), продолжительность замораживания которых мала, то используют только одну верхнюю решетку. При этом замороженный продукт выгружается через верхнее выпускное окно. Крупнокусковые продукты, время замораживания которых относительно велико, замораживаются на трех решетках, последовательно ссыпаясь с решетки на решетку. В этом случае замороженный продукт удаляется через нижнее выпускное окно.

Регулирование направления движения потока продукта производится с помощью шиберов. Скорость движения потока продукта зависит от скорости и направления движения воздуха у решетки. Под каждой решеткой расположены жалюзийные шторы, предназначенные для регулирования движения воздуха.

Двухскоростные электродвигатели центробежных вентиляторов воздухоохладителей позволяют регулировать производительность U и скорость движения воздушного потока. Для точной регулировки скорости движения воздушного потока в аппарате имеются задвижки с дистанционным управлением. Воздух, нагнетаемый вентиляторами, проходит через диффузоры в воздухораспределительный канал и далее направляется к решеткам с продуктом, где нагревается. Теплый воздух охлаждается в воздухоохладителе.



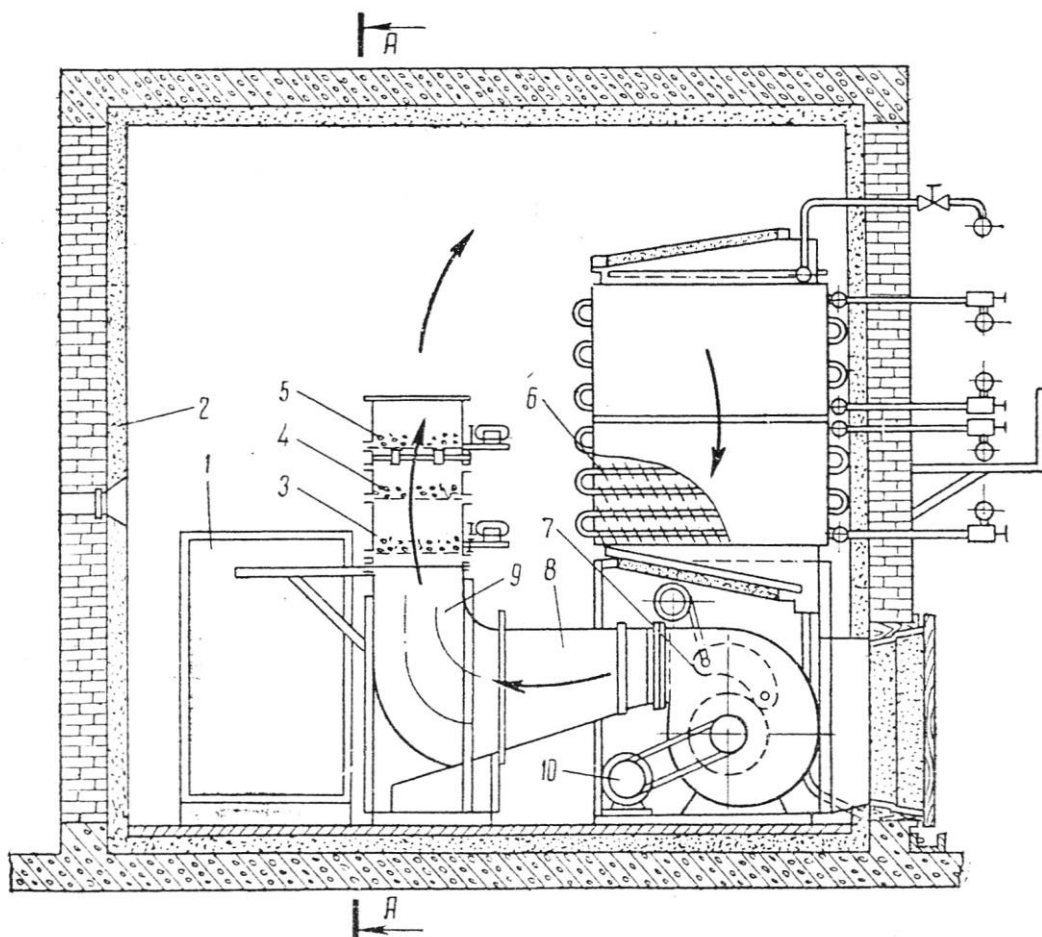


Рис. 8.11. Флюидизационный морозильный аппарат АЗФ-1 большой производительности с многоярусными решетками:

1 – туннельный отсек; 2, 11 – изолированный контур; 3 – нижняя неподвижная решетка; 4 – средняя неподвижная решетка; 5 – верхняя неподвижная решетка; 6 – воздухоохладитель; 7 – центробежный вентилятор с электродвигателем; 8 – диффузор; 9 – воздухораспределительный канал; 10 – двухскоростной электродвигатель центробежного вентилятора; 12 – воздухоохладитель; 13 – устройство предварительного охлаждения и подсушки продукта; 14 – транспортер подачи продукта в аппарат

Воздухоохладитель состоит из восьми секций, расположенных в изолированном контуре. Секции оттаиваются водопроводной водой последовательно и независимо друг от друга. При оттаивании секция она автоматически изолируется от грузового отсека аппарата передвижными закрывающимися шторками.

Достоинства аппарата – высокая универсальность, позволяющая замораживать в аппарате мелкоштучные и крупнокусковые продукты, непрерывность работы, компактность.

Отечественный аппарат с механическим приводом решетки (рис. 8.11), установленный в поточной линии замораживания гарнирного картофеля, состоит из изолированного контура, подсушивающей вибрационной решетки, бункера-дозатора, решетки механизма равномерного распределения продукта на ленте, вариатора скоростей, приспособления для мытья и сушки ленты, воздухоохладителя и вентиляторов.

Аппарат собирается из нескольких стандартных модулей. Постоянными в аппарате являются головной и хвостовой модули, длина которых равна 3,6 м. Количество средних модулей (длина модуля составляет 3 м) зависит от производительности аппарата. Модули легко транспортируются и собираются на месте эксплуатации аппарата. В

каждом модуле имеется свой воздухоохладитель и два высоконапорных вентилятора. Модули аппарата собираются с помощью болтов. Из бункера-дозатора продукт попадает на решетку. Через окно загрузки, проходя зону подсушивания, продукт поступает в зону замораживания, где через плотный слой продукта продувается холодный воздух.

Из аппарата замороженный продукт направляется к месту разгрузки. В зависимости от вида продукта аппарат может оснащаться пневматическим, плиточным или шнековым транспортером разгрузки, который направляет замороженный продукт на фасовку, упаковку и далее на хранение.

Последовательное оттаивание секций воздухоохладителя, расположенных в изолированном контуре, создает условия для непрерывной работы аппарата.

Аппарат компактен, прост в монтаже и эксплуатации, позволяет быстро замораживать продукты, легко вписывается в технологические линии производства готовых продуктов и полуфабрикатов.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите способы размещения грузов в камерах холодильника.
2. В чём отличие камеры охлаждения от камеры хранения грузов?
3. Перечислите известные Вам типы камер охлаждения мяса в полутушах.
4. Какие параметры воздушной среды поддерживаются в камерах охлаждения?
5. Способы предварительного охлаждения рыбы.
6. Способы охлаждения пищевых жидкостей.
7. Объясните схему движения потоков в пластинчатом охладителе молока фирмы “Простор-Л”.
8. Преимущества и недостатки замораживания в воздухе.
9. Какой формы продукты не подлежат замораживанию в СА?
10. Чем отличаются параметры воздушной среды в камерной морозилке от параметров в СА?
11. Принцип работы “влажnofильтра” в воздушном СА.
12. Перечислите существующие способы создания циркуляционного кольца воздуха в камерных морозилках.
13. Что такое “цикл замораживания” в камерных морозилках периодического действия?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Усов, А.В. Основы холодильной техники: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.В. Усов, И.А. Короткий. — Электрон. дан. — Кемерово : КемТИПП, 2016. — 121 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/99565>. (дата обращения 29.03.2018г.).

Дополнительная

1. Буянов, О.Н. Холодильное технологическое оборудование: [Электронный ресурс]. 2009 URL: <http://www.iprbookshop.ru/14401.html> (Дата обращения: 15.02.2018). ISBN: 978-5-89289-542-2
2. Большаков, С.А. Холодильная техника и технология продуктов питания: учебник [Текст] / С.А. Большаков. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 304 с. Дополнительная литература

Библиографический список

1. **Буянов, О.Н.** Холодильное технологическое оборудование: [Электронный ресурс]. 2009 URL: <http://www.iprbookshop.ru/14401.html> (Дата обращения: 15.02.2018). ISBN: 978-5-89289-542-2
2. **Иванов, А.Н.** Теплообменное оборудование предприятий Учебное пособие / А.Н. Иванов, В.Н. Белоусов, С.Н. Смородин. — Санкт-Петербург 2016. — 184 с. [Электронный ресурс] URL: <http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/17.pdf> (Дата обращения 15.02.2018)
3. **Круглов, Г.А.** Теплотехника. Практический курс [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова, М.В. Андреева. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 192 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/96253>. (дата обращения 29.03.2018г.).
4. **Курылев, Е.С.** Холодильные установки: учебник [Текст] / Е.С. Курылев, В.В. Оносовский, Ю.Д. Румянцев. — СПб.: Политехника, 2002. — 576 с.
5. **Расщепкин, А.Н.** Теплообменные аппараты низкотемпературной техники: [Электронный ресурс]. 2012 URL: <http://www.iprbookshop.ru/14393.html> (Дата обращения: 15.02.2018). ISBN: 978-5-89289-729-7
6. **Усов, А.В.** Основы холодильной техники: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.В. Усов, И.А. Короткий. — Электрон. дан. — Кемерово : КемТИПП, 2016. — 121 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/99565>. (дата обращения 29.03.2018г.).
7. **Шалапугин, С.В.** Холодильная техника и технология: методические указания [Текст] / С.В. Шалапугин. — Саратов.: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2004. — 48 с.
8. **Шалапугин, С.В.** Холодильная техника и технология: методические указания [Текст] / С.В. Шалапугин. — Саратов.: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2005. — 20 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Лекция 1. Основные понятия теплотехники.	4
1.1. Основные понятия и определения.	4
1.2. Первый закон термодинамики.	4
1.3. Второй закон термодинамики.	5
1.4. Изопроцессы идеального газа.	6
1.5. Первый закон термодинамики для потока.	7
1.6. Критическое давление и скорость. Сопло Лаваля.	8
1.7. Дросселирование.	9
1.8. Свойства реальных газов.	10
1.9. Понятия о водяном паре.	10
1.10. Характеристики влажного воздуха.	11
Вопросы для самоконтроля	12
Список литературы	12
Лекция 2. Основы теории теплообмена.	14
2.1. Основные понятия и определения.	14
2.2. Температурное поле. Уравнение теплопроводности.	14
2.3. Стационарная теплопроводность через плоскую стенку.	15
2.4. Факторы, влияющие на конвективный теплообмен.	16
2.5. Закон Ньютона-Рихмана.	16
2.6. Тепловое излучение.	17
Вопросы для самоконтроля	18
Список литературы	18
Лекция 3. Теплопередача. Применение тепла.	20
3.1. Теплопередача через плоскую стенку.	20
3.2. Типы теплообменных аппаратов.	21
3.3. Расчет теплообменных аппаратов.	22
3.4. Физический процесс горения топлива.	22
3.5. Теплообменные аппараты.	23
3.6. Способы сушки.	25
Вопросы для самоконтроля	26
Список литературы	26
Лекция 4. Процессы получения низких температур. Способы охлаждения. Термодинамические основы работы холодильных машин.	27
4.1. Процессы получения низких температур.	27
4.2. Способы охлаждения.	30
4.3. Термодинамический цикл холодильных машин.	30
4.4. Расчет цикла холодильных машин.	31
4.5. Принцип действия паровых компрессионных холодильных машин.	33
4.6. Система охлаждения холодильной установки.	42
Вопросы для самоконтроля	43
Список литературы	43
Лекция 5. Холодильные агенты и хладоносители.	
Типы холодильных машин. Компрессоры холодильных машин.	44
5.1. Холодильные агенты и хладоносители.	44
5.2. Газовые и вихревые холодильные машины.	47
5.3. Абсорбционные и сорбционные холодильные машины.	49
5.5. Пароэжекторные холодильные машины.	49
Вопросы для самоконтроля	50

Список литературы	50
Лекция 6. Устройство компрессионных холодильных машин	52
6.1. Компрессионные паровые холодильные машины	52
6.2. Поршневые компрессоры	52
6.3. Ротационные компрессоры	58
6.4. Винтовые компрессоры	58
6.5. Турбокомпрессоры	59
Вопросы для самоконтроля.	60
Список литературы	60
Лекция 7 Охлаждаемые сооружения	62
7.1. Классификация холодильников для пищевых продуктов	62
7.2. Классификация холодильников по назначению.	63
7.3. Классификация холодильников по грузовместимости.	66
7.4. Конструкции холодильников	67
7.5. Наружные ограждающие конструкции.	67
7.6. Внутренние ограждающие конструкции.	68
7.7. Теплоизоляционные материалы.	69
7.8. Гидроизоляционные материалы.	69
7.9. Расчет тепловой изоляции охлаждаемого помещения	70
Вопросы для самоконтроля.	70
Список литературы.	71
Лекция 8 Холодильное технологическое оборудование для охлаждения и замораживания пищевых продуктов	72
8.1. Оборудование для охлаждения пищевых продуктов	72
8.1.1. Камеры охлаждения	72
8.1.2. Оборудование для охлаждения рыбы и жидких пищевых продуктов	76
8.2. Технологическое оборудование для замораживания в воздухе	79
8.2.1. Классификация и устройство камерных морозилок	80
8.2.2. Воздушные морозильные аппараты	80
8.2.3. Морозильные аппараты тележечного типа	82
8.2.4. Конвейерные морозильные аппараты	84
8.2.5. Флюидизационные морозильные аппараты	88
Вопросы для самоконтроля.	92
Список литературы.	93
Библиографический список	93