

**КАЛАНДАРОВ П. И., МУКИМОВ З. М.**

# **ТЕПЛО И ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

**Учебник**



**Ташкент- 2022**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН  
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**КАЛАНДАРОВ ПАЛВАН ИСКАНДАРОВИЧ  
МУКИМОВ ЗИЁВИДДИН МАЪМУРОВИЧ**

**«ТЕПЛО И ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА»**

**Учебник**



**Ташкент – 2022 г.**

**КВК: 38. 762.1 (Узб.)**

**UO'S: 362.763.14.25**

**П.И. Каландаров. Мукимов З.М.** «Тепло и холодильная техника». Учебник.  
– Ташкент: “**Fan ziyosi**”. 2022. – 241 с.

*Представленная к изданию учебник «Тепло и холодильная техника» занимает важное место в подготовке бакалавров. Предметом анализа выступает задача обеспечения потребителей холодом нужных параметров наиболее выгодным способом с применением современной технологии в комплексе с автоматизацией и механизацией производственных процессов, а также задача дальнейшего развития материально-технической базы холодильного предприятия, оснащения их современным холодильным оборудованием, постоянного повышения эффективности его эксплуатации требует подготовки квалифицированных специалистов в области холодильной техники. Качество преподавания и подготовки специалистов во многом зависит от наличия специализированных учебника. Учебник содержит выборочные сведения из термодинамики, основы теории холодильной техники и технология что позволило логически скомпоновать материал по холодноснабжению объектов хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.*

*Учебник предназначено для студентов специальности “Хранения и переработка сельскохозяйственной продукции” направлению подготовки **5410500**. Оно полностью обеспечивает дидактическим материалом лекционную часть и практические занятия по дисциплине “Тепло и хладотехника” и может быть полезно для студентов различных направлений. Рекомендовано в качестве учебника методическим советом Ташкентский ГАУ и утвержден приказом №237 от 31 мая 2021 года, Министерства высшего и среднего специального образования республики Узбекистан.*

**Рецензенты:**

**Сафаров Т.Т.** -д-р техн. наук, проф.

**Шокиров А.Ж.** -д-р сель. наук. доц.

©Каландаров П.И., Мукимов З.М., 2022.

**ISBN: 9789943-7468-5-5**

**© “Fan ziyosi” nashriyoti 2022.**

## **Введение**

Учебник представляет собою последовательное и лаконичное изложение, основные понятия и определения теплотехники, термодинамики, теплопередачи, теории холодильной техники и технология.

Учебник позволяет студентам получить сведения о назначении и устройстве холодильной техники, физических принципах получения низких температур, типах и циклах холодильных машин, а также об основных и вспомогательных элементах холодильных установок, а также теоретические основы холодильной технологии.

Курс лекций ориентирован на формирование общетехнической подготовки студента, как основы для творческого изучения и квалифицированной эксплуатации технических средств производственных процессов, используемых для хранения и переработки сельскохозяйственного сырья, продукции.

Сегодня в стране создано развитое холодильное хозяйство и действует непрерывная холодильная цепь, которая позволяет сохранить массу и качество продовольствия на всех этапах товародвижения - от сбора или производства до потребления. Применение искусственного холода, совершенствование технических средств и методов холодильной обработки и хранения сырья и продуктов способствуют снижению потерь, сохранению их биологической и пищевой ценности.

В последнее десятилетие произошли значительные изменения в холодильной машиностроение, номенклатуре оборудования, типах машин и конструкциях теплообменных аппаратов. Претерпели эволюцию охлаждаемые сооружения, их теплоизоляционные конструкции, схемы автоматизации холодильных установок, схемы и средства механизации грузовых работ.

В холодильном транспорте заметную роль стали играть изотермические и охлаждаемые контейнеры. Расширилось использование искусственного холода в различных отраслях промышленности страны, появились более совершенные установки для охлаждения и замораживания пищевых продуктов. Все эти изменения учтены в настоящем издании.

# РАЗДЕЛ I

## ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ И ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

*Принципы термодинамики бросают  
яркий свет на все явления природы*

*Д. Максвелл*

### §1.1. Основные понятия и определения теплотехники

#### ТЕПЛОТЕХНИКА

*Теплотехника* – наука, которая изучает методы получения, преобразования, передачи и использования теплоты, а также принципы действия и конструктивные особенности тепловых машин, аппаратов и устройств. Теплота широко используется во всех областях хозяйственной деятельности человека и его нормального жизнеобеспечения. Разработка теоретических основ теплотехники необходима для установления наиболее рациональных способов использования тепловой энергии, анализа экономичности рабочих процессов тепловых установок и создания новых, наиболее совершенных типов тепловых процессов. Любому техническому специалисту - инженеру, технику, механику необходимы знания основ этой науки, поскольку в настоящее время идет процесс интенсивного и широкого внедрения сложнейших тепловых машин и установок разного назначения практически во всех сферах хозяйственной деятельности человека.

Невозможно представить жизнь современного общества без автомобилей, самолетов, сельскохозяйственной техники, тепловых электростанций и котельных установок и т. п. Все эти сложнейшие технические устройства используют в своей работе тепловые машины различной конструкции. Можно с уверенностью сказать, что научно-технический прогресс в ближайшем будущем позволит человеку использовать

тепловую энергию все более эффективно. Поэтому без знания теоретических основ теплотехники и термодинамики современному техническому специалисту не обойтись.

Различают два принципиально различных направления использования теплоты – *энергетическое* и *технологическое*. При энергетическом использовании, теплота преобразуется в механическую работу, с помощью которой в специальных установках (*генераторах*) создается электрическая энергия, наиболее удобная для передачи на значительное расстояние. Теплоту при этом получают сжиганием топлива в котельных установках или непосредственно в двигателях внутреннего сгорания. При технологическом использовании тепловой энергии она используется для направленного изменения механических, физических или химических свойств различных тел (*расплавления, затвердевания, изменения структуры и т. п.*).

## ТЕРМОДИНАМИКА

**Термодинамика** - наука, изучающая энергию и законы ее превращения из одного вида в другой. Изучение основ термодинамики позволяет понимать принципы работы тепловых двигателей (*паровых машин, двигателей внутреннего сгорания*), тепловых насосов, холодильной техники, кондиционеров и других устройств.

**Техническая термодинамика** - раздел термодинамики, в котором рассматриваются взаимопревращения тепловой и механической энергии с помощью материальных тел, называемых **рабочими телами**. Техническая термодинамика является основой теории тепловых двигателей и других промышленных установок, связанных с взаимопревращениями указанных видов энергии.

Как отмечалось выше, преобразование теплоты в механическую работу происходит с помощью рабочего тела. Наиболее эффективным с точки зрения

технической термодинамики рабочим телом является то, которое обладает выраженными упругими свойствами, позволяющими телу в значительной мере деформироваться (*изменять свой объем*) под влиянием механической силы (*давления*), термического воздействия (*теплоты*) или комбинированного термомеханического воздействия.

Наблюдая за агрегатным состоянием различных тел, можно заметить, что наиболее целесообразными рабочими телами для применения в различных тепловых устройствах являются газы или пары. Именно они наиболее полно могут быть использованы в процессах преобразования теплоты в механическую работу, так как газы и пары, с одной стороны, легко деформируемы (*легко сжимаются, расширяются*) под влиянием внешних сил, а с другой стороны, им свойственны значительные (*по сравнению с другими агрегатными состояниями тел*) коэффициенты объемного расширения. Газы упруги - сжатый, т. е. деформированный объем газа стремится восстановить и даже увеличить свой первоначальный объем при снятии внешней нагрузки.

Одним из основных в технической термодинамике является понятие о *термодинамической системе*, представляющей собой совокупность тел, находящихся во взаимодействии, как между собой, так и с окружающей средой. Простым примером термодинамической системы может служить газ, расширяющийся или сжимающийся в цилиндре с движущимся поршнем.

Материальные тела, входящие в термодинамическую систему, разделяют на *источники тепла* и *рабочие тела*, которые под воздействием источника теплоты совершают механическую работу.

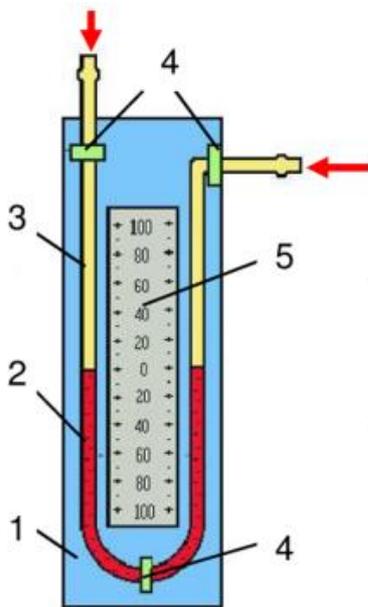
Для определения конкретных физических условий, в которых находится термодинамическая система, используют ряд показателей, называемых **параметрами состояния**. В число основных параметров входят: *абсолютная температура  $T$ , абсолютное давление  $p$  и удельный объем  $v$  (или величина, обратная удельному объему, - плотность  $\rho$ )*.

Последовательность изменения состояния рабочего тела в термодинамической системе называют *термодинамическим процессом*. Основным признаком процесса является изменение хотя бы одного из параметров состояния.

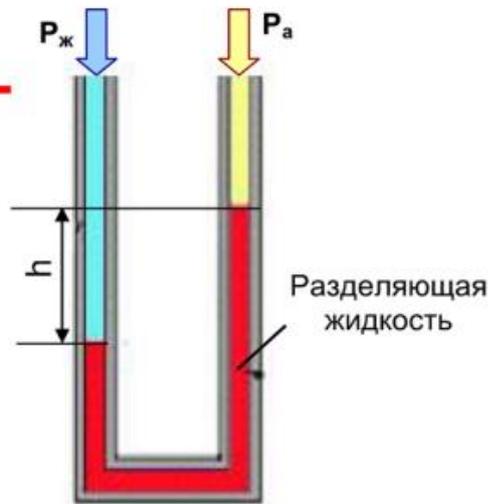
Рассмотрим физический смысл каждого из параметров рабочего тела с точки зрения науки теплотехники.

## ***1. ДАВЛЕНИЕ***

**Давление ( $p$ )** в термодинамике определяется как сила, действующая по нормали на единицу площади поверхности тела. Давление газа - результат воздействия молекул газа на стенки сосуда, в котором он заключен. Известно, что молекулы любого газа находятся в постоянном движении, перемещаясь спонтанно в произвольном направлении. В результате хаотического движения молекул газа они систематически ударяются о стенки сосуда, оказывая на них силовое воздействие. Суммарное действие всех ударяющихся молекул определяет давление газа на стенки сосуда.



а



б



в

Именно это свойство газов (*оказывать давление на стенки сосуда*) позволяет использовать его в качестве рабочего тела в термодинамических процессах.

*Давление измеряется в Паскалях (Па).* Один Паскаль равен силе величиной *1 ньютон*, действующей на площадь размером *1 квадратный метр*:

$$Pa = N/m^2.$$

В теплотехнических установках шкалы приборов для измерения давления часто градуируют в единицах системы *МКГСС*, в которой за единицу давления принята техническая атмосфера, (*ат или ат*):

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кг/см}^2 \approx 9,814 \text{ Н/м}^2 \approx 0,0981 \text{ МПа}.$$

При этом не следует путать единицы измерения техническая атмосфера (*ат*) с единицей измерения физическая атмосфера (*атм* или *атм*), характеризующей нормальное (*физическое*) атмосферное давление  $p_0$ , которое принято выражать, также, в миллиметрах ртутного столба:

$$p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.} \approx 101325 \text{ Па} \approx 0,101325 \text{ МПа.}$$

В соответствии с определением между этими единицами существует зависимость:

$$1 \text{ атм} \approx 101\,325 \text{ Па} \approx 1,033233 \text{ ат.}$$

В настоящее время международными и российскими органами стандартизации и метрологии приняты меры по исключению этих единиц измерения давления из применения.

В технической термодинамике различают **абсолютное** и **избыточное давление**. Под абсолютным понимают действительное давление рабочего тела внутри сосуда.

Под избыточным давлением понимают разность между абсолютным давлением в сосуде и давлением окружающей (*внешней*) среды.

Приборы, служащие для замера разности между абсолютным и избыточным давлением, называют **манометрами**. Из приведенных выше определений следует, что для случая, когда давление в сосуде превышает давление окружающей среды,

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{изб}} + P_0,$$

где:

$P_{\text{абс}}$  - абсолютное давление в сосуде;

$P_{\text{изб}}$  - манометрическое или избыточное давление (измеренное прибором);

$P_0$  - давление окружающей среды (атмосферное или барометрическое давление).

Если абсолютное давление меньше давления окружающей среды, то разность между ними называется **разряжением**, или **вакуумом**.

Для измерения разрежений служит **вакуумметр** - прибор, показывающий разность давления окружающей среды и абсолютного давления в сосуде.

В этом случае:

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{б}} - P_{\text{изб}},$$

где:  $P_{\text{изб}}$  – показание величины разрежения на шкале вакуумметра.

Под **удельным объемом рабочего тела** понимают объем, занимаемый массой в 1 кг этого тела.

Удельный объем обозначается буквой  $v$  и измеряется в кубических метрах на килограмм ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ).

Под **плотностью рабочего тела** понимают величину, обратную удельному объему, т.е. массу вещества, заключенную в объеме 1  $\text{м}^3$ . Плотность обозначается буквой  $\rho$  и измеряют в килограммах на кубический метр ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ). Из приведенных определений следует:

$$v = V/m; \quad \rho = m/V,$$

поэтому произведение удельного объема на плотность будет равно единице:

$$v\rho = 1,$$

здесь:  $V$  – объем рабочего тела,  $\text{м}^3$ ;  $m$  – масса рабочего тела, кг.

## **2. ТЕМПЕРАТУРА**

**Абсолютная температура** – это одна из основных параметров, характеризующих тепловое состояние тела, мера степени нагретой телы. Величина этого параметра определяется средней кинетической энергией движения молекул газа.

*Знак разности температур двух неодинаково нагретых тел определяет направлении передачи тепла.*



Температуру измеряют либо по абсолютной (термодинамической) шкале в градусах Кельвина ( $K$ ) и обозначают буквой  $T$ , либо по Международной практической шкале в градусах Цельсия ( $^{\circ}C$ ) и обозначают буквой  $t$ .

За ноль абсолютной температуры абсолютной по шкале Кельвина принята температура вещества, когда полностью отсутствует тепловое движение его молекул и атомов. По этой шкале температура может быть только положительной (либо равной нулю, хотя, доказано, что абсолютный ноль - температура недостижимая, также, как и скорость света).

Ноль температуры в международной практической шкале соответствует температуре плавления льда при нормальном давлении ( $760 \text{ мм рт. ст.}$ ). Эту температуру называют, также, **тройной точкой воды**, поскольку все три фазы воды (твердая, жидкая и газообразная) при такой температуре находятся в состоянии равновесия. Сотому делению этой шкалы соответствует температура кипения воды ( $100^{\circ}C$ ) при нормальном давлении.

Цена деления шкалы Кельвина одинакова с ценой деления шкалы Цельсия, т. е. равна 1 градусу, а соотношение между абсолютной температурой  $T$  и практической температурой  $t$  определяется формулой:

$$T = t + 273,15.$$

В США, Канаде и некоторых других странах для измерения температуры применяется *шкала Фаренгейта*, в которой за ноль принята температура смеси равных частей льда и нашатыря. В этой шкале температура таяния льда равна  $32^{\circ} F$ , а температура кипения химически чистой воды равна  $212^{\circ} F$ .

Соотношение между значениями температуры, измеренной по шкалам Цельсия и Фаренгейта:

$$T(^{\circ}F) = 9/5t(^{\circ}C) + 32.$$

Считается, что рабочее тело находится при нормальных физических условиях, если давление его равно  $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.} \approx 101325 \text{ Па} \approx 0,101325 \text{ МПа}$ , а температура  $t_0 = 0^{\circ} C$ .

### **3. Киломоль**

В технической термодинамике часто используют понятие киломоль (*кмоль*), который характеризует количество вещества в килограммах, численно равное его молекулярной массе  $\mu$ . Например, киломоль кислорода  $O_2$ , имеющего молекулярную массу  $\mu = 32$ , равен  $32 \text{ кг}$ , киломоль углерода  $C$  (*молекулярная масса  $\mu = 12$* ) равен  $12 \text{ кг}$ , киломоль углекислого газа  $CO_2$  (*молекулярная масса  $\mu = 44$* ) равен  $44 \text{ кг}$  и т. д.

Единицей измерения киломоля является килограмм деленный на киломоль:  $\text{кг/кмоль}$ .

### **Контрольные вопросы:**

1. Что изучает теплотехника?
2. Что такое теоретические основы теплотехники?
3. Что такое термодинамика и теория теплообмена?
4. Что такое техническая термодинамика?
5. Основы термодинамики – в чем заключается её смысл?
6. Что такое теория теплообмена?
7. Что такое абсолютная температура?
8. Что такое давление?

## § 1.2. Первый и второй закон термодинамики

### § 1.2.1. Первый закон термодинамики

Как известно, в процессах и явлениях природы энергия не исчезает и не возникает, она лишь переходит из одной формы в другую в эквивалентных количествах. Это - *всеобщий закон сохранения и превращения энергии*. Его частным случаем применительно к тепловым явлениям выступает *первый закон термодинамики*. Он характеризует баланс энергии в процессе, т.е. количественную сторону превращения энергии.

Пусть к некоторому рабочему телу (в расчёте на 1 кг) подводится бесконечно малое количество теплоты  $dq$ , вследствие чего прирастает его температура  $dT$  и удельный объём  $dv$ , т.е. возрастает на величину  $du$  внутренняя энергия тела. Но при расширении рабочего тела совершается механическая работа  $dl$  против сил внешнего сопротивления (давления). Так как никаких других изменений в системе не происходит, то по закону сохранения энергии

$$dq = du + dl. \quad (1.1)$$

Это уравнение является математическим выражением Первого закона термодинамики. Рассмотрим некоторые частные случаи.

**Первый случай.** Процесс в отсутствие теплообмена (адиабатный),  $dq = 0$ . Формально из уравнения (1.1) имеем  $dl = - du$ , т.е. работа расширения в адиабатном процессе может совершаться только за счёт уменьшения внутренней энергии; и наоборот, адиабатное сжатие рабочего тела извне приводит к возрастанию внутренней энергии, т.е. к его разогреву, как видно из рис. 1.1.

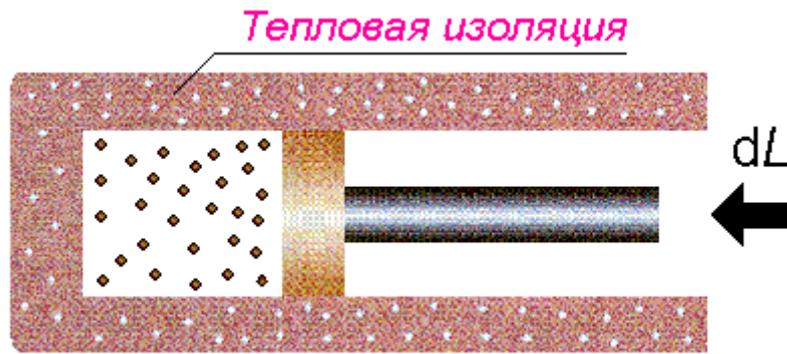


Рис. 1.1 -Разогрев системы в адиабатном процессе

**Второй случай.** Процесс при постоянном объёме рабочего тела (изохорный),  $dV = 0$ . Для него (рис. 1.2) имеем  $dQ = dU$ , т.е. подведённая извне теплота целиком расходуется на повышение внутренней энергии данной системы.

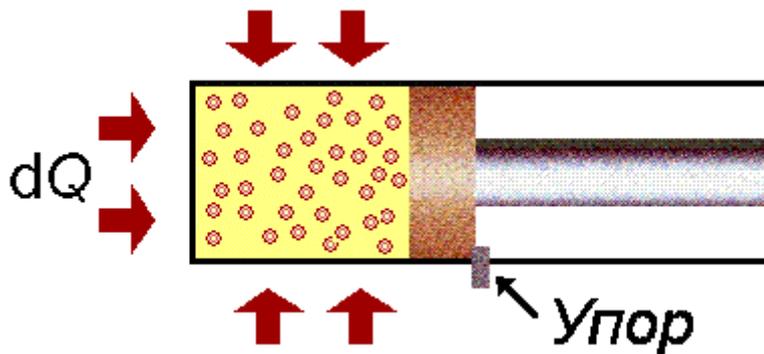


Рис. 1.2. Разогрев системы в изохорном процессе

**Третий случай.** Процесс при постоянном значении внутренней энергии,  $dU = 0$ . В этом случае  $dQ = dL$ , т.е. вся подведённая извне теплота превращается в эквивалентное ей количество механической работы расширения против внешних сил (рис. 1.3).

**Теплоёмкость.** Величина отношения количества теплоты  $dQ$ , полученного телом при бесконечно малом изменении его состояния, к вызванному изменению температуры  $dT$  называется **теплоёмкостью тела** в данном процессе  $C = dQ/dT$ , или на 1 кг рабочего тела

$$C = \frac{dq}{dt}. \quad (1.2)$$

Где  $c$ -удельная теплоёмкость.

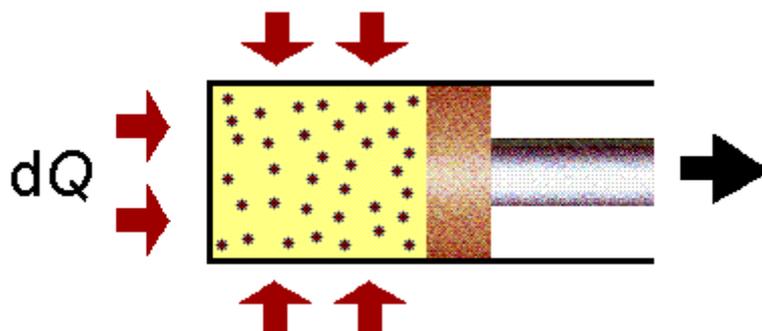


Рис. 1.3 -Работа системы при подводе теплоты

В разных процессах нагрев тела на  $1^\circ\text{C}$  требует разного количества теплоты:

– теплоёмкость в изобарном процессе (при постоянном давлении рабочего тела)  $c_p = (dq/dt)_p = \text{const}$ ;

– теплоёмкость в изохорном процессе (при постоянном объёме рабочего тела)  $c_v = (dq/dt)_v = \text{const}$ ;

Между теплоёмкостями  $c_p$  и  $c_v$  существует вполне определённая связь:

– идеальный газ (формула Майера)  $c_p = c_v + R$ ;

–реальный газ  $c_p - c_v > R$ ;

– жидкость  $c_p \approx c_v$ .

Обычно значения теплоёмкостей определяются экспериментально и задаются таблично.

**Энтальпия  $I$ .** Это ещё одна функция состояния, определяемая как сумма внутренней энергии  $U$  и произведения  $pV$ , Дж, т.е.

$$I = U + pV$$

или удельная энтальпия, Дж/кг, т.е.

$$i = u + pv.$$

Физический смысл энтальпии - это общее количество энергии (теплоты и работы), которое должно быть подведено к телу, чтобы перевести его из начального состояния в заданное. Изменение энтальпии в любом процессе определяется только начальным и конечным состояниями и не зависит от характера процесса.

Энтальпия, внутренняя энергия и теплоёмкость, относятся к калорическим свойствам вещества.

В изобарном процессе, характерном для теплоэнергетики и холодильной техники, подведённая (или отведённая) теплота расходуется только на повышение (понижение) энтальпии,  $q = i_2 - i_1$ . Поэтому для практических расчётов удобны таблицы (или построенные на их основе диаграммы) энтальпии. Малые изменения энтальпии и температуры связаны соотношением

$$di = C_p dt.$$

Реально, конечное приращение энтальпии  $\Delta i$  определяется зависимостью  $t_2$

$$\Delta i = \int c_p dt$$

**Энтропия  $S$ .** Это функция состояния термодинамической системы. Удельная энтропия  $s$  (на 1 кг рабочего тела), кДж/(кг·К) определяется из дифференциального уравнения как отношение бесконечно малого приращения теплоты  $dq$  к абсолютной температуре  $T$ :

$$ds = dq/T \tag{1.3}$$

Сама удельная энтропия находится интегрированием:

$$s = \int \frac{dq}{T} = S_0 S.$$

**Постоянная интегрирования  $S_0 = 0$  при  $T = 0\text{К}$ .**

Энтропия в тепловых явлениях играет такую же роль, как заряд в электрических. В представлении энтропии своеобразным термическим зарядом и состоит её физический смысл.

Состояние термодинамической системы может быть изображено точкой на весьма удобной в расчётах  $T, s$ -диаграмме. Процесс, как и в случае  $p, v$ -диаграммы, определяется траекторией этой точки от начального к конечному состоянию (рис. 2.5).

Размер элементарной площадки под кривой процесса, в соответствии с определением (1.3), есть элементарная теплота

$$dq = Tds.$$

Тогда вся площадь под кривой  $T$  оказывается равной  $q$ :

$$q = \int Tds, \quad (1.4)$$

т.е. теплота процесса выражается через энтропию.

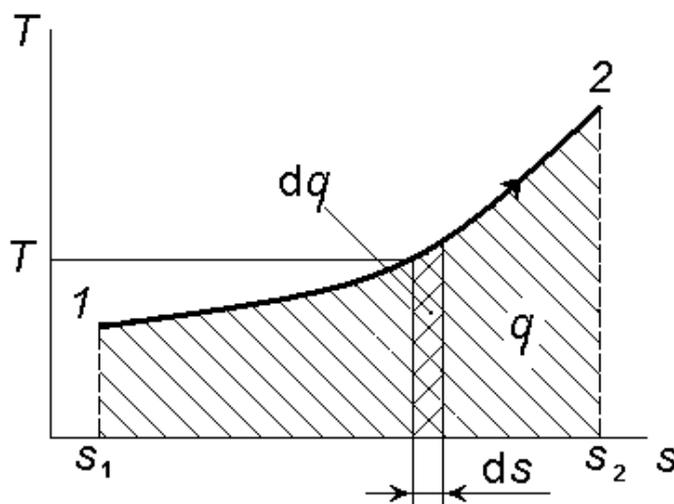


Рис.1. 4 -Изменение состояний системы на  $T, s$ -диаграмме

Аналогия структур выражений (1.3) и (1.4) показывает, что изменение энтропии также характеризует теплоту процесса, как изменение объёма – работу расширения.

Поскольку всегда  $T > 0$ , то из определения (1.3) следует, что приращения энтропии и теплоты имеют одинаковый знак, т.е. по характеру изменения энтропии можно судить о направленности теплообмена системы со средой.

## ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

С понятием энтропии связан Второй закон термодинамики о неравнозначности процессов взаимного превращения теплоты и работы: механическая энергия может быть полностью превращена в теплоту, а в обратном процессе часть теплоты рассеивается в окружающую среду и в механическую энергию не переходит. Это важно для организации циклически повторяющихся прямых и обратных процессов, характерных для техники.

Существует много формулировок второго закона термодинамики, простейшая из которых - ***самопроизвольный перенос теплоты возможен только от более нагретого тела к менее нагретому.***

Таким образом, Второй закон термодинамики устанавливает качественную сторону явлений - направленность самопроизвольных процессов природы. Количественную сторону явления самопроизвольного переноса теплоты характеризует теплопередача.

Соотношение (1.3) справедливо для идеальных обратимых процессов, которые можно вернуть в исходное состояние по тому же пути. Для реальных необратимых процессов, состояние которых нельзя восстановить без потерь, следует принять

$$ds \geq dq/T. \quad (1.5)$$

Тогда даже в адиабатическом процессе ( $dq = 0$ ) имеем

$$ds \geq 0. \quad (1.6)$$

Выражение (1.5) и представляет собой наиболее общую математическую формулировку Второго закона термодинамики: ***если в системе осуществляется самопроизвольный необратимый процесс, то энтропия системы возрастает.***

Физический смысл энтропии в свете Второго закона термодинамики заключается ещё и в том, что она (энтропия) является мерой рассеивания теплового заряда (энергии) в окружающее пространство.

В реальных системах, в частности в холодильной технике, возникает необходимость отвода теплоты во внешнюю среду от тел, имеющих по

сравнению с ней более низкую температуру. Для таких систем Второй Закон указывает условие достижимости цели – *невозможно отводить теплоту от менее нагретых тел к более нагретым без внешнего воздействия*. Схематично выполнение этого условия изображено на рис. 5.

Внешнее воздействие здесь осуществлено посредством применения промежуточного устройства (холодильной машины). Рабочее тело холодильной машины (хладагент) контактирует с охлаждаемым телом при  $T_{\text{ха}} < T_1$  и отбирает у него теплоту  $Q$ . Далее с помощью затраты механической энергии  $L$  потенциал хладагента поднимается до уровня, достаточного для передачи теплоты во внешнюю среду,  $T_{\text{ха}} > T_2$ . Таким образом, на промежуточных этапах организуются самопроизвольные процессы передачи теплоты, т.е. Второй закон термодинамики всегда строго выполняется.

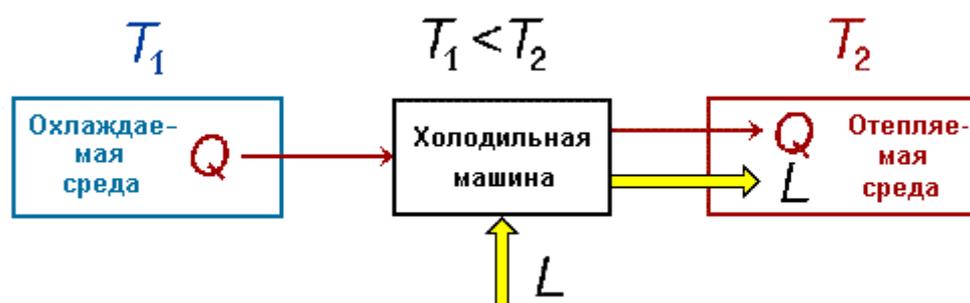


Рис.1. 5. Схема отвода теплоты от более холодной среды

Следует отметить, что для целей холодильной техники интересен не однократный акт сброса теплоты во внешнюю среду, а непрерывно продолжающийся процесс. Для этого надо суметь возвращать рабочее тело в исходное состояние. Последнее можно осуществить в цепочке взаимосвязанных циклически повторяющихся единичных процессов разной природы. Совокупность целенаправленно организованных превращений (изменений состояния) холодильного агента носит название *холодильного цикла*. Поднимая теплоту с нижнего уровня температуры на более высокий,

холодильная машина выполняет роль теплового насоса, т.е. действует подобно гидравлическому насосу, подающему воду на более высокие геодезические отметки.

Общепринятый термин «**тепловой насос**» относится к устройствам, также реализующим схему, изображённую на рисунке 1.5, но в качестве охлаждаемой среды здесь выступает атмосферный воздух, а отепляемой – жилое помещение. Бытовой кондиционер - ещё один пример теплового насоса с возможностью обращать направление теплового потока.

Отношение полезной (отобранной) тепловой энергии  $Q_k$  затраченной механической энергии  $L$  называют *холодильным коэффициентом цикла*  $\xi$ , который характеризует совершенство цикла.

$$\xi = Q/L.$$

Термин «получение холода» означает уменьшение содержания теплоты в том или ином теле, уже имеющем температуру ниже температуры окружающей среды.

В соответствии со Вторым законом термодинамики процесс получения холода требует участия в нём постороннего источника энергии.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что знаете о Всеобщий законе сохранения?
2. Расскажите математическим выражение Первого закона термодинамики.
3. Что такое теплоёмкость?
4. Что такое энтальпия?
5. Что такое энтропия?
6. Что знаете о Втором законе термодинамики?

### **§ 1.3. Цикл и теорема Карно**

*Совершенство – это завершенность,  
а завершенность – это смерть  
С. Паркинсон*

### **Теорема Карно:**

КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, зависит только от температур нагревателя и холодильника, но не зависит ни от устройства машины, ни от вида или свойств её рабочего тела. Этот результат составляет содержание *первой теоремы Карно*. Кроме того, из него следует, что КПД может составлять 100 % только в том случае, если температура холодильника равна абсолютному нулю. Это невозможно, но не из-за недостижимости абсолютного нуля (этот вопрос решается только третьим началом термодинамики, учитывать которое здесь нет необходимости), а из-за того, что такой цикл или нельзя замкнуть, или он вырождается в совокупность двух совпадающих адиабат и изотерм.

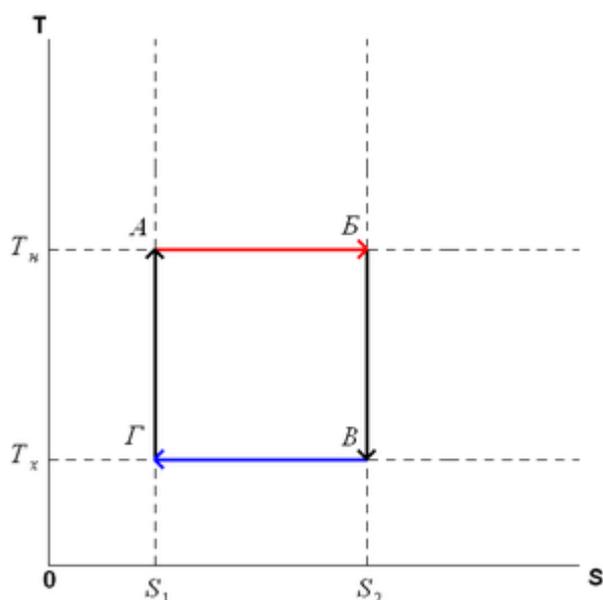
Поэтому максимальный КПД любой тепловой машины не может превосходить КПД тепловой машины Карно, работающей при тех же температурах нагревателя и холодильника. Это утверждение называется второй теоремой Карно. Оно даёт верхний предел КПД любой тепловой машины и позволяет оценить отклонение реального КПД от максимального, то есть потери энергии вследствие неидеальности тепловых процессов.

### **Цикл Карно:**

В термодинамике цикл Карно́ или процесс Карно — это обратимый круговой процесс, состоящий из двух адиабатических и двух изотермических процессов. В процессе Карно термодинамическая система выполняет механическую работу и обменивается теплотой с двумя тепловыми резервуарами, имеющими постоянные, но различающиеся температуры. Резервуар с более высокой температурой называется нагревателем, а с более низкой температурой — холодильником.

Поскольку обратимые процессы могут осуществляться лишь с бесконечно малой скоростью, мощность тепловой машины в цикле Карно равна нулю. Мощность реальных тепловых машин не может быть равна нулю, поэтому реальные процессы могут приближаться к идеальному обратимому процессу Карно только с большей или меньшей степенью точности. В цикле Карно тепловая машина преобразует теплоту в работу с максимально возможным коэффициентом полезного действия из всех тепловых машин, у которых максимальная и минимальная температуры в рабочем цикле совпадают соответственно с температурами нагревателя и холодильника в цикле Карно

Цикл Карно состоит из четырёх обратимых стадий, две из которых осуществляются при постоянной температуре (изотермически), а две — при постоянной энтропии (адиабатически). Поэтому цикл Карно удобно представить в координатах  $T$  (температура) и  $S$  (энтропия).



1.6. *Изотермическое расширение* (на рис1.6 — процесс  $A \rightarrow B$ ). В начале процесса рабочее тело имеет температуру  $T_H$ , то есть температуру нагревателя. Затем тело приводится в контакт с нагревателем, который изотермически (при постоянной температуре) передаёт ему количество теплоты  $Q_H$ . При этом объём рабочего тела увеличивается, оно совершает механическую работу, а его энтропия возрастает.

2. *Адиабатическое расширение* (на рис. 1.6 — процесс Б→В). Рабочее тело отсоединяется от нагревателя и продолжает расширяться без теплообмена с окружающей средой. При этом температура тела уменьшается до температуры холодильника  $T_X$ , тело совершает механическую работу, а энтропия остаётся постоянной.

3. *Изотермическое сжатие* (на рис. 1.6 — процесс В→Г). Рабочее тело, имеющее температуру  $T_X$ , приводится в контакт с холодильником и начинает изотермически сжиматься под действием внешней силы, отдавая холодильнику количество теплоты  $Q_X$ . Над телом совершается работа, его энтропия уменьшается.

4. *Адиабатическое сжатие* (на рис. 1.6 — процесс Г→А). Рабочее тело отсоединяется от холодильника и сжимается под действием внешней силы без теплообмена с окружающей средой. При этом его температура увеличивается до температуры нагревателя, над телом совершается работа, его энтропия остаётся постоянной.

КПД тепловой машины Карно

Количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя при изотермическом расширении, равно

Отсюда коэффициент полезного действия тепловой машины Карно равен

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = \frac{T_H - T_X}{T_H} \quad 1.7$$

Ни один тепловой двигатель, работающий по замкнутому циклу при двух заданных температурах, не может быть эффективнее идеального двигателя Карно.

Идеальных машин в реальной жизни не существует, это всего лишь мысленный конструкт. Каждая из таких гипотетических машин, среди которых двигатель Карно занимает немаловажное место, иллюстрирует какое-

нибудь важное теоретическое заключение. (Даже воздушный замок под названием вечный двигатель служит, по сути, лишь для того, чтобы показать: нельзя получать энергию из ничего.) Двигатель Карно, лежащий в основе работы идеального теплового двигателя, был придуман французским инженером Сади Карно за двадцать лет до того, как были сформулированы основы термодинамики, однако он иллюстрирует важное следствие из второго начала термодинамики.

Рабочую часть двигателя Карно можно представить себе в виде поршня в заполненном газом цилиндре. Поскольку двигатель Карно — машина чисто теоретическая, то есть идеальная, силы трения между поршнем и цилиндром и тепловые потери считаются равными нулю. Поршень может свободно перемещаться между двумя тепловыми резервуарами — с высокой температурой и с низкой температурой. (Для удобства представим, что горячий тепловой резервуар нагревается посредством сжигания смеси бензина с воздухом, а холодный — остужается водой или воздухом комнатной температуры.) В этой тепловой машине происходит следующий идеальный четырехфазный цикл:

1. Сначала цилиндр вступает в контакт с горячим резервуаром, и идеальный газ расширяется при постоянной температуре. На этой фазе газ получает от горячего резервуара некоторое количество тепла.
2. Затем цилиндр окружается идеальной теплоизоляцией, за счет чего количество тепла, имеющееся у газа, сохраняется, и газ продолжает расширяться, пока его температура не упадет до температуры холодного теплового резервуара.
3. На третьей фазе теплоизоляция снимается, и газ в цилиндре, будучи в контакте с холодным резервуаром, сжимается, отдавая при этом часть тепла холодному резервуару.

4. Когда сжатие достигает определенной точки, цилиндр снова окружается теплоизоляцией, и газ сжимается за счет поднятия поршня до тех пор, пока его температура не сравняется с температурой горячего резервуара. После этого теплоизоляция удаляется и цикл повторяется вновь с первой фазы.

Двигатель Карно имеет много общего с реальными двигателями: он работает по замкнутому циклу (который называется, соответственно, циклом Карно); он получает энергию извне благодаря высокотемпературному процессу (например, при сжигании топлива); часть энергии рассеивается в окружающую среду. При этом производится определенная работа (в случае двигателя Карно — за счет поступательного движения поршня). КПД, или эффективность двигателя Карно определяется как отношение работы, которую он производит, к энергии (в форме тепла), отнятой у горячего резервуара. Нетрудно доказать, что эффективность ( $E$ ) выражается формулой:

$$E = 1 - (T_c/T_h),$$

где  $T_c$  и  $T_h$  — соответственно температура холодного и горячего резервуаров (в кельвинах). Очевидно, что эффективность двигателя Карно меньше 1 (или 100%).

Великое прозрение Карно состоит в том, что он показал, что ни один тепловой двигатель, работающий при двух заданных температурах, не может быть эффективнее идеального двигателя Карно (это утверждение называют теоремой Карно). В противном случае мы столкнулись бы с нарушением второго начала термодинамики, поскольку такой двигатель отбирал бы тепло от менее нагретого резервуара и передавал бы его более нагретому. (На самом деле, второе начало термодинамики является следствием теоремы Карно.) Таким образом, полученное Карно соотношение устанавливает предел эффективности реальных двигателей, работающих в реальном мире. К нему можно приблизиться, но достичь и, тем более превзойти его инженеры не смогут. Так что, чисто гипотетический двигатель Карно играет немаловажную

роль в мире реальной, шумной и пахнувшей разогретым машинным маслом техники, и это еще один пример прикладного значения чисто теоретических, на первый взгляд, изысканий.

Из последнего выражения следует, что КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, зависит только от температур нагревателя и холодильника, но не зависит ни от устройства машины, ни от вида или свойств её рабочего тела. Этот результат составляет содержание первой теоремы Карно. Кроме того, из него следует, что КПД может составлять 100 % только в том случае, если температура холодильника равна абсолютному нулю. Это невозможно, но не из-за недостижимости абсолютного нуля (этот вопрос решается только третьим началом термодинамики, учитывать которое здесь нет необходимости), а из-за того, что такой цикл или нельзя замкнуть, или он вырождается в совокупность двух совпадающих адиабат и изотерм.

Поэтому максимальный КПД любой тепловой машины не может превосходить КПД тепловой машины Карно, работающей при тех же температурах нагревателя и холодильника. Это утверждение называется второй теоремой Карно. Оно даёт верхний предел КПД любой тепловой машины и позволяет оценить отклонение реального КПД от максимального, то есть потери энергии вследствие не идеальности тепловых процессов.

Для того чтобы цикл был обратимым, в нём должна быть исключена передача теплоты при наличии разности температур, иначе нарушается условие адиабатичности процесса. Поэтому передача теплоты должна осуществляться либо в изотермическом процессе (как в цикле Карно), либо в эквидистантном процессе (обобщённый цикл Карно или, для примера, его частный случай Цикл Брайтона). Для того чтобы менять температуру рабочего тела от температуры нагревателя до температуры холодильника и обратно, необходимо использовать либо адиабатические процессы (они идут без теплообмена и, значит, не влияют на энтропию), либо циклы с регенерацией

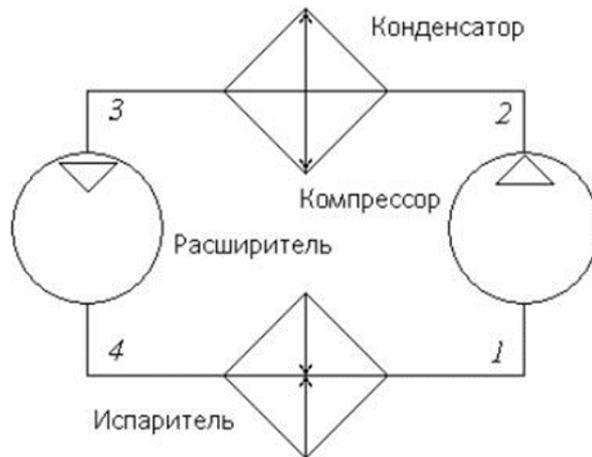
тепла при которых нет передачи тепла при разности температур. Мы приходим к выводу, что любой обратимый цикл может быть сведён к циклу Карно.

Примером обратимого цикла, не являющегося циклом Карно, но интегрально совпадающим с ним, является идеальный цикл Стирлинга: в двигателе Стирлинга добавлен регенератор, обеспечивающий полное приближение цикла к циклу Карно с достижением обратимости и тех же величин КПД. Возможны и другие идеальные циклы, в которых коэффициент полезного действия определяется по той же формуле, что и для циклов Карно и Стирлинга, например цикл Эриксона (англ.) русск., состоящий из двух изобар и двух изотерм.

Если же в цикле возникает передача теплоты при наличии разности температур, а таковыми являются все технические реализации термодинамических циклов, то цикл утрачивает свойство обратимости. Иначе говоря, посредством отведённой в цикле механической работы становится невозможным получить исходную теплоту. КПД такого цикла будет всегда меньше, чем КПД цикла Карно.

Идеальным обратным холодильным циклом является *теоретический цикл Карно*.

В нём принято, что процессы протекают в области влажного пара хладагента при постоянных температурах охлаждаемой и окружающей сред и идеальном теплообмене между ними и хладагентом. Теоретический цикл Карно может быть реализован только идеальной паровой компрессионной холодильной машиной. Принципиальная схема этой машины из четырёх основных элементов (испарителя, компрессора, конденсатора и расширителя) показана на рис. 1.7



*Рис.1.7. Принципиальная схема идеальной паровой одноступенчатой компрессионной холодильной машины*

### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое цикл Карно?
2. Что такой холодильный коэффициент?
3. Что означает адиабатические процессы?
4. Что такой изотермический процесс?
5. Что означает теоретический цикл Карно?

## **§ 1.4. Основы теплопереноса**

### **МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕНОСА ТЕПЛОТЫ**

Известны три механизма переноса теплоты от одного тела к другому.

**Теплопроводность** (термодиффузия). Реализуется на микрофизическом уровне и определяется тепловым движением молекул. Позволяет предсказывать температурные поля и тепловые потоки в неоднородно нагретом теле или в системе тел, находящихся в прямом контакте и имеющих разные температуры. Действует во всех средах: газах, жидкостях и твёрдых телах.

**Конвекция.** Внешним воздействием создаётся упорядоченное (организованное) движение больших масс жидкости или газа вдоль поверхности рассматриваемой термодинамической системы. Эвакуация теплоты, переданной от горячей (холодной) стенки осуществляется макроскопическими объёмами движущейся среды. Конвективный механизм более эффективен по сравнению с теплопроводностью, что позволяет существенно интенсифицировать процесс теплопереноса. Конвекцию (макрофизический уровень теплопереноса) можно использовать только в жидкости или газе.

**Излучение** (тепловая радиация). Это бесконтактный механизм передачи теплоты. Он заключается в преобразовании внутренней энергии тела в энергию электромагнитных колебаний, её переносе через промежуточную среду и обратном преобразовании лучистой энергии в теплоту в другом теле – приёмнике. Перенос теплоты радиацией эффективен лишь в газовой среде (воздух, вакуум).

Согласно второму закону термодинамики самопроизвольный процесс переноса теплоты возникает под действием разности температур и направлен в сторону менее нагретого тела. Отмеченные выше механизмы обычно действуют одновременно и в совокупности определяют интенсивность теплопереноса. Количественная характеристика эффективности процесса теплопереноса – плотность теплового потока  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>, определяет количество теплоты (Дж), прошедшей через единицу поверхности (м<sup>2</sup>) в единицу времени (с). Напомним, что 1 Дж/с = 1 Вт. Количество теплоты  $Q$ , прошедшей за произвольный отрезок времени  $t$  через произвольную поверхность теплообмена  $F$ , есть  $Q = qFt$ , Дж.

Дадим основные определения и расчётные зависимости для отдельных механизмов теплопереноса и их совокупности – сложного теплообмена, чаще называемой **теплопередачей**.

**Теплопроводность.** Основная зависимость теплопроводности (закон Фурье)

Вт/м<sup>2</sup>:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t, \quad (1.8)$$

т.е. вектор плотности теплового потока  $q$  пропорционален градиенту температуры; величина  $\lambda$ , Вт/(м·К), согласующая размерности  $q$  и  $t$ , называется **коэффициентом теплопроводности** вещества. Знак минус показывает, что тепловой поток направлен в сторону уменьшения температуры. Уравнение теплопроводности (1.8) получено как эмпирическое обобщение. Коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , относящийся к числу индивидуальных свойств вещества, нелинейно зависит от температуры и обычно задаётся в табличной форме. Значения  $\lambda$  сильно различаются для газов, жидкостей и твёрдых тел: у воздуха  $\lambda \sim 0,023$ ; у дерева  $\lambda \sim 0,3$ ; у воды  $\lambda \sim 0,6$ ; у льда  $\lambda \sim 2,2$ ; у меди  $\lambda \sim 380$ .

Простейшим и одновременно характерным объектом анализа полей (распределений) температур является плоская стенка толщиной  $\delta$  (рис. 1.8), у которой заданы значения температур на границах  $t_{c1}$  и  $t_{c2}$ , а также коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , который в диапазоне  $[t_1, t_2]$  можно считать постоянным.

В одномерном случае уравнение (1.8) принимает такой вид:

$$q = -\lambda(dt/dx). \quad (1.9)$$

В стационарных условиях, когда энергия не расходуется на нагрев, плотность теплового потока неизменна по толщине стенки,  $q = const$ . При этом предположении интегрирование дифференциального уравнения (1.9) с разделяющимися переменными (в соответствующих пределах) даёт

$$q = (t_{c1} - t_{c2}) (\lambda/\delta). \quad (1.10)$$

$t_{c1}$  и  $t_{c2}$  - температуры на поверхностях стенки 1 и 2;  $\delta$  -толщина стенки;  
 $q$  -удельный тепловой поток через стенку

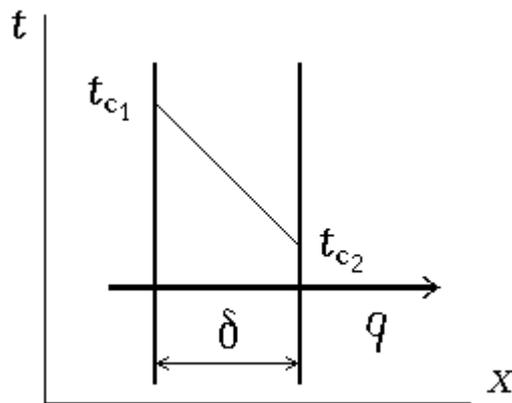


Рис. 1.8. Распределение температуры в плоском теле

Таким образом, тепловой поток через плоскую стенку прямо пропорционален перепаду температур на границах и обратно пропорционален её толщине. По этой формуле можно также определить эмпирическое значение  $\delta$ , если суметь каким-либо образом измерить тепловой поток  $q$  и разность температур на поверхностях пластины.

Величина отношения  $\delta/\lambda$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$  носит название **термического сопротивления** и обозначается  $R_c$ . Тогда (1.10) примет вид

$$q = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{R_c}, \quad (1.11)$$

аналогичный закону Ома в электротехнике, если силе тока поставить в соответствие тепловой поток, а разности потенциалов – температурный напор  $(t_{c1} - t_{c2})$ .

В практических расчётах часто приходится иметь дело с многослойной стенкой (один из слоёв -та или иная тепловая изоляция). Формула (4.5) для неё остаётся в силе, если термическое сопротивление  $R_c$  подсчитывается как сумма термических сопротивлений каждого из слоёв, т.е.

$$R_c = \sum_{i=1}^n (\delta_i/\lambda_i).$$

Наряду с плоской стенкой (ограждение крытого вагона) в хладотранспорте встречаются цилиндрическая (например, у трубопровода или вагона-цистерны), сферическая (форма многих скоропортящихся грузов) и т.д. Соответствующие формулы для расчёта  $q$  в них можно найти в справочниках по теплопереносу.

**Конвективный теплообмен.** Во многих устройствах перемещающиеся газообразные и жидкие среды нагреваются или отдают своё тепло, взаимодействуя с поверхностью твёрдого тела. В хладотранспорте -это воздух холодильной камеры, приводимый в движение вентиляторами-циркуляторами; хладагент в трубах испарителей и конденсаторов; наружные стены вагонов отепляются или охлаждаются потоками воздуха, возникающими при движении состава или вследствие обдувания ветром и т.д. Процесс переноса тепла от поверхности твёрдого тела к движущейся жидкости или газу и наоборот называется **конвективным теплообменом**, т.е. *теплоотдачей*.

Тепловой поток в процессе теплоотдачи пропорционален разности температур стенки  $t_c$  и жидкости (газа)  $t_{ж(г)}$ :

$$q = \alpha(t_c - t_{ж(г)}). \quad (1.12)$$

Выражение (1.12) называется **законом Ньютона-Рихмана**. Коэффициент пропорциональности  $\alpha$  называется **коэффициентом теплоотдачи**; его размерность - Вт/(м<sup>2</sup>·К). Он характеризует интенсивность процесса теплоотдачи.

Коэффициент  $\alpha$  определяют экспериментально, измеряя количество переданной теплоты  $Q = qF\tau$  и разность температур  $(t_c - t_{ж(г)})$  в процессе теплоотдачи за время  $\tau$ от поверхности с известной площадью  $F$ . При выполнении теплотехнических расчётов, например теплопритоков в рефрижераторный вагон через его ограждения, величину  $\alpha$  рассчитывают по специальным эмпирическим зависимостям, учитывающим физические

свойства сред и конкретные условия теплообмена (прежде всего скорость отмывания жидкостью (газом) твёрдой поверхности).

По природе движения жидкости (газа) различают естественную и вынужденную конвекции. Каждая из них обуславливается напором, побуждающим движение.

*Естественная* (свободная) конвекция возникает за счёт теплового расширения жидкости (газа) вблизи нагретой поверхности, например при печном или электрическом обогреве. Интенсивность свободной конвекции возрастает с увеличением разности температур ( $t_c - t_{ж(r)}$ ) и температурного коэффициента объёмного расширения  $\beta_t$  при:

$$\beta_t = -\left(\frac{1}{v} \frac{dv}{dt}\right) p = const,$$

где  $v$ -удельный объём.

Создающаяся при нагревании разность плотностей вызывает подъёмную силу, равную разности выталкивающей (архимедовой) силы и силы тяжести:

$$F = -\beta_t \rho_{ж(r)} g(t_c - t_{ж(r)}),$$

где  $g$  -ускорение свободного падения.

Около холодной стенки разность ( $t_c - t_{ж(r)}$ ) отрицательна, и естественное движение становится опускным. Интенсивность естественной конвекции невелика.

**Вынужденная конвекция** создаётся внешним источником напора (насосом, вентилятором, ветром); значение напора может быть выбрано по соображениям необходимости: обеспечение отвода заданного количества теплоты. Скорость движения жидкости (газа), связанная с напором квадратичной зависимостью, велика в объёме потока и близка к нулю в пристенной области вследствие действия сил вязкости и эффекта прилипания. Область развитого (турбулентного) потока и твёрдая стенка разделены тонким пограничным слоем с ламинарным (низкоскоростным, плавным) режимом

течения жидкости (газа). В ламинарном слое преимущественным механизмом переноса теплоты является теплопроводность. Переход от ламинарного течения к турбулентному происходит при некотором (критическом) значении скорости: безвихревое движение внезапно сменяется хаотическим.

Отмеченные обстоятельства непосредственно влияют на коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции, который зависит и от многих других величин:  $\alpha = f(\lambda, \rho, w, c, p, \nu, l, \dots)$ . На основании теории подобия множество факторов (скорость  $w$ , плотность  $\rho$ , вязкость  $\nu$ , линейный размер  $l$  и др.) удаётся свести в малое число безразмерных комплексов – чисел (критериев) подобия:

$$Nu = f(Re, Pr),$$

где  $Nu$  - число Нуссельта,  $Nu = \alpha l / \lambda$ ;  $Re$  - число Рейнольдса,  $Re = wl / \nu$ ;  $Pr$  - число Прандтля,  $Pr = c \rho \nu / \lambda$ .

В координатах  $Nu$ ,  $Re$ ,  $Pr$  построены компактные номограммы, позволяющие вычислять коэффициент теплоотдачи с учётом реальных условий отмыывания. Критериальный подход реализован и в случае естественной конвекции.

### **Лучистый теплообмен.**

В теплотехнических расчётах хладотранспорта лучистый теплообмен учитывается лишь при анализе теплопритоков через наружные ограждения вагонов. При попадании тепловых лучей на какое-либо тело энергия электромагнитных колебаний им поглощается, снова превращаясь во внутреннюю энергию с соответствующим возрастанием температуры. Процесс распространения света характеризуется длиной волны  $\lambda$  и частотой колебаний  $f$ :

$$f = c / \lambda,$$

где  $c$  - скорость света. Суммарный удельный тепловой поток на всех длинах волн  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>, определяется природой излучающего тела и его температурой. Он носит название **собственного излучения**.

Энергия падающего излучения частично поглощается, отражается или проникает сквозь тело. Относительные доли полного потока энергии носят название **коэффициентов поглощения**  $A$ , отражения  $R$  и пропускания  $D$ . Справедливо соотношение

$$A + R + D = 1.$$

Предельно возможные случаи таковы:

$A = 1$  -абсолютно чёрное тело;

$R = 1$  -абсолютно белое тело;

$D = 1$  -абсолютно прозрачное тело.

Совокупный процесс испускания, поглощения, отражения и пропускания энергии электромагнитных волн называется **лучистым теплообменом**. Его описание базируется на законе Стефана-Больцмана

$$I_0 = \sigma_0 T^4,$$

где  $I_0$  -плотность интегрального излучения абсолютно чёрного тела, Вт/м<sup>2</sup>;  $\sigma_0$  - постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $T$ -абсолютная температура, К.

Реальные (серые) тела излучают меньше:

$$I = \varepsilon I_0,$$

где  $\varepsilon$  -степень черноты,  $\varepsilon = A < 1$ .

В системе двух тел плотность теплового потока взаимного (эффективного) облучения определяется зависимостью

$$q_{1,2} = \varphi_{1,2} \varepsilon_{\text{пр}} c_0 [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4],$$

где  $\varphi_{1,2}$  -коэффициент облучённости (доля излучения первого тела, воспринимаемая вторым телом);  $\varepsilon_{\text{пр}}$  -приведённая степень черноты системы;  $c_0$ -коэффициент излучения абсолютно чёрного тела,  $c_0 = \sigma_0 = 5,67$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>).

$$\varepsilon_{\text{пр}} = f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, F_1, F_2), \quad (1.13)$$

где  $F_1, F_2$ - поверхности излучения тел первого и второго, м<sup>2</sup>.

Нагрев солнцем приводит к повышению температуры поверхности вагона на величину

$$\Delta t_{\text{н}} = I / = (\varepsilon I_0) / \alpha_{\text{н}}.$$

Здесь степень черноты вагона,  $\varepsilon \sim 0,7$ , а коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности вагона к воздуху  $\alpha_{\text{н}} = 2.5$ . Дополнительный нагрев облучённой поверхности неподвижного вагона может достигать  $30 \dots 40^\circ\text{C}$ .

**Теплопередача.** Разделение теплопереноса на теплопроводность, конвекцию и излучение удобно для изучения каждого из этих процессов. В действительности же теплота передаётся двумя или даже тремя способами одновременно.

В большинстве теплотехнических расчётов встречается ситуация передачи теплоты от одной жидкой (газообразной) среды к другой через разделяющую их стенку (рис. 4.8), причём лучистый теплообмен учитывают только в коэффициенте теплоотдачи  $\alpha_1$ . Поскольку у всех составляющих стационарного режима теплопереноса есть общая величина теплового потока  $Q$ , то для разности температур  $t_1$  и  $t_2$  можно записать очевидное соотношение

$$(t_1 - t_2) = Q,$$

$t_1$  и  $t_2$  - температуры первой и второй сред, разделённых плоской стенкой;  $t_{c1}$  и  $t_{c2}$  - температуры на поверхностях стенки 1 и 2;  $\delta$  - толщина стенки;  $q$  - удельный тепловой поток через стенку

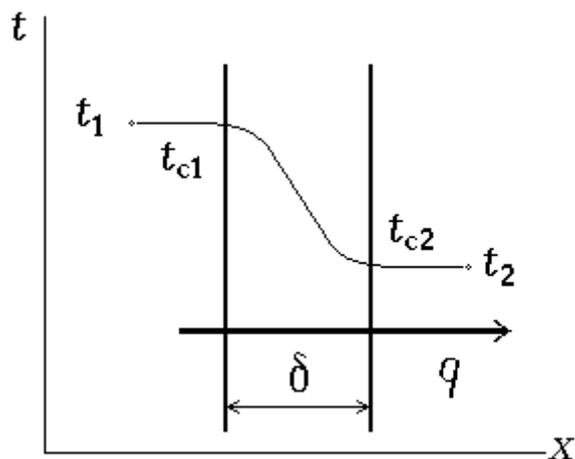


Рис.1.9. Температурное поле при передаче теплоты из одной среды в другую

Записывая это выражение относительно удельной плотности теплового потока, получим

$$q = k(t_1 - t_2),$$

где  $k$  - коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Для случая плоской стенки  $F_1 = F_2$  и тогда

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (1.14)$$

В знаменателе представлены все термические сопротивления на пути теплового потока. Величина  $k$  характеризует интенсивность процесса теплопередачи. Управление этим процессом осуществляют воздействием на все составляющие выражения (1.14.).

Для интенсификации теплопередачи применяют: оребрение (увеличение  $F$ ), искусственную шероховатость поверхностей нагрева и усиление конвекции (увеличивают  $\alpha$ ), используют более теплопроводные материалы (снижают тепловое сопротивление  $R_c$ ) и т.д. Для ослабления теплопритока усиливают тепловую изоляцию разделяющей стенки, влияя на её термическое сопротивление  $\delta/\lambda$ , в том числе путём введения многослойной стенки.

### Контрольные вопросы:

1. Расскажите о механизме переноса теплоты
2. Что такой лучистый теплообмен?
3. Что означает вынужденная конвекция?
4. Что означает естественная(свободная) конвекция?
5. Что такой конвективный теплообмен?
6. Что понимаете по теплопроводностью?
7. Что такое излучение?

8. Что такое Конвекция?
9. Что такое теплопередача?

## §1.5. Получение искусственного холода с помощью охладителей

### ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ОХЛАДИТЕЛЕЙ

Вещества, которые участвуют в процессах создания низкотемпературных условий в непрерывной холодильной цепи доставки скоропортящихся грузов, называют *охладителями*. Охладители могут находиться в одном из трёх равновесных фазовых состояний: твёрдом, жидком или газообразном. Кроме того, существуют так называемые *области насыщения*, в которых охладители могут быть одновременно в двух фазовых состояниях. Это - *область кипения* или влажного пара (равновесие газа и жидкости), *область плавления* (равновесие твёрдого тела и жидкости), *область сублимации* (равновесие твёрдого тела и газа). Вся указанная совокупность состояний может быть отображена на  $p, v$ -диаграмме согласно рис. 1.10.

*Твёрдая фаза* охладителя характеризуется малым удельным объёмом. При изобарном подводе тепла (пунктирная линия на рисунке 1.10) охладитель будет нагреваться при незначительном увеличении удельного объёма. На границе 1, называемой *линией плавления*, твёрдый охладитель начнёт переходить в жидкое состояние. В области плавления температура охладителя не меняется, а сам охладитель находится в состоянии равновесия двух своих фаз: жидкой и твёрдой. На правой границе области (линия 2 на рис. 1.10) процесс плавления заканчивается. Эту границу называют *линией затвердевания*, так как при отводе тепла от жидкости на ней начинается процесс образования твёрдой фазы.

Если продолжать нагревание охладителя при постоянном давлении, то жидкость при увеличении температуры будет расширяться и на **линии кипения** достигнет области, в которой начнётся процесс кипения при постоянной температуре. Здесь охладитель также находится в состоянии равновесия двух фаз: жидкости и пара. На правой границе **области парообразования** кипение заканчивается, охладитель полностью переходит в газообразное состояние. Эту границу называют **линией конденсации**, так как при обратном движении из области перегретого пара (снижении температуры) при  $p = const$ , на ней начинается образование жидкой фазы (конденсация).



Рис. 1.10 -  $p-v$ -диаграмма агрегатных состояний охладителя ( $T=const$ )

1 - линия плавления; 2 - линия затвердевания; 3 - линия кипения; 4 - линия конденсации; 5 - линия десублимации; 6 - тройная линия; 7 - линия сублимации

Если к твёрдому охладителю подводить тепло при очень низких давлениях и температурах, то он достигнет пограничной кривой 7, называемой **линией сублимации**, где не плавится, а испаряется. Процесс непосредственного перехода охладителя из твёрдого состояния в газообразное называют **сублимацией**, а обратный переход - **десублимацией**.

При повышенных давлениях и температурах переход от жидкого к газообразному состоянию происходит без парообразования, т.е. без границ. Линии кипения и конденсации сходятся в так называемой **критической** точке.

Равновесие между жидкой и газовой фазами возможно только при температурах ниже критической.

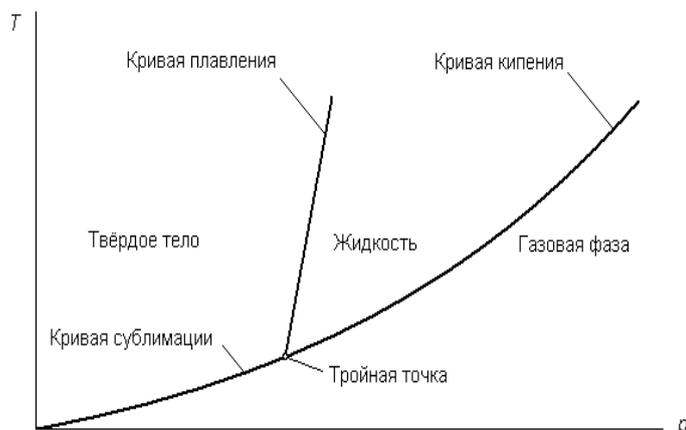


Рис. 1. 11.  $p$ - $T$  диаграмма агрегатных состояний охладителя ( $v$ –const)

Если спроецировать  $p$ ,  $v$ ,  $T$  - пространство состояний на  $p$ ,  $T$ -плоскость, показанную на рис. 1.11, то можно видеть, как твёрдая, жидкая и газообразная фазы охладителя разделяются тремя кривыми – **плавления**, парообразования и **сублимации**. Эти кривые являются проекциями областей плавления, кипения и сублимации. В пределах этих областей при постоянстве давления постоянна и температура. Поэтому, например, линии кипения и конденсации проецируются в виде одной кривой. Если изменить давление, изменится и температура фазового перехода охладителя.

Кривые плавления, кипения и сублимации сходятся в одной точке, называемой **тройной**. Она соответствует единственному состоянию, в котором все три фазы находятся друг с другом в термодинамическом равновесии.

В холодильной технике весьма широко используют фазовые превращения охладителей, так как изменение агрегатного состояния происходит с наибольшим поглощением (выделением) теплоты. Так, при таянии 1 кг водного льда требуется подвести 330 кДж тепловой энергии, в то время как при его нагревании с температуры минус 10°C до 0°C затрачивается

всего лишь  $2,12 \times 1 \times 10 = 21,2$  кДж. Столь высокая тепловая ёмкость фазовых переходов позволяет создавать компактные теплообменные устройства холодильного цикла.

**Охлаждение в воздухе.** Охлаждение в воздухе является универсальным для всех продуктов. Производится в помещениях (камерах), в которых воздух охлаждается батареями или подаётся в охлаждённом виде. Скорость понижения температуры продукта зависит от способа формирования штабеля в камере, типа применяемой тары. Она может регулироваться воздействием на интенсивность циркуляции воздуха внутри штабеля.

Применяют и другие газовые среды: углекислый газ, азот, регулируемые газовые среды с заранее заданным соотношением азота, кислорода и углекислого газа.

**Охлаждение жидкой средой.** Охлаждение жидкой средой (водой со льдом или охлаждённым водосоляным раствором) протекает с большей скоростью. Однако контактный способ охлаждения (погружение или орошение жидкостью продукта) не всегда желателен вследствие ухудшения качества и внешнего вида скоропортящихся грузов, а бесконтактный (воздействие холода через плёнку) чаще всего экономически не оправдан.

Для целей охлаждения используют также *водные растворы гликоляиглицерина*, (обеспечивают охлаждение до минус 40°C и безвредны для металлов). Однако наиболее перспективны здесь *жидкие газы*.

Охлаждение жидкими газами основано на их кипении при очень низких температурах при нормальном атмосферном давлении. В естественных условиях жидкие газы содержат под высоким давлением, при котором температура перехода их из жидкого состояния в газообразное значительно выше наружных температур. Таким способом они сохраняются в жидком виде и не кипят.

Сжиженные газы хранятся в сосудах Дьюара (термосах). Если открыть запорный вентиль, жидкий газ устремляется наружу. В момент выхода из

баллона его давление и температура резко падают, и он кипит. Процесс понижения давления и температуры охладителя называется **дресселированием**. При этом холодопроизводительность каждого килограмма жидкого газа будет

$$q_r = r + c_p(t_1 - t_0),$$

где  $r$  -теплота парообразования жидкого газа, кДж/кг;  $c_p$ -удельная теплоёмкость газа при постоянном давлении, Кдж/(кг·°C);  $t_1$ -температура охлаждаемого объекта °C;  $t_0$ -температура кипения жидкого газа,

$$t_0 = 180...200^\circ\text{C}.$$

При распылении вследствие испарения обеспечивается быстрое охлаждение продуктов до заданных параметров, одновременно происходит нейтрализация действия микроорганизмов.

В качестве жидких газов используют жидкий азот и углекислоту. Их применение перспективно при создании специальных изотермических вагонов и контейнеров.

**Охлаждение твёрдой средой.** Охлаждение твёрдой средой применяют при контактном способе термообработки или через воздух. К традиционным твёрдым средам относится **водный лёд**, имеющий температуру плавления  $0^\circ\text{C}$  при нормальном атмосферном давлении и удельную теплоту плавления 335 кДж/кг. Мелкодроблёным льдом охлаждают рыбу и некоторые виды плодоовощей (25...100% от массы продукта).

При бесконтактном способе охлаждения применяют **льдосоляные смеси**. Температура плавления льдосоляной смеси зависит от содержания в ней соли как показано на рисунке. Но повышать концентрацию соли целесообразно только до известного предела, определяемого **криогидратной точкой**. Координаты криогидратных точек, в которых льдосоляные смеси с использованием  $\text{NaCl}$  и  $\text{CaCl}_2$  плавится при самой низкой температуре, приведены на рис. 1.12.

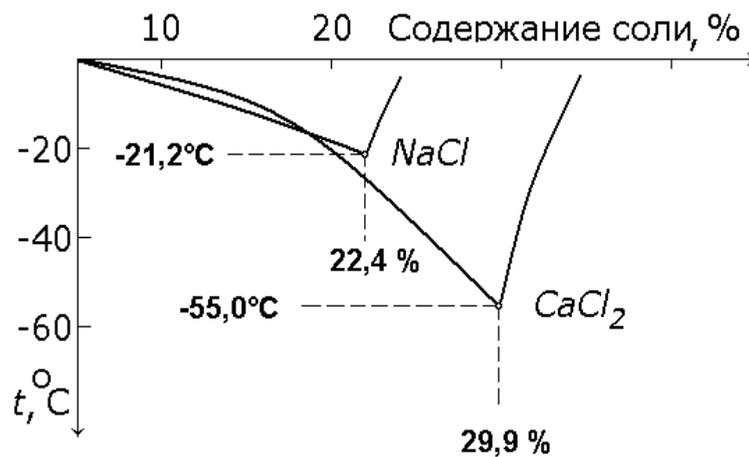


Рис. 1.12. Зависимость температуры плавления льдосоляной смеси от концентрации соли

Помимо смеси дроблёного водного льда и соли применяют замороженные водные растворы солей – *эвтектические смеси*. Наиболее эффективная эвтектическая смесь имеет концентрацию соли, соответствующую криогидратной точке. Льдосоляное охлаждение, при всей простоте, дешевизне и надёжности, имеет серьёзные недостатки: громоздкость, невозможность поддержания достаточно низких температур, частая экипировка транспортных модулей льдом и солью. Поэтому данный способ охлаждения грузов на транспорте более не применяют.

*Охлаждение сухим льдом* основано на сублимации твёрдой углекислоты ( $CO_2$ ) при  $t = -78,9^{\circ}C$  с затратой внешней теплоты 575 кДж/кг (при нагреве паров до  $0^{\circ}C$  холодопроизводительность выше: 636 кДж/кг). Сухой лёд используют при хранении и перевозках мороженого. Для охлаждения изотермических транспортных модулей он дорог и дефицитен, что сдерживает широкое применение способа на железнодорожном транспорте.

Из других видов твёрдых охладителей можно выделить:

– *антисептический лёд*, состоящий из водного льда с антисептическими добавками, которым пересыпают рыбу при охлаждении, хранении и перевозках;

– *естественный* или *искусственный снег*, применяемый при перевозках свежей зелени;

– *испарители холодильных машин* при непосредственном контакте с продуктом (морозильные камеры бытовых и промышленных холодильников) или через воздух.

### **Контрольные вопросы.**

1. Что называют охладителями.
2. Что такое твёрдая фаза.
3. Перечислите области применения искусственного холода.
4. На чем основано применение холода в пищевой промышленности?
5. Объясните, почему адиабатическое расширение газов более выгодно с точки зрения энергосбережения, чем дросселирование?

## **§1.6. Термодинамические основы холодильных машин**

### **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.1.13)

**Холодильный 1-2-3-4**, в котором теплота переносится от охлаждаемого тела с температурой  $T_H$  к окружающей среде с температурой  $T_{oc}$ ;

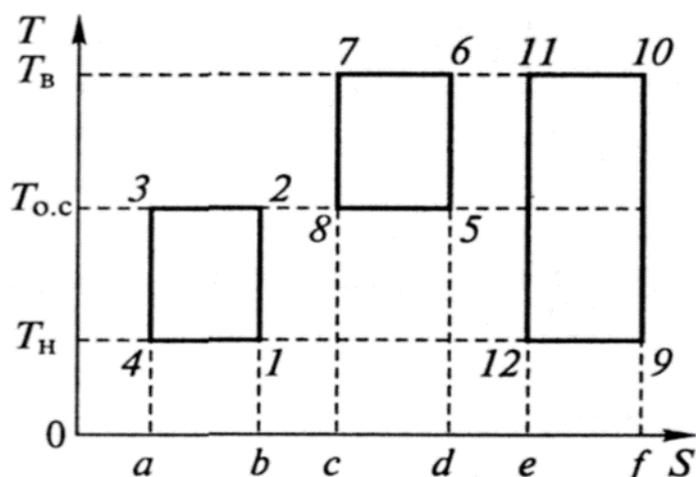
**Теплового насоса 5-6-7-8**, в котором теплота переносится от окружающей среды к телу с более высокой температурой  $T_B$ ;

**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  $\Delta q$ , сообщенной телу (или отнятой у него) в процессе изменения его агрегатного состояния, к абсолютной температуре  $T$ , при которой происходит это приращение теплоты, т.е.:

$$S = \Delta q / T \text{ (Дж/К)}. \quad (1.15)$$

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



### **Обратные циклы Карно**

Как видно из рис.б 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 тепло обмена. Точно так же обмен работой между холодильным агентом и окружающей средой должен происходить при бесконечно малой разности давлений.

### **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 (без насосные и насосные) и с промежуточным хладоносителем. В без насосной системы непосредственного охлаждения, рабочее тело (холодильный агент) поступает в охлаждающие приборы от регулирующего вентиля с отбором паровозных компрессоров. 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.

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего служит холодильный агент.
2. Назовите виды обратного цикла.
3. Что называется энтропией.
4. Что такое удельная массовая холодопроизводительность.
5. Что такой холодильный коэффициент.
6. Для чего нужна холодильная машина?
7. Напишите коэффициент преобразования теплоты.
8. Расскажите о системе охлаждения холодильной машиной.
9. Что такое холодильный коэффициент обратного цикла?

10. Перечислите основные требования, предъявляемые к термодинамическим свойствам холодильных агентов.

## **РАЗДЕЛ II**

### **§2. ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА.**

#### **§2.1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.**

#### **ОСНОВЫ ТЕОРИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН**

Конструирование и оптимизация техники, реализующей технологии охлаждения основаны на теории термодинамики и теплоотдачи.

Холодильную технику часто называют *тепловыми насосами*, перекачивающими тепло. Принцип работы любой холодильной машины (на каком бы физическом явлении он не был основан) заключается в переносе тепла от одного объекта к другому. Например, в случае охлаждения продуктов: тепло отнимается от продукта и передается в окружающую среду (воздух), в случае охлаждения воздуха тепло отнимается от «внутреннего» воздуха помещения и передается «внешнему» воздуху, за пределами здания. Перенос тепла из одной точки в другую (а так же преобразование теплоты в работу и, наоборот) в тепловых машинах (холодильники, двигатели внутреннего сгорания, дизели и т.д.) осуществляется носителем тепла (рабочим теплом).

В зависимости от принципа работы, реализуемого в холодильных машинах, и теплоносителя холодильные машины бывают различными. У холодильных машин *компрессионного* типа теплоносителями являются хладагенты - газы, жидкости которых кипят при отрицательных температурах. Техника *абсорбционного* типа так же использует в качестве теплоносителей хладагент - газ аммиак легко растворимый в воде. В технике *термоэлектрического* типа в качестве теплоносителя выступает электрический ток (направленное движение заряженных частиц).

Эффективность работы холодильных машин основана на *втором законе термодинамики*, согласно которому для осуществления кругового процесса, обеспечивающего отнятие тепла от холодной (охлаждаемой) среды и передача его более теплой среде, требует совершение механической работы или затраты теплоты, которая переходит с высшего температурного уровня на более низкий. В тепловых машинах компрессионного и абсорбционного типов это осуществляется путем периодического изменения состояния рабочего тела (теплоносителя). В результате совершения кругового процесса рабочее тело возвращается в исходное состояние. При этом в ходе процесса оно расширяется и сжимается. Процесс может продолжаться до необходимого уровня теплоты.

Чем большая часть теплоты в прямом цикле (от горячего к холодному) приведена в работу, тем он эффективнее. Экономичность прямого цикла оценивается термическими КПД, который определяется отношением работы, полученной в цикле, к затраченному теплу [1]:

$$\eta = \frac{A}{Q_p} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad (2.1)$$

где  $A$  - совершенная работа;  $Q_p$ , - подведенное (затраченное) тепло;  $Q_2$  - отведенное тепло.

В обратном цикле к рабочему телу подводится теплота от источника с более низкой температурой ( $Q_2$ ), а отводится с более высокой ( $Q_1$ ). Для совершения цикла затрачивается работа ( $A$ ). Для холодильных машин введено понятие холодильного КПД, определяемого отношением отводимой в обратном цикле теплоты ( $Q_2$ ) к затраченной работе ( $A$ ) [1]:

$$\eta = \frac{Q_2}{A}$$

**Холодильная машина** - это устройство, служащее для отвода теплоты от охлаждаемого тела при температуре более низкой, чем температура окружающей среды. Холодильная машина используются для получения температур от  $-10$  °С до  $-150$  °С. Область более низких температур относится к криогенной технике. Холодильные машины работают по принципу теплового насоса - отнимают теплоту от охлаждаемого тела и с затратой энергии (механической, тепловой и т.д.) передают её охлаждающей среде (обычно воде или окружающему воздуху), имеющей более высокую температуру, чем охлаждаемое тело. Работа холодильной машины характеризуется их холодопроизводительностью, которая для современных машин лежит в пределах от нескольких сотен Вт до нескольких МВт.

В холодильной технике находят применение несколько систем холодильных машин - парокомпрессионные, абсорбционные, пароэжекторные, воздушно-расширительные, работа которых основана на том, что рабочее тело (холодильный агент) за счёт затраты внешней работы совершает обратный круговой термодинамический процесс (холодильный

цикл), а также термоэлектрические, в которых роль рабочего тела играет электрический ток. В парокомпрессионных, абсорбционных и парожеторных холодильных машинах для получения эффекта охлаждения используют кипение низкокипящих жидкостей, В воздушно-расширительных холодильных машинах охлаждение достигается за счёт расширения сжатого воздуха в детандере.

Первые холодильная машина появились в середине 19 века. Одна из старейших холодильных машин - абсорбционная. Её изобретение и конструктивное оформление связано с именами Дж. Лесли (Великобритания, 1810), Ф. Карре (Франция, 1850) и Ф. Виндхаузена (Германия, 1878). Первая парокомпрессионная машина, работавшая на эфире, построена Дж. Перкинсом (Великобритания, 1834). Позднее были созданы аналогичные машины с использованием в качестве хладагента метилового эфира и сернистого ангидрида. В 1874 К. Линде (Германия) построил аммиачную парокомпрессионную холодильную машину, которая положила начало холодильному машиностроению. Схема и принцип работы компрессионной холодильной машины

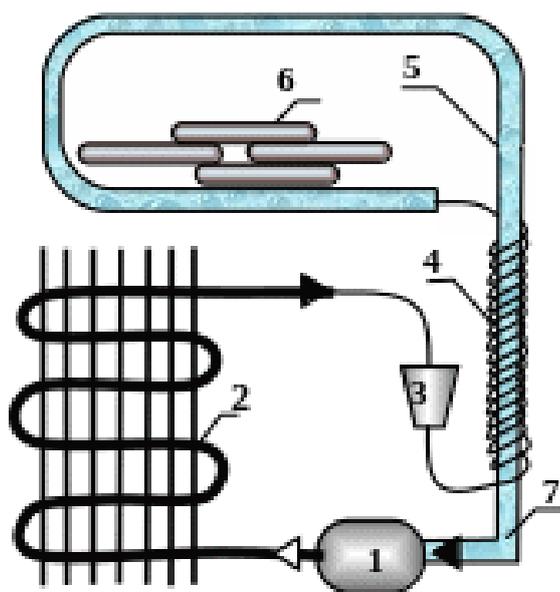


Рис. 2.1. Схема типового компрессионного холодильного агрегата:

*1 - компрессор (осуществляет сжатие хладагента); 2- конденсатор (теплообменный аппарат, в котором происходит конденсация хладагента); 3 - фильтр осушитель; 4- капиллярная трубка (является дросселирующим элементом холодильного аппарата); 5 - испаритель (теплообменный аппарат, в котором происходит испарение хладагента); 6 - охлаждаемые продукты или среды; 7 - всасывающая трубка.*

Парокомпрессионные холодильные машины являются наиболее распространёнными и универсальными устройствами. Если рассматривать холодильную технику, задействованную в сфере сервиса, то парокомпрессионная холодильная машина является главной частью любой установки и называется **компрессионным холодильным агрегатом**.

Холодильный агрегат компрессионного типа предназначен для осуществления главного процесса - охлаждения продуктов, жидкостей или воздуха, т.е. отбора их тепла и передачи его в окружающую среду. Иначе говоря, он предназначен для производства холода.

Компрессионный холодильный агрегат - это замкнутая герметичная система, внутри которой принудительно циркулирует хладагент, рабочее тело холодильной машины.

В качестве хладагента в современных холодильных установках используют газы, не разрушающие озоновый слой, и являющиеся различными производными углеводородов, как правило, это фреоны. **Фреоны** - в нормальных условиях газы, жидкости, которых кипят при температурах: -29.... -50 °С. Основное назначение хладагента - перенос тепла продуктов во внешнюю среду. При работе агрегата компрессионного типа, вследствие совершения механической работы сжатия, происходит изменение агрегатного состояния хладагента из газа в жидкость, которая, испаряясь, отнимает теплоту продуктов, жидкостей или воздуха, а затем, на этапе конденсации (превращения газа в жидкость), отдает его в окружающую среду.

Поясним, принцип работы холодильного агрегата на примере холодильника для охлаждения продуктов. При включении холодильного агрегата начинает работать мотор-компрессор *1*, который представляет собой поршневой насос, приводимый в движение электромотором. Хладагент сжимается поршнем компрессора до давления 8-10 атм. около 50 раз в секунду. Вследствие сжатия, температура хладагента повышается до уровня на 15-20 °С выше, чем температура окружающей среды. Из-за малой продолжительности сжатия хладагента, он не успевает отдать это тепло в окружающую среду, т.е. реализуется *адиабатное сжатие* (процесс, происходящий без изменения внутренней энергии, теплообмена). Затем сжатый до давления 8-10 атм. и «горячий» (на 15-20 °С выше температуры окружающей среды) хладагент попадает в *конденсатор 2* -теплообменный аппарат, выполненный в виде трубчатого оребренного змеевика (рёбра необходимы для увеличения площади теплообмена, т.е. повышения его эффективности при минимальных размерах). В теплообменном аппарате происходит охлаждение горячего хладагента, окружающим змеевик воздухом. Из-за чего и происходит конденсация, т.е. превращение хладагента в жидкость (давление в конденсаторе 8-10 атм. на входе и несколько ниже на выходе из него входе, температура на входе на 15-20 °С выше температуры окружающей среды, а на выходе близка к ней).

Из конденсатора жидкий хладагент, с температурой окружающей среды, попадает в *фильтр-осушитель 3*.

В *фильтре-осушителе*, заполненном металлическими сетками с гранулами силикагеля, происходит задержание механических примесей и воды, содержащихся в хладагенте. Механические примеси образуются вследствие работы компрессора, а вода из-за химических реакций между хладагентом, маслом и присадками, необходимыми для предотвращения коррозии элементов агрегата.

Из *фильтра-осушителя* жидкий хладагент попадает в дросселирующий элемент агрегата - *капиллярную трубку 4* (дросселирование - процесс понижения давления жидкости или газа вследствие сужения внутреннего диаметра трубопровода и трения о его внутренние стенки). *Капиллярная трубка* имеет проходной диаметр 0,8 - 1 мм и длину 5 - 6 м, диаметр капиллярной трубки много меньше, чем диаметр *фильтра-осушителя*. В ней происходит падение давления жидкого хладагента с 8-10 атм. до 1 атм. за счет трения жидкости о стенки *капиллярной трубки*. Однако вследствие трения происходит выделение тепла, что приводит к частичному закипанию жидкости (образование пузырьков). Для уменьшения такого нагревания хладагента *капиллярная трубка* «наматывается» на холодную всасывающую трубку.

Затем жидкий закипающий хладагент попадает в *испаритель 5*, представляющий собой листотрубный теплообменный аппарат, внутри которого находятся продукты. Вследствие испарения, а диаметр трубки испарителя 8-10 мм, происходит отбор тепла от продуктов, а температура опускается до температуры, близкой к температуре кипения (у современных холодильников -18-24 °С и даже ниже) при этом давление хладагента остаётся неизменным, т.е. около 1 атм. Эта температура несколько ниже, чем температура кипения из-за частичного закипания хладагента в капиллярной трубке и других потерь.

Холодные пары хладагента по *всасывающей трубке 7* попадают в компрессор, и цикл продолжается пока он работает. Температура на входе всасывающей трубки -18 ....-24 °С, а на выходе +15 .....+20°С.

Таким образом, пока работает компрессор, продукты охлаждаются. Экономия электроэнергии достигается отключением компрессора, что приводит к медленному повышению температуры продуктов. Как только эта температура повышается до установленного терморегулятором предела,

компрессор вновь включается и температура понижается, т.е. автоматически организуется экономичная прерывистая работа компрессора.

***Преимущества:***

- простота конструкции;
- технологичность изготовления и компрессоре;
- экономичность при работе;
- простота эксплуатации;
- долговечность.

***Недостатки:***

- шум при работе, который возрастает при длительной эксплуатации

В зависимости от вида холодильного компрессора пароконденсационные машины подразделяются на поршневые, турбокомпрессорные, ротационные и винтовые. Для повышения экономической эффективности холодильной машины (снижения затрат энергии на единицу отнятого от охлаждаемого тела количества теплоты) иногда перегревают пар всасываемый компрессором, и переохлаждают жидкость перед дросселированием. По этой же причине для получения температур ниже  $-30^{\circ}\text{C}$  используют многоступенчатые или каскадные холодильные машины. В многоступенчатых холодильных машин сжатие пара производится последовательно в несколько ступеней с охлаждением его между отдельными ступенями. При этом в двухступенчатых холодильных машинах получают температуру кипения хладагента до  $-80^{\circ}\text{C}$ . В каскадных холодильных машинах, представляющих собой несколько последовательно включенных холодильных машин, которые работают на различных, наиболее подходящих по своим термодинамическим свойствам для заданных температурных условий хладагентах, получают и более низкую температуру кипения.

**Контрольные вопросы:**

1. Что означает эффективность цикла теплового насоса.

2. Расскажите принцип работы любой холодильной машины
3. Нарисуйте схему и расскажите принцип работы компрессионной холодильной машины
4. Какие занете распространёнными и универсальными холодильные машины, перечислите их.
5. Что понимается под принципом работы холодильного агрегата.
6. Парокомпрессионные машины – в отличаются от других холодильных машин?

## **§2.2. Типы холодильных машин**

### **§2.2.1. 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, пароэжекторные).

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

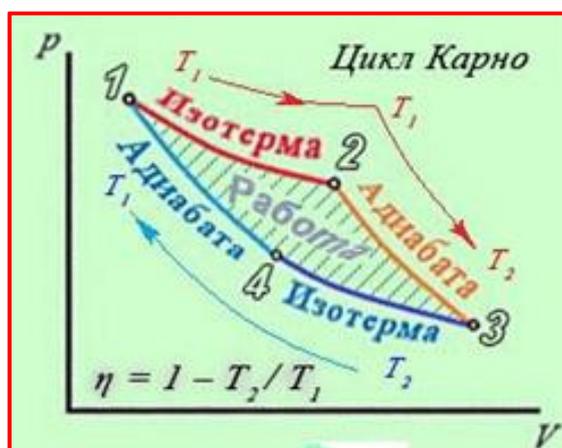
К холодильным машинам можно также отнести воздушные детандеры, использующие процесс расширения воздуха с производством внешней работы, и без машинные термоэлектрические, потребляющие непосредственно электроэнергию на основе эффекта Пельтье. Холодильные машины подразделяют и по другим типам.

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 парокомпрессионными, 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  $-120^{\circ}\text{C}$ ) к парокомпрессионным. Функциональная схема и идеальный цикл воздушной холодильной машины в  $S$ - $T$ -диаграмме изображены на рис. 2.1.

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  $TO$  от температуры  $T_2$  до  $T_3$  (процесс 2-3),



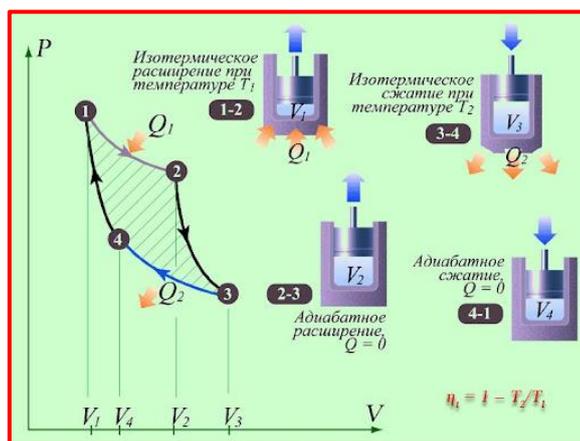


Рис. 2.2. Функциональная схема воздушной холодильной машины и цикл её работы: а -схема машины; б -диаграмма работы машины равной температуре охлаждающей среды  $T_{oc}$ , отдавая поглощенную теплоту внешней среде, например воде. После этого воздух адиабатически расширяется в детандере Д от давления  $P_2$  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

$$T_2 / T_1 = T_3 / T_4 = (P_2 / P_1)^{(n-1)/n}, \quad (2.2)$$

где  $n$  -показатель адиабаты, холодильный коэффициент цикла:

$$\varepsilon = T_1 / (T_2 - T_1) = T_4 / (T_3 - T_4). \quad (2.3)$$

Коэффициент обратимости цикла

$$h = \varepsilon / \varepsilon_{\text{обр}}, \quad (2.4)$$

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.

### §2.2.2. Компрессионная холодильная машина

Компрессионная холодильная машина состоит из четырех основных частей: испарителя, компрессора, конденсатора и терморегулирующего вентиля (ТРВ).

Охлаждение может быть естественным или принудительным, как это показано на рис. 2.3.

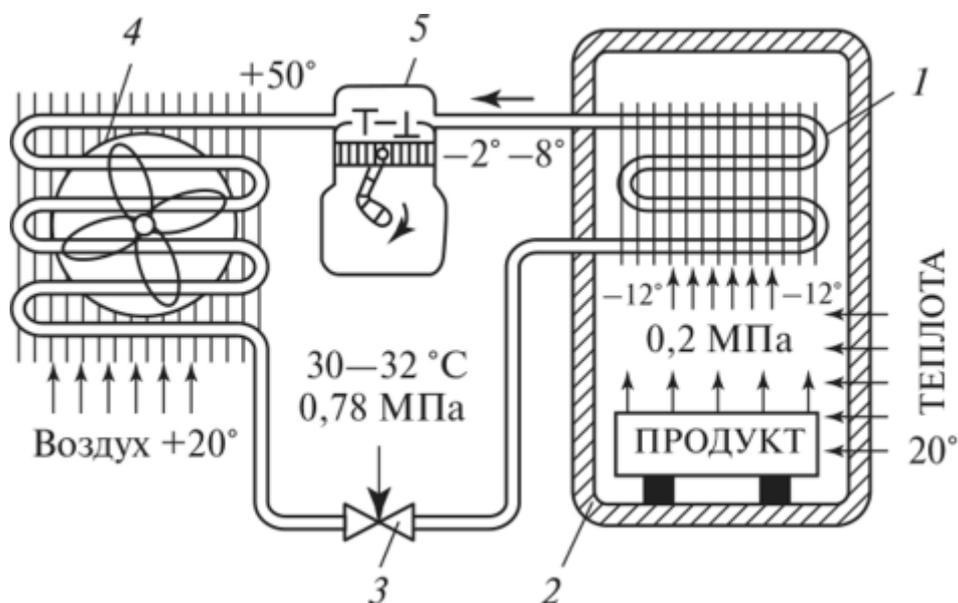


Рис 2.3 Схема компрессионной холодильной машины:

1 -испаритель; 2 -охлаждаемый объем; 3 -регулирующий вентиль;

4 -конденсатор; 5 -компрессор

### СХЕМА УСТРОЙСТВА КОМПРЕССОРНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА

Рабочий цикл в системе повторяется до тех пор, пока не будут достигнуты температурные значения, заданные системными программами, и возобновляется вновь, когда фиксируется их повышение. После охлаждения до нужных параметров терморегулятор останавливает мотор, размыкая электрическую цепь.

Когда температура в камерах начинает повышаться, контакты замыкаются вновь, а электродвигатель компрессора приводится в действие защитно-пусковым реле. Именно поэтому в процессе работы холодильника постоянно то появляется, то опять затихает гул мотора.

Если говорить простыми словами о том, как работает компрессорный холодильник, то процесс выглядит так: компрессор перегоняет хладагент по замкнутому кругу. Фреон, в свою очередь, меняет агрегатное состояние благодаря специальным приспособлениям, собирает тепло внутри и переносит его наружу. Схема устройства компрессорного холодильника

Рабочий цикл в системе повторяется до тех пор, пока не будут достигнуты температурные значения, заданные системными программами, и возобновляется вновь, когда фиксируется их повышение. После охлаждения до нужных параметров терморегулятор останавливает мотор, размыкая электрическую цепь.

Когда температура в камерах начинает повышаться, контакты замыкаются вновь, а электродвигатель компрессора приводится в действие защитно-пусковым реле. Именно поэтому в процессе работы холодильника постоянно то появляется, то опять затихает гул мотора. Компрессор холодильной машины предназначен для осуществления следующих процессов: всасывания паров хладагента из испарителя, адиабатического их сжатия и нагнетания в конденсатор.

Всасывание компрессором паров из испарителя. Испарители (воздухоохладители), расположенные в охлаждаемой среде (камере), при работающей холодильной установке имеют на низшую температуру по сравнению с другими телами, находящимися в камере. В трубках испарителя (воздухоохладителя) находится хладагент, температура кипения которого зависит от давления. Образующиеся пары в испарителе постоянно отводятся компрессором, что обеспечивает постоянное давление и соответственно постоянную температуру кипения хладагента.

Если же тепловая нагрузка на испаритель резко возрастает (при внесении продуктов в камеру), то давление в испарителе возрастает. Соответственно возрастет и температура кипения, а тепловая нагрузка на испаритель снизится из-за уменьшения разности температур между воздухом в холодильной камере и поверхностью испарителя. Возрастание давления в испарителе приведет к увеличению плотности паров и повышению производительности компрессора. Давление и температура кипения хладагента в испарителе начнут понижаться. Если же теплопритоки на испаритель сильно уменьшатся (произошло полное охлаждение продуктов), то и количество пара в испарителе будет очень незначительным, т.е. в испарителе практически не будет паров, а следовательно, компрессору нечего отводить из испарителя и он автоматически выключается.

Итак, работа компрессора по всасыванию паров обеспечивает определенное давление и соответственно температуру кипения хладагента в испарителе. Компрессор, забирая пары из испарителя, фактически выводит тепло из камеры.

Адиабатическое сжатие паров в компрессоре необходимо для повышения их температуры. Температура пара в конце сжатия должна быть обязательно выше температуры охлаждающей среды в конденсаторе для того, чтобы пары затем можно было охладить. При охлаждении пар переходит в жидкость.

**Нагнетание паров.** Если давление (и температура) при сжатии будут ниже, чем температура охлаждающей среды, то такие пары, поступая в конденсатор, охлаждаться не будут. Давление в конденсаторе снижаться не будет. Компрессор, выталкивая из цилиндра очередной объем пара, должен преодолеть большое сопротивление в конденсаторе, а для этого пары необходимо сжимать до такого давления, которое больше давления в конденсаторе. Повышение давления приводит к соответствующему росту

температуры. Давление растет до тех пор, пока температура пара не превысит температуру охлаждающей среды.

### **§2.2.3. 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 масло заполненными 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.

#### **§2.2.4. 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  $-70^{\circ}\text{C}$ ), 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 хлор фтор углеводородов, 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  $70^{\circ}\text{C}$  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.

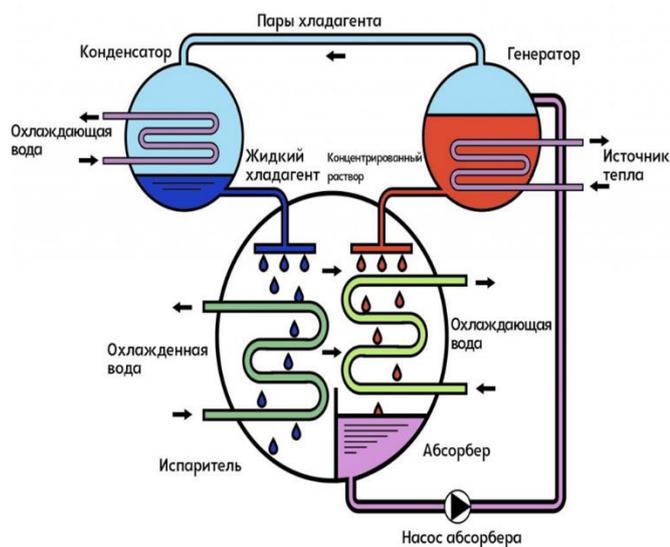


Рис. 2.4. Схемы абсорбционных холодильных машины

В быту абсорбционные холодильники встречаются нечасто, так как они выходят из строя быстрее, чем модели с компрессором, а аммиак ядовит.

**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 °С температуру среды, охлаждающей конденсатор. Рабочими веществами таких машин могут быть ацетон (50%) и пропан-бутановая смесь техническая зимняя (50%), а также водные растворы роданида аммония и др. С помощью СХМ возможно получение холода на уровне -30°С 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°С.

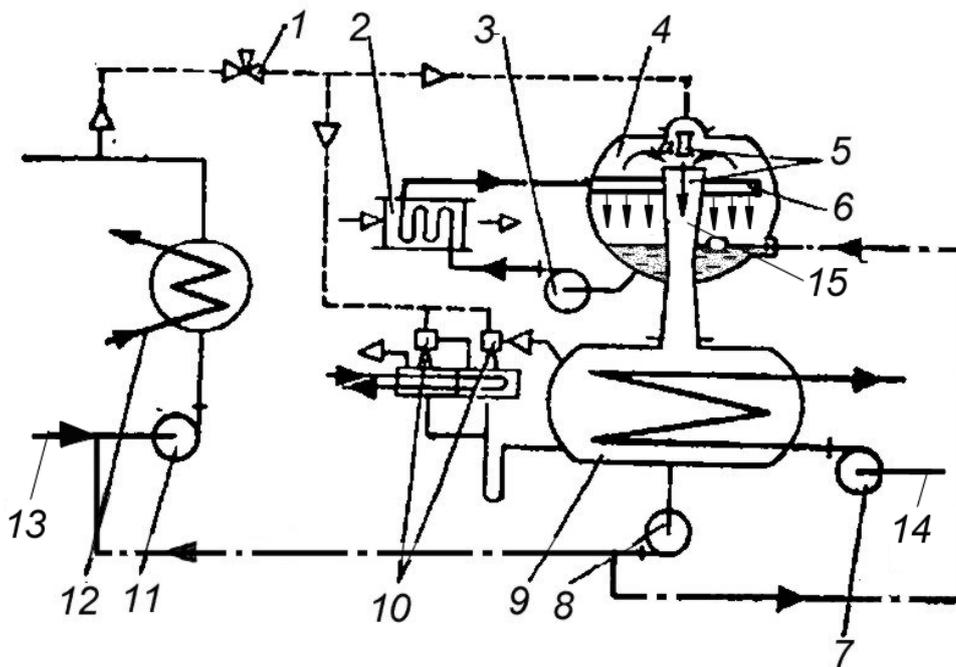
В бытовых холодильниках и кондиционерах может быть использована энергия солнечного излучения, полученная с помощью солнечных коллекторов. СХМ, установленные на холодильниках агропромышленного комплекса и торговли, позволяют дополнительно вырабатывать холод за счет

использования теплоты перегрева паров хладагента и теплоты охлаждающего масла винтовых компрессоров. Холодопроизводительность СХМ составляет порядка 1 кВт.

### **§2.2.5. 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 хладоны. 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  $0^{\circ}\text{C}$ . 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  $700-1700\text{Па}$ . Показатель  $\mu$  современных пароэжекторных холодильных машин в зависимости от условий работы и конструкции составляет  $0,14 - 0,18$ .



*Рис. 2.5. Принципиальная схема пароводяной эжекторной холодильной машины*

*1-регулятор давления пара; 2-воздухоохладитель;  
 3-насос рабочей воды; 4-испаритель; 5-главный эжектор; 6-дырчатая труба; 7-насос заборной воды; 8-насос конденсатный; 9-главный конденсатор; 10-вспомогательный эжектор; 11-питательный насос энергетической машины; 12-парогенератор; 13-трубопровод питательной воды; 14-трубопровод заборной воды; 15-диффузор.*

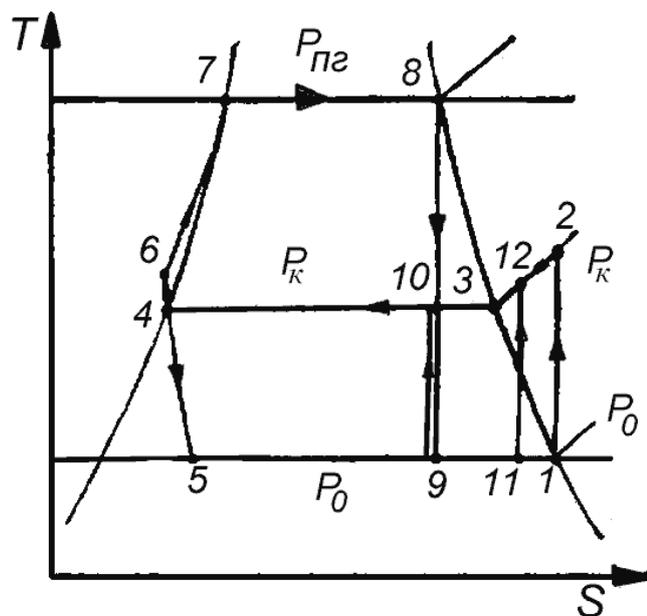


Рис. 2.6. Теоретический цикл пароводяной эжекторной холодильной машины  
1-регулятор давления пара; 2-воздухоохладитель

Теоретический цикл парожеторной холодильной машины в координатах  $T - S$  представлен на рис. 2.5.

Адиабата 1-2 характеризует процесс сжатия паров хладагента в диффузоре главного эжектора от давления испарения  $p_0$  до давления конденсации  $p_k$ .

Изобары 2-3 и 3-4 изображают процессы охлаждения и конденсации паров хладагента в главном конденсаторе при давлении  $p_1$ . Энтальпия 4-5 характеризует процесс дросселирования хладагента на входе в испаритель от давления  $p_k$  до давления  $p_0$ , изобара 5-1 - процесс испарения хладагента в испарителе при давлении  $p_0$ . Процессы 1-2-3-4-5-1 образуют холодильный цикл.

Адиабата 8-9 характеризует процесс расширения рабочего пара в соплах главного эжектора от давления  $p_{пг}$  до давления  $p_0$ , адиабата 9-10 - условный процесс сжатия рабочего пара в диффузоре главного эжектора от давления

$p_0$  До давления  $p_k$ . В действительности сжатие рабочего пара происходит в смеси с парами хладагента по адиабате 11-12.

Изотерма 10-4 показывает процесс конденсации рабочего пара в главном конденсаторе. Он протекает одновременно с конденсацией паров хладагента при давлении  $p_k$ .

Адиабата 4-6 представляет собой процесс повышения температуры и давления конденсата рабочего пара в питательном насосе энергетической установки корабля от давления  $p_k$  до давления  $p_{пт}$ .

Линии 6-7 и 7-8 характеризуют процессы нагрева до температуры кипения, а затем превращения в пар конденсата рабочего пара в парогенераторе энергетической машины.

Процессы 8-9-10-4-6-7-8 образуют прямой цикл.

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

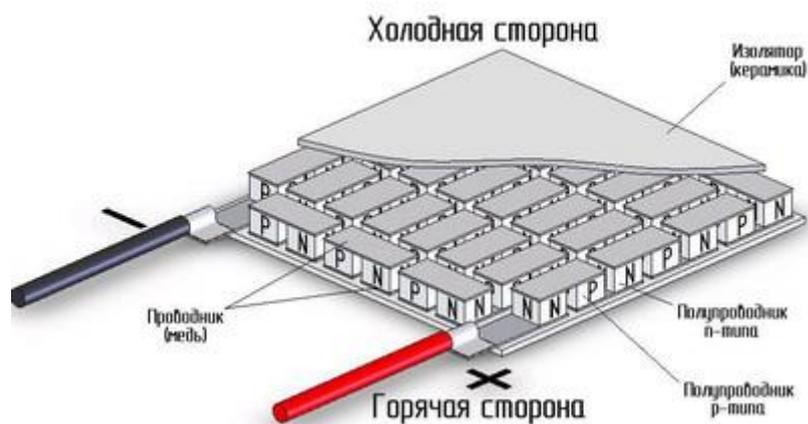
### **Контрольные вопросы:**

1. Для чего нужна холодильная машина?
2. Перечислите типы холодильных машин.
3. Почему называют воздушными холодильными машинами.
4. Как представляют собой машины вихревого типа.
5. В чем заключается принцип работы парокompрессионной холодильной машины?
6. Чем абсорбционные холодильные машины отличаются от компрессионных.
7. Чем сорбционные холодильные машины отличаются от компрессионных

- 8.Какой группе относятся пароэжекторные холодильные машины
- 9.Что такое коэффициент подачи компрессора? Как его определяют для конкретного компрессора?
- 10.Когда холодопроизводительность компрессора выше летом, или зимой?
- 11.Неизвестна марка компрессора. Как определить его холодопроизводительность на каком-то режиме?
- 12.Что представляет собой графическая характеристика холодопроизводительности компрессора?
- 13.Нарисуйте индикаторную диаграмму идеального компрессора. В чем отличие такой диаграммы для реального компрессора?

### **§2.3. Термоэлектрические холодильные приборы**

Эффект Пельтье был открыт в 1834 году и спустя столетие лег в основу термоэлектрических технологий, радикально меняющих представление человека о способах получения тепла и холода. Французский физик Ж. Пельтье открыл термоэлектрический эффект, названный впоследствии его именем. Если пропускать электрический ток через спай двух специально подобранных материалов (назовем среди них висмут, сурьму или индий), один из них нагревается, другой -охлаждается. Это явление и побудило создать такой термоэлектрический модуль, у которого при пропускании тока одна сторона нагревается до температуры выше атмосферной, а другая - охлаждается ниже ее. Таким образом с одной стороны модуля можно отбирать тепло, а с другой -холод. Типичные термоэлектрические модули представлены на рис. 2.7 [4].



*Рис. 2.7. Термоэлектрические модули*

Широкое применение во всех сферах человеческой деятельности холодильных установок с фреонсодержащими смесями явилось одной из причин серьезного нарушения экологического баланса земной атмосферы, связанного с нарушением озонового слоя. Лучшей альтернативой парокompрессионным и абсорбционным холодильным системам является термоэлектрический метод охлаждения, при котором роль хладагента выполняют электронные и дырочные токи в полупроводниках.

Термоэлектрические охладительные системы отличаются высокой надежностью, стойкостью к механическим нагрузкам и вибрации относительно парокompрессионных охладительных систем, у которых при больших механических нагрузках возникает утечка фреона. В отличие от парокompрессионных, термоэлектрические системы не нуждаются в систематических ремонтных работах. Приобретая термоэлектрическое устройство не надо заботиться о расходах на его обслуживание в будущем.

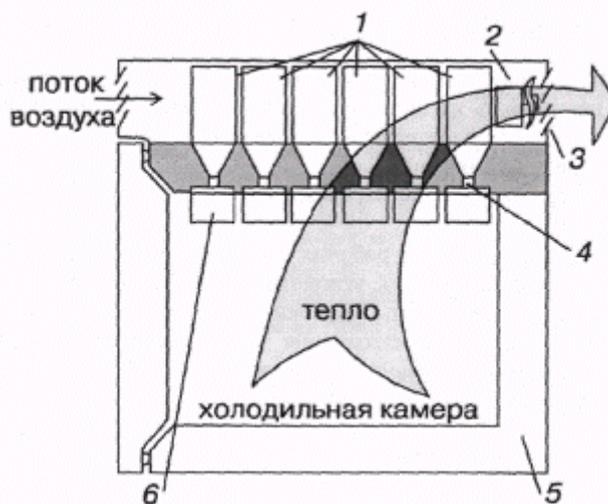
Термоэлектричество, вытесняя традиционные охладительные системы, все активнее начинает использоваться в самых разных сферах: медицина, железнодорожный транспорт, автомобильная промышленность, авиационная и космическая техника, промышленная электроника и энергетика, коммутационное и компьютерное оборудование, бытовая техника [3].

Использование гибких технологий позволяет предприятию динамично реагировать на запросы рынка и оперативно решать проблемы "тепло-холод" в различных сферах человеческой деятельности, в разных странах и климатических зонах.

Основные преимущества термоэлектрических систем:

1. Компактность;
2. Широкий диапазон рабочих температур;
3. Высокая надежность, устойчивость к ударам и вибрации;
4. Возможность работы в условиях невесомости или перегрузок;
5. Возможность переключения от охлаждения к нагреву при изменении полярности питания;
6. Отсутствие движущихся частей;
7. Экологическая чистота (не используются газы и хладагенты);
8. Нет эксплуатационных расходов.

Термоэлектрический холодильник работает на основе эффекта Пельтье, который заключается в выделении или поглощении теплоты при прохождении электрического тока через спай термопары. На рис. 2.8 схематично показано поперечное сечение такого холодильника объемом 65 дм<sup>3</sup>, способного поддерживать температуру холодильной камеры на 10° С ниже температуры окружающей среды. В верхней части расположены 72 термоэлемента, обеспечивающие охлаждение, которые потребляют большую часть из 135 Вт электроэнергии, необходимой для работы холодильника. В канале обдува воздухом расположены специальные ребра для лучшего сброса тепла, а в камере установлены пластины для увеличения поверхности теплообмена. Подобные холодильники на судах рассчитаны на хранение шести тонн замороженных или охлажденных продуктов.



*Рис. 2.8. Схема термоэлектрического холодильника:*

*1 - охлаждающие ребра; 2 - вентилятор; 3 - жалюзи; 4 - термоэлементы;  
5 - тепловая изоляция; б - холодные пластины (ребра).*

### **Основные области использования термоэлектрических модулей**

Термоэлектрический модуль является уникальным устройством по преобразованию электрической и тепловой энергии. Он позволяет осуществлять как прямое преобразование энергии (из электрической в тепловую) - режимы охлаждения или нагрева, так и обратное преобразование - режим генерации электрической энергии. Термоэлектрический модуль может также использоваться как устройство для измерения температуры или потока тепловой энергии. Таким образом, можно выделить три основные сферы применения модулей:

- охлаждение или нагрев;
- генерация электрической энергии;
- термометрия.

Сущность термоэлектрического охлаждения заключается в том, что при прохождении постоянного тока через термобатарею, составленную из последовательно соединенных двух различных материалов - термоэлементов (ТЭМ), происходит выделение тепла с одной стороны батареи

и поглощение тепла с противоположной. Единичным элементом ТЭМ является термопара, включающая в себя одну ветвь р - типа и одну ветвь n - типа проводимостей.

В зависимости от сферы применения, существуют различные особенности использования термоэлектрического модуля. При всем многообразии возможностей по использованию термоэлектричества можно выделить следующие основные области применения модулей:

1. *Изделия широкого потребления:* переносные холодильники и морозильники различного объема и назначения, охладители питьевой воды и тонизирующих напитков, охладители для вина и пива, охлаждающие коробки и шкафы для магазинов и кафе и т.п.

2. *Радиоэлектроника:* миниатюрные охладители для входных каскадов высокочувствительных приемников и усилителей, охладители для мощных генераторов и радиоэлементов, лазерных излучателей, лазерных систем и ПЗС (CCD) матриц, параметрических усилителей различного назначения, фотоприемников (фотодиоды, фототранзисторы, фотоумножители), охладители для микропроцессоров, электронных плат и блоков.

3. *Медицина:* мобильные охладительные контейнеры для хранения биологических тканей и жидкостей (кровь, плазма, лимфа, другие биологические растворы), офтальмологические приборы для пересадки хрусталика глаза, микропинцеты, охладительные одеяла и подстилки, приборы для лечения и профилактики кожных заболеваний, анестезиологическое оборудование, косметические и фармацевтические изделия.

4. *Точное машиностроение:* поддержание постоянной температуры ответственных систем и узлов различных станков и машин.

5. *Научное и лабораторное оборудование:* камеры холода и замораживатели, термостаты, лабораторные пластины и столики с охлаждением, термокалибраторы, ступенчатые охладители, охладители и

термостабилизаторы датчиков различного назначения, датчики тепловых потоков, приемники излучения, микрокалориметры, термоэлектрические трансформаторы.

6. *Устройства климатизации:* термоэлектрические кондиционеры различного назначения, климатические камеры, устройства стабилизации влаги и температуры для шкафов и блоков электронной аппаратуры, библиотек и фильмотек, термостабилизаторы для аквариумов, флорариумов и террариумов.

7. *Энергетика:* утилизаторы бросового тепла, автономные источники питания для устройств автоматики, изотопные источники питания для космических станций. Теоретические основы холодильной технологии.

### **Контрольные вопросы:**

1. Как и когда был открыт Эффект Пельтье.
2. В чем отличительность термоэлектрических охлаждающих систем?
3. Основные преимущества термоэлектрических систем?
4. Где можно использовать термоэлектрический модуль?
5. Основные сферы применения термоэлектрических модулей.
6. Преимущества и недостатки генерации искусственного холода на основе эффекта Пельтье.

### **§2.4. Классификация холодильников по назначению**

#### **§2.4.1. Классификация холодильников для пищевых продуктов**

Охлаждаемые сооружения, или холодильники, -это промышленные специально оборудованные здания с холодильной компрессорной установкой, обеспечивающей в них температур ном 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.

#### **§2.4.2. 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.

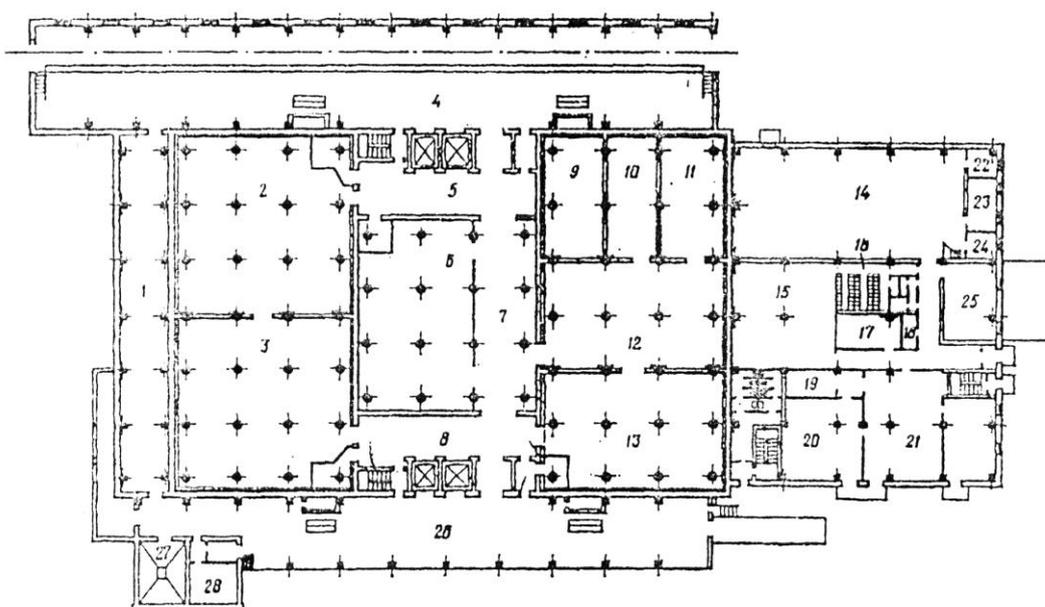
*Заготовительные холодильники* сооружают в районах заготовок скоропортящихся пищевых продуктов. Они предназначены для первоначальной холодильной обработки, кратковременного хранения и подготовки заготавливаемых продуктов к транспортировке на торговые предприятия или распределительные холодильники и холодильники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

*Производственные холодильники* - составная часть пищевых предприятий (мясокомбинатов, рыбокомбинатов, консервных, молочных заводов и др.). Они осуществляют холодноснабжение 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**.

Вариант планировки первого этажа многоэтажного распределительного холодильника емкостью 10000 т приведен на рис. 2.9.



*Рис. 2.9. План первого этажа типового распределительного холодильника емкостью 10 000 т:*

- 1 – соединительный коридор; 2,3 – камеры универсальные;*
- 4 – железнодорожная платформа (дебаркадер); 5, 8 – вестибюли;*
- 6 – экспедиция; 7 – коридор; 9, 10, 11 – морозильные камеры;*
- 12 – загрузочно-разгрузочное помещение; 13 – камера хранения охлажденного мяса; 14 – машинное отделение;*

15 – материальный склад; 16 – мужской гардероб; 17 – тепловой пункт; 18 – кладовая; 19 – электролитная; 20 – зарядная;  
21 – профилакторий и стоянка электропогрузчиков;  
22 – лаборатория; 23 – центральный пункт управления и контроля;  
24 – комната механика; 25 – механическая мастерская;  
26 – автомобильная платформа; 27 – мойка; 28 – комната кладовщиков.

Здесь вдоль длинных сторон здания холодильника предусмотрены железнодорожная 4 и автомобильная 26 платформы, объединенные соединительным коридором 1. Груз, принятый с транспорта, взвешивают на весах, расположенных на платформах, и через вестибюли 5, 8 и коридор 7 направляют в экспедицию 6, где его проверяют и доставляют в камеры хранения на верхние этажи или морозильные камеры 9, 10, 11. Для подъема грузов на верхние этажи предусмотрено четыре лифта по два со стороны каждой платформы.

Машинное отделение 14 и вспомогательные помещения расположены в одноэтажной пристройке к зданию, вынесенной за пределы изолированного контура.

*Базисные холодильники* предназначены для длительного хранения резервов скоро портящихся 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.

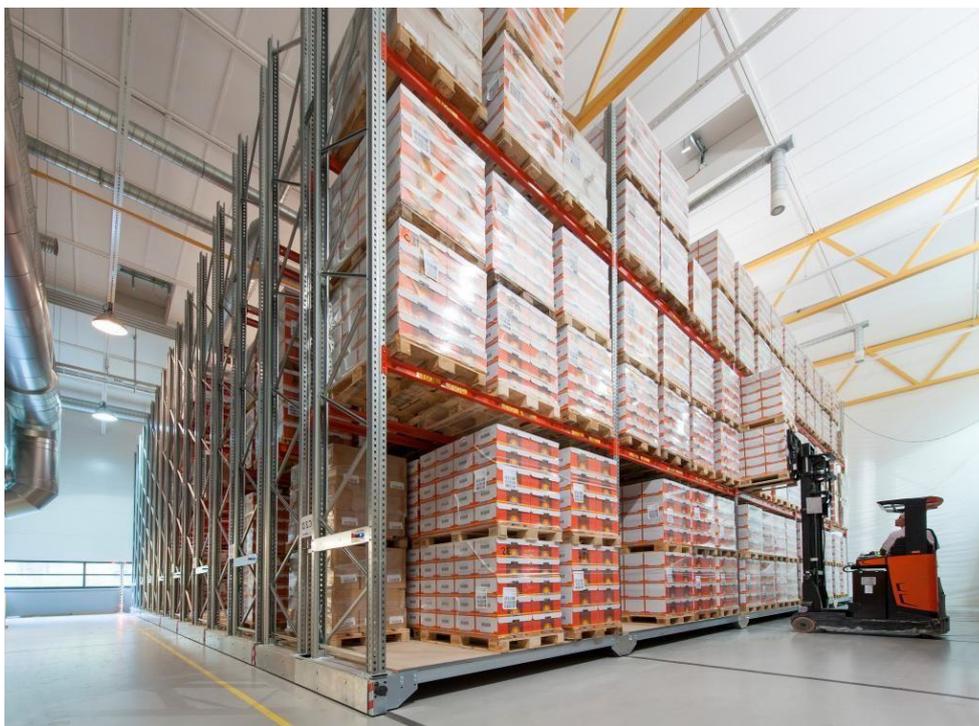
*Портовые холодильники* используют для хранения пищевых продуктов, перевозимых водным транспортом. В них осуществляется перевалка пищевых продуктов с судорефрижераторов на железнодорожный и автомобильный транспорт и наоборот, поэтому их относят к группе транспортно-экспедиционных.

*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.

Классификация холодильных складов и грузовых фронтов  
Холодильный склад представляет собой комплекс сооружений и оборудования для хранения скоропортящихся грузов при оптимальных значениях температуры и влажности. Кроме термической обработки, хранения и отпуска скоропортящихся грузов в холодильных складах производят сортировку, упаковку, пакетирование и другие операции.



*Рис.2.10. Общий вид склада*

Особенности планировки и конструкции холодильных складов  
Планировка грузовых фронтов контактирующих видов транспорта бывает: параллельной, перпендикулярной, совмещённой, комбинированной.

Особенности планировки и конструкции холодильных складов  
Грузовые фронты холодильников могут быть: открытыми, закрытыми, полузакрытыми.

Особенности планировки и конструкции холодильных складов.

К планировке холодильников предъявляют ряд требований:

- рациональное использование площади и вместимости склада;
- наименьшая встречность потока грузов;
- наименьшие теплопритоки через двери и ограждения;
- удобство обслуживания транспорта;
- возможность доступа в любое место склада (в том числе на случай пожара, аварии и др.);
- наличие вестибюлей, соединяющих автомобильную и железнодорожную платформы (экспедиции).



Рис. 2.11. Общий вид склада

### §2.4.3. Классификация холодильников по грузопместимости

По грузопместимости холодильники подразделяют на мелкие (до 100 т), малые (до 300т), средние (до 500 т), крупные (до 10 000 т) и сверхкрупные (свыше 10000т). Грузопместимость (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 т/м<sup>3</sup> или при размещении на подвесных путях загрузку 0,25 т на 1м 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 грузопместимость холодильника определяют по формуле

$$E_x = E_{к.о} + E_{к.з} + E_{к.п}, \quad (2.5)$$

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

$$E_{к.о} = 0,35 V_{г.о}; E_{к.з} = 0,35 V_{г.з}; E_{к.п} = 0,25L, \quad (2.6)$$

где  $V_{г.о}$ ,  $V_{г.з}$  – грузовой объем камер хранения соответственно охлажденных и замороженных грузов, м<sup>3</sup>;  $L$  -грузовая длина подвесных путей, м.

Условную грузопместимость 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 грузоподъемности 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,  $m^3$ , определяют по формуле

$$V_c = FH, \quad (2.7)$$

где  $F$  -площадь пола камеры,  $m^2$ ;  $H$  -высота камеры от пола до потолка,  $m$ .

Грузовой объем камеры  $V_g$ , меньше строительного:

$$V_g = F_g H_g < V_c \quad (2.8)$$

где  $F_g$  -площадь пола камеры, на который уложен груз,  $m^2$ ;  $H_g$  -грузовая высота помещения,  $m$ ;

$$F_g = F - \Sigma f, \quad (2.9)$$

где  $\Sigma f$  -общая площадь пола, занятая колоннами, проходами и проездами, холодильным оборудованием,  $m^2$ ;

$$H_g = H - h, \quad (2.10)$$

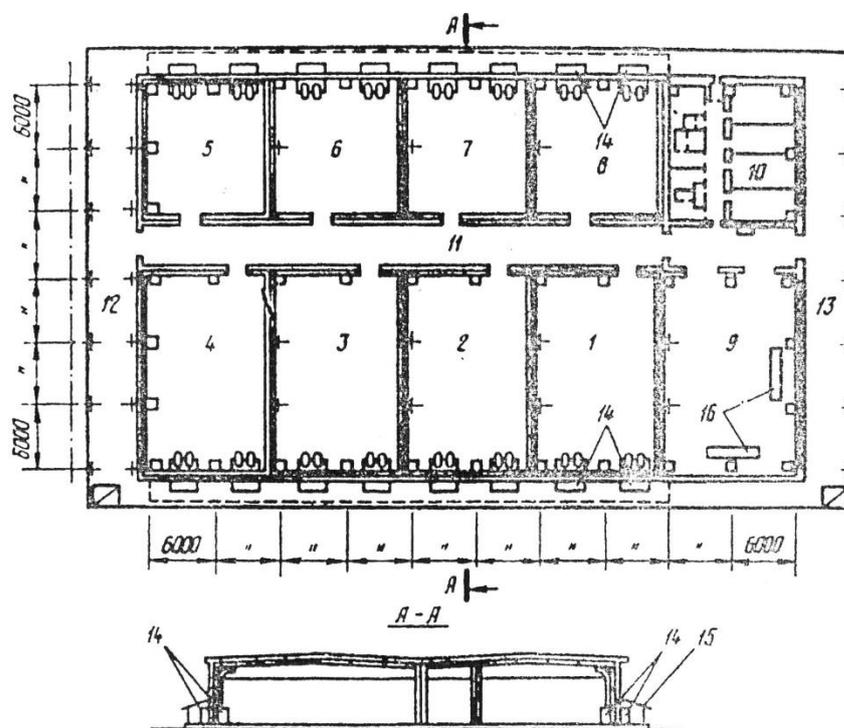
где  $h$  -расстояние от верха штабеля до потолка или балок, приборов охлаждения и воздушных каналов (0,2 -0,3  $m$ ).

Грузоподъемность распределительных холодильников устанавливается на основе годового грузооборота. Имеющиеся 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 грузовой вместимостью 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.



*Рис. 2.12. Холодильник для фруктов и винограда емкостью 1200 т с децентрализованной системой охлаждения:*

*1...4 – камеры хранения фруктов; 5...8 – камеры хранения винограда; 9 – экспедиция; 10 – блок подсобных, бытовых и конторских помещений; 11 – грузовой коридор; 12 – железнодорожная платформа; 13 – автомобильная платформа; 14 – холодильно-нагревательная машина ХМФ-16; 15 – навес; 16 – инспекционный транспортер ТСИ*

На рис. 2.12 приведены план и разрез одноэтажного холодильника для фруктов и винограда емкостью 1200 т. Главной его особенностью является отсутствие аммиачного компрессорного цеха – каждая из камер снабжена двумя фреоновыми холодильно-нагревательными машинами 14, смонтированными снаружи вдоль длинных сторон здания. Широкий коридор 11 удобно соединяет железнодорожную 12 и автомобильную 13 платформы холодильника, максимально упрощая грузооборот.

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 теплопоступлений в них меньше, чем в одноэтажных.

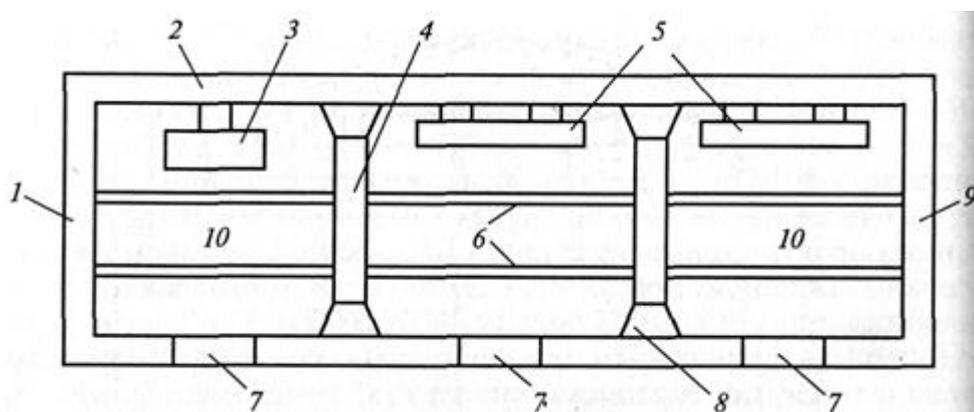
Объемно-планировочное решение и число холодильных камер того или иного назначения (структура грузоемкости) должны позволять внедрять передовую технологию холодильной обработки и хранения пищевых продуктов, организовывать рациональные грузопотоки в здании, добиваться высокого уровня механизации погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ, минимальных теплопритоков и расхода холода.

В республике холодильники грузоподъемностью свыше 4000 т оснащены в основном камерами грузоподъемностью более 400 т (свыше 90 %). Грузоподъемность камер хранения замороженных продуктов (-20 °С) распределительных холодильников составляет 50 -70%, камер хранения охлажденных продуктов (+4...-3°С) -20 -35%, универсальных (0...-20 °С) -10-15%, камер замораживания (-30°С) - 0,5-1%. Размеры камер различны. Например, в одноэтажных холодильниках камеры для хранения замороженных продуктов имеют площадь 300 -600 м<sup>2</sup>, а камеры для хранения охлажденных продуктов -до 300 м<sup>2</sup>. В многоэтажных холодильниках площадь камер больше -до 1000 м<sup>2</sup>. 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 0С, 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 3000т 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 м<sup>2</sup>), замороженного мяса 3 – 4 (площадью 300 -1000 м<sup>2</sup>). 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 плано-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 100т на базе холодильных вместимостей имеющихся распределительных холодильников позволяет увеличить количество охлаждаемых объемов и эффективность их использования.

На рис. 2.13 представлена схема реструктуризированной холодильной камеры.



*Рис. 2.13. 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 грузоподъемности, приспособленных как для охлаждения 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  $-3^{\circ}\text{C}$  1,2 кВт.

### **Контрольные вопросы:**

1. Перечислите классификации холодильников.
2. В чем отличаются Классификации холодильников по грузоподъемности.
3. По какой формуле определяется условную грузоподъемность холодильника.
4. Как определяют объем камеры холодильника

## §2.5. Аммиачные холодильные машины

Назначение, устройство и место расположения вспомогательного оборудования в таких холодильных машинах рассмотрим на примере холодильной установки на две температуры кипения, представленной на рис. 3.15. В схему включены одноступенчатый и два двухступенчатых компрессора, имеющие общую нагнетательную линию.

**Маслоотделитель II** устанавливают на нагнетательном трубопроводе перед **конденсатором III** для отделения масла, увлекаемого парами холодильного агента из компрессора, чтобы не допустить попадания его в больших количествах в теплообменные аппараты (конденсатор и испаритель).

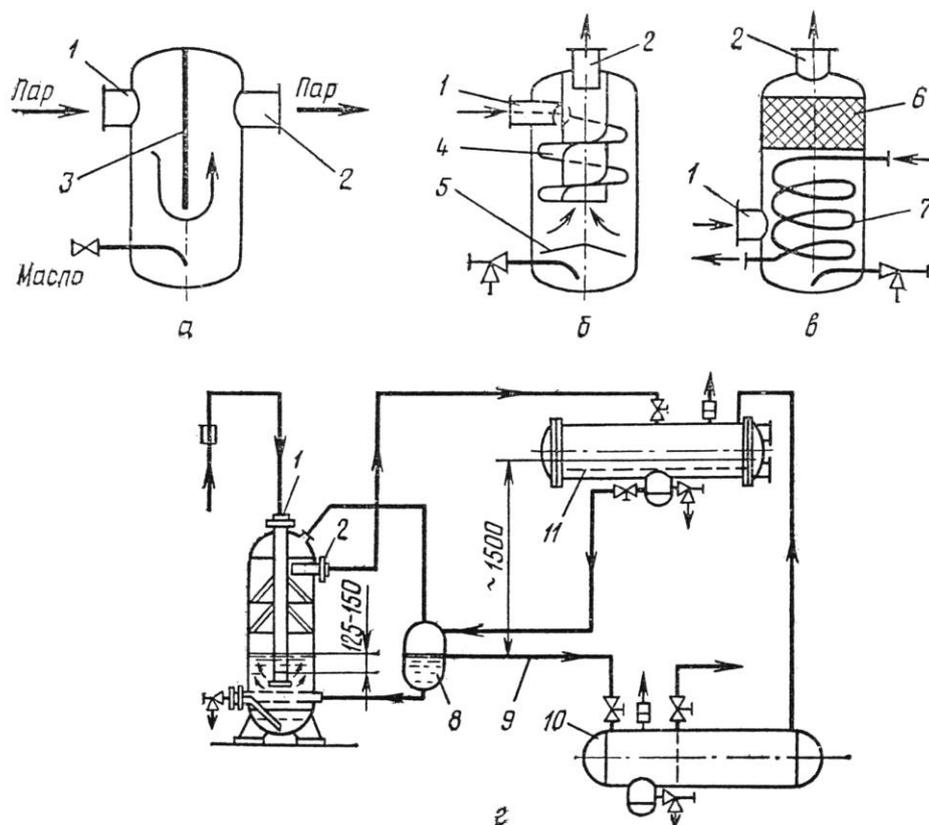
Из компрессора масло уносится в виде мелких капель, либо в парообразном состоянии, так как при температурах 80...150 °С оно частично испаряется (3...30 %). В самых простых маслоотделителях отделение масла происходит под действием резкого изменения направления движения и разности между плотностями масла и пара.

Для изменения направления движения пара в аппарате устанавливают перегородку (рис. 2.14 а) или определенным образом располагают патрубки. В этом случае маслоотделители улавливают только 40...60 % масла, унесенного из компрессора, так как пары масла и его очень мелкие капли такие аппараты не улавливают.

В циклонный маслоотделитель (рис. 2.14 б) пар поступает по патрубку 1 и попадает на направляющие лопатки 4, где приобретает вращательное движение. Под действием центробежной силы капли масла отбрасываются на корпус и образуют медленно стекающую вниз пленку. При выходе со спирали пар резко изменяет направление и по патрубку 2 уходит из маслоотделителя. Перегородка 5 защищает отделившееся масло от струи пара.

Для более тщательного отделения масла в маслоотделителях применяют также водяное охлаждение (рис. 2.14 в) или промывку выходящего из компрессора пара в жидком аммиаке (рис. 2.14 г). При этом парообразное

масло конденсируется и вязкость его увеличивается, в результате чего образуются более крупные капли масла, которые легко отделяются от пара холодильного агента.



*Рис. 2.14. Маслоотделители: а – с перегородкой; б – циклонный; в – с водяным охлаждением; г – с промывкой паров в жидком аммиаке;*

*1 – патрубок для входа пара; 2 – патрубок для выхода пара в конденсатор; 3 – перегородка; 4 – направляющие лопатки; 5 – перегородка, защищающая от струи пара; 6 – насадка; 7 – водяной змеевик; 8 – уловитель; 9 – переливная труба; 10 – ресивер; 11 – конденсатор*

В маслоотделителе с водяным охлаждением (рис. 2.7 в) охлаждающая вода циркулирует по змеевику 7. Пар холодильного агента с маслом подается через патрубок 1 и многократно изменяет направление движения вследствие соответствующего расположения патрубков и насадки 6 из отбойных колец

(или металлической стружки). Пар выходит через патрубок 2. Масло выпускают через поплавковый перепускной клапан в картер компрессора.

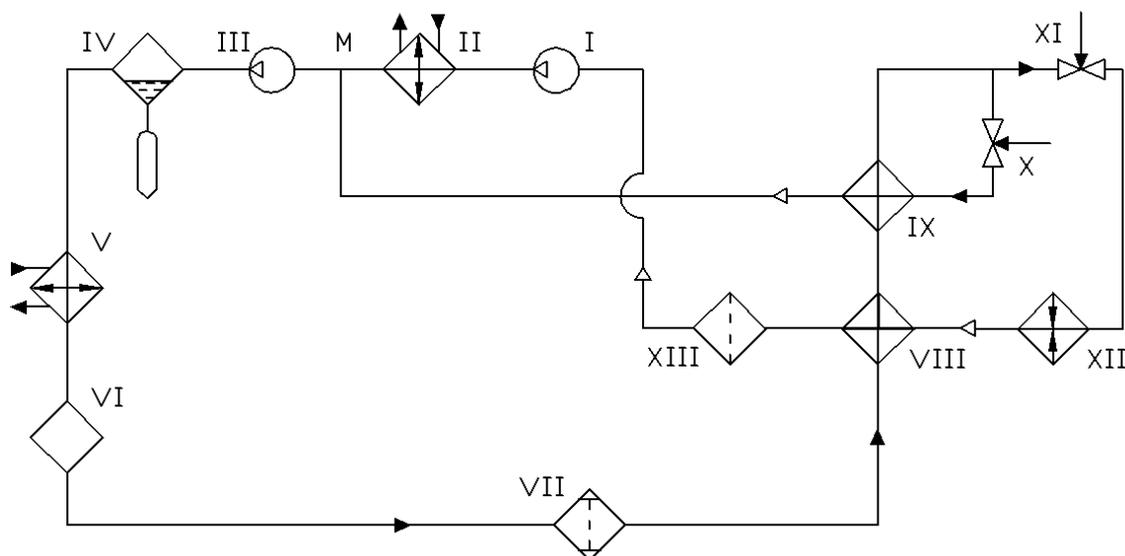
В маслоотделителе с промывкой паров в жидком аммиаке (рис. 2/7 г) пар вместе с маслом поступает из компрессора через патрубок 1, опущенный под уровень жидкого аммиака. Жидкость в маслоотделитель подводят от конденсатора (или ресивера). При выходе из патрубка 1 пар барботирует через слой жидкости и охлаждается, что обуславливает лучшее отделение масла. Поднимаясь по аппарату, пар проходит отбойные тарелки с отверстиями, которые тоже способствуют задержанию масла, и выходит через патрубок 2 в конденсатор 11. Плотность масла больше, чем жидкого аммиака, поэтому оно скапливается в нижней части аппарата, под жидким аммиаком и периодически выпускается из маслоотделителя.

В циклонных маслоотделителях и маслоотделителях с водяным охлаждением или с промывкой пара в жидком аммиаке отделяется 95...97 % масла, унесенного парами из компрессора.

## **§2.6. Фреоновые холодильные машины**

Крупные фреоновые холодильные машины, как правило, работают на R22, а холодильные машины малой мощности – на современных заменителях озоноразрушающего R12 (R134a, R401A, R406A и др.). Существенным их различием является отсутствие маслоотделителей у последних, тогда как в холодильных машинах на R22 маслоотделители иногда включают в схему.

Ниже приведена принципиальная схема двухступенчатой низкотемпературной холодильной машины на R22 (рис. 2.15), включающая маслоотделитель.



*Рис. 2.15. I, III – компрессоры ступеней СНД и СВД, соответственно; II – охладитель пара, IV – маслоотделитель с маслоборником, V – конденсатор, VI – линейный ресивер, VII – фильтр-осушитель, VIII – регенеративный теплообменник (РТО), IX – переохладитель жидкости, X, XI – регулирующие вентили, XII – испаритель. XIII – газовый фильтр*

Здесь после сжатия в компрессоре СНД I пар охлаждается проточной водой в охладителе пара II и в точке М смешивается с потоком пара, возникшим при кипении фреона в переохладителе жидкости IX. Образовавшаяся смесь сжимается далее в компрессоре СВДIII и подается на конденсацию в V, откуда свободно стекает в линейный ресивер VI. Здесь хранится некоторый запас жидкого R22. Некоторая часть его постоянно отбирается и направляется в **фильтр-осушитель VII** (рис. 2.16), призванный, кроме фильтрующей функции, убрать из фреона примеси воды, даже небольшое количество которой может замёрзнуть в дроссельном вентиле и вывести машину из строя.

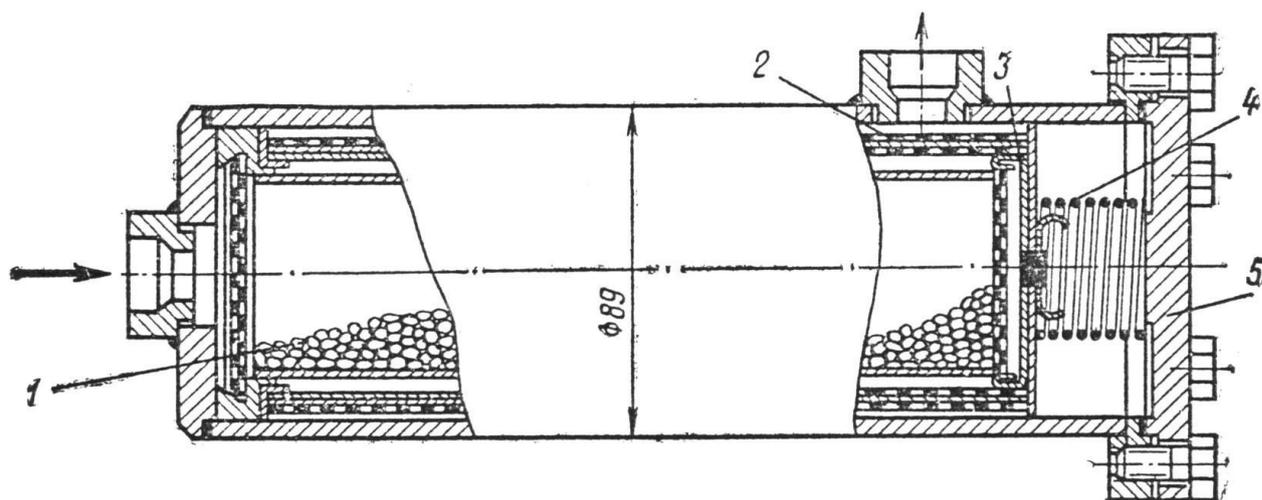


Рис. 2.16. Фильтр-осушитель

Обычно его устанавливают перед дроссельным вентилем, либо другим элементом схемы, в котором резко падает температура жидкого агента. Внутри он полностью заполнен мелкораздробленным цеолитом 1. На входе в осушительный патрон и на выходе из него установлены двухслойные фильтрующие сетки 2 из стальной оцинкованной проволоки и фильтрующая ткань. Стакан с цеолитом и фильтры расположены в сетчатом каркасе 3, прижатом пружиной 4.

Цеолит адсорбирует воду на пористой поверхности, но его поглощающая способность постепенно уменьшается. Ее можно восстановить, если цеолит просушить горячим воздухом при температуре выше 200 °С. Просушенный цеолит нужно засыпать в осушитель горячим и сразу закрыть крышку 5, чтобы предотвратить поглощение влаги из воздуха. После этого жидкий R22 поступает в **регенеративный теплообменник (РТО) VIII**. Их используют только в машинах, работающих на фреонах. В кожухозмеевиковом теплообменнике жидкость проходит по внутреннему змеевику, а пар – противотоком по межзмеевиковому пространству.

В результате теплообмена жидкий хладон переохлаждается, а пары – значительно перегреваются. Перегрев пара хладона при всасывании

исключает влажный ход компрессора, повышает коэффициент подачи, а, следовательно, и действительную холодопроизводительность машины.

Устанавливают РТО непосредственно перед дроссельным вентилем. Тепловую нагрузку в теплообменнике можно определить по формуле

$$Q_{m.o} = M_{x.a}(i_1 - i_1') = M_{x.a}(i_4 - i_4'),$$

где  $Q_{m.o}$  – тепловой поток в теплообменнике, Вт;

$M_{x.a}$  – массовый расход циркулирующего агента, кг/с;

$i_1$  и  $i_1'$  – удельная энтальпии пара, входящего и выходящего из теплообменника, Дж/кг;

$i_4$  и  $i_4'$  – удельная энтальпии жидкости, входящей и выходящей из теплообменника, Дж/кг.

Коэффициент теплопередачи в теплообменнике  $k = 120...180$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

**Газовый фильтр XIII** устанавливают на всасывающей магистрали компрессора или непосредственно на компрессоре. Улавливая различные загрязнения, он защищает компрессор от повреждений поверхности цилиндров и клапанов. Конструктивно он практически не отличается от фильтра-осушителя (рис. 2.16), однако не имеет цеолитового наполнителя.

### §2.7. Холодильная машина с экономайзером

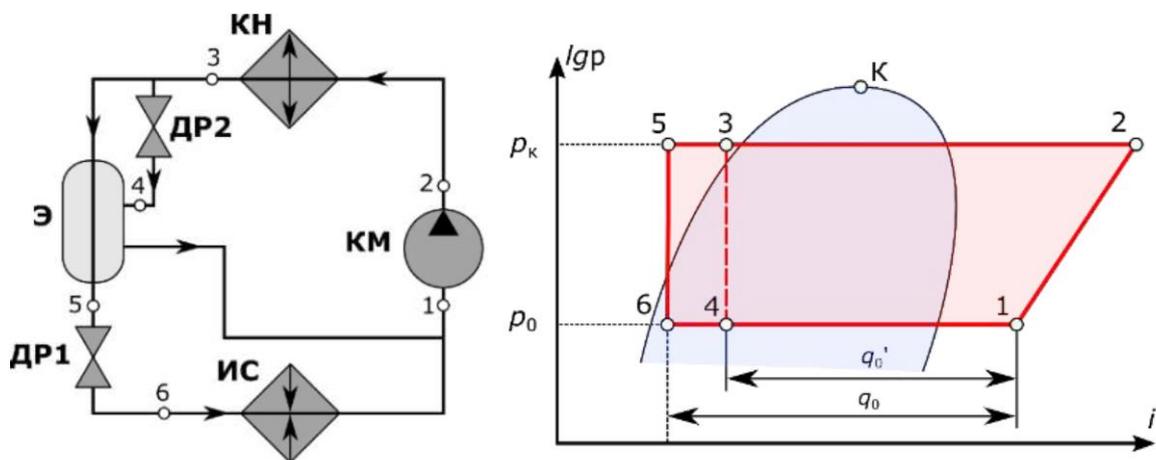


Рис.2.17. Холодильная машина с экономайзером

**Экономайзер (Э)** представляет из себя теплообменник, применяемый для увеличения переохлаждения хладагента после конденсатора. Экономайзером можно добиться больших значений переохлаждения, что даёт возможность размещать испаритель на большом расстоянии от конденсатора (это полезно использовать в крупных централизованных установках).

Переохлаждение хладагента в экономайзере обеспечивается за счет дросселирования части жидкого холодильного агента (ДР2). Тепловая нагрузка на экономайзер  $q_0'$  будет разностью энтальпий в точках 4 и 1.

По такому же принципу можно добавлять другие теплообменники к холодильной схеме, например, для нагревания водопроводной воды на объекте за счет горячего хладагента, выходящего из компрессора. В данном случае холодильная машина будет выступать в роли **теплового насоса**.

Как видно из схемы холодильного цикла, в холодильной машине идет как бы перекачка тепла из помещения, в котором установлен испаритель, в окружающее пространство, как правило на улицу, где установлен конденсатор.

Из испарителя всегда выходит более холодный воздух, а из конденсатора - более теплый. Если поменять местами конденсатор и испаритель (использовать 4-х ходовой клапан), то мы будем греть помещение и охлаждать улицу, перекачивая тепло с улицы в комнату или для нагревания воды.

Если поменять местами конденсатор и испаритель, то мы будем греть помещение и охлаждать улицу, перекачивая тепло с улицы в комнату. Поскольку холодильная машина не создает тепло (если, конечно, не учитывать нагрев от компрессора), а только перекачивает его, то затраты энергии получаются примерно в три раза меньше тепла, которое поступает в помещение.

Когда речь идет о замене конденсатора на испаритель, то под этим понимается так называемый **реверсный (обратный) цикл** или **иначе цикл**

«теплового насоса», для чего в схему встраивается 4-х ходовой клапан, переключающий направление потоков хладагента.

Схема холодильного контура, способного работать как в режиме охлаждения, так и в режиме «теплового насоса», показана на рис. 2.18.

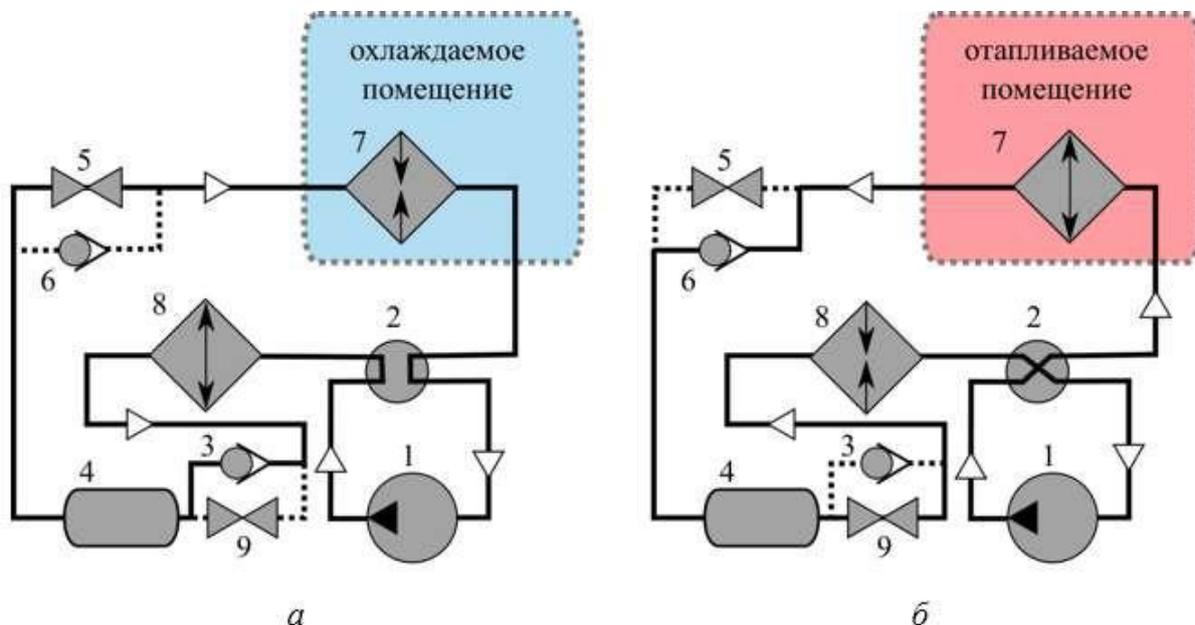


Рис.2.18. Реверсивный холодильный цикл: 1 – компрессор; 2 – четырехходовой клапан; 3,6 – обратный клапан; 4 – ресивер; 5,9 – дросселирующее устройство; 7 – теплообменник внутреннего блока; 8 – теплообменник наружного блока

В режиме охлаждения пары хладагента с выхода компрессора 1 четырехходовым клапаном 2 направляются в теплообменник наружного блока (расположенного на улице) 8, где конденсируются. Через обратный клапан 3 и ресивер 4 жидкий фреон с высоким давлением попадает на терморегулирующий вентиль 5. Терморегулирующий вентиль 9 и обратный клапан 6 при этом закрыты. Из ТРВ 5 жидкий хладагент поступает к теплообменнику внутреннего блока 7 (расположенного внутри охлаждаемого помещения), где испаряется и через четырехходовой клапан 2 поступает на вход компрессора 1.

В режиме обогрева пары хладагента четырехходовым клапаном 2 направляются в теплообменник внутреннего блока 7, выполняющего роль

конденсатора. Через обратный клапан 6 и ресивер 4 жидкий фреон с высоким давлением попадает на терморегулирующий вентиль 9. Терморегулирующий вентиль 5 и обратный клапан 3 при этом закрыты.

Реверсирование цикла производится четырехходовым клапаном 2.

## **§2.8. Автоматизация, холодильных машин и установок.**

### **Автоматизация холодильных установок**

Автоматизация холодильных установок предполагает оснащение их автоматическими устройствами (приборами и средствами автоматизации), с помощью которых обеспечиваются безопасная работа и проведение производственного процесса или отдельных операций без непосредственного участия обслуживающего персонала или с частичным его участием.

Объекты автоматизации совместно с автоматическими устройствами образуют системы автоматизации с различными функциями: контроля, сигнализации, защиты, регулирования и управления. Автоматизация повышает экономическую эффективность работы холодильных установок, так как уменьшается численность обслуживающего персонала, снижается расход электроэнергии, воды и других материалов, увеличивается срок службы установок вследствие поддержания автоматическими устройствами оптимального режима их работы. Автоматизация требует капитальных затрат, поэтому проводить ее надо, основываясь на результатах технико-экономического анализа.

Холодильную установку можно автоматизировать частично, полностью или комплексно.

*Частичная автоматизация* предусматривает обязательную для всех холодильных установок автоматическую защиту, а также контроль, сигнализацию и нередко управление. Обслуживающий персонал регулирует основные параметры (температура и влажность воздуха в камерах,

температура кипения и конденсации холодильного агента и т.д.) при отклонении их от заданных значений и нарушении работы оборудования, о чем информируют системы контроля и сигнализации, а некоторые вспомогательные периодические процессы (оттаивание инея с поверхности охлаждающих приборов, удаление масла из системы) выполняются вручную.

**Полная автоматизация** охватывает все процессы, связанные с поддержанием требуемых параметров в охлаждаемых помещениях и элементах холодильной установки. Обслуживающий персонал может присутствовать лишь периодически. Полностью автоматизируют небольшие по мощности холодильные установки, безотказные и долговечные.

Для крупных промышленных холодильных установок более характерна **комплексная автоматизация** (автоматический контроль, сигнализация, защита).

**Автоматический контроль** обеспечивает дистанционное измерение, а иногда и запись параметров, определяющих режим работы оборудования.

**Автоматическая сигнализация** извещение с помощью звукового или светового сигнала о достижении заданных величин, тех или иных параметров, включении или выключении элементов, холодильной установки. Автоматическую сигнализацию подразделяют на технологическую, предупредительную и аварийную.

**Технологическая сигнализация** световая, информирует о работе компрессоров, насосов, вентиляторов, наличии напряжения в электрических цепях.

**Предупредительная сигнализация** на защитных, циркуляционных ресиверах сообщает, что величина контролируемого параметра приближается к предельно допустимому значению.

**Аварийная сигнализация** световым и звуковым сигналами извещает о том, что сработала автоматическая защита.

**Автоматическая защита,** обеспечивающая безопасность обслуживающего персонала, обязательна для любого производства. Она предотвращает возникновение аварийных ситуаций, выключая отдельные элементы или установку в целом, когда контролируемый параметр достигает предельно допустимого значения.

Надежную защиту в случае возникновения опасной ситуации должна обеспечивать система автоматической защиты (САЗ). В простейшем варианте САЗ состоит из датчика реле (реле защиты), контролирующего величину параметра и вырабатывающего сигнал при достижении ее предельного значения, и устройства, преобразующего сигнал реле защиты в сигнал остановки, который направляется в систему управления.

На холодильных установках большой мощности САЗ выполняют так, чтобы после срабатывания реле защиты автоматический пуск отказавшего элемента без устранения вызвавшей остановку причины был невозможен. На небольших холодильных установках, например на предприятиях торговли, где авария не может привести к тяжелым последствиям, нет постоянного обслуживания, объект включается автоматически, если величина контролируемого параметра возвращается в допустимую область.

Разновидностью защиты можно считать блокировку, когда, например, компрессор может быть включен только если включен хотя бы один водяной насос, подающий воду в конденсатор, и рассольный насос для систем с промежуточным хладоносителем.

Наибольшее число видов защиты имеют компрессоры, поскольку по опыту эксплуатации 75 % всех аварий на холодильных установках происходят именно с ними.

Число параметров, контролируемых САЗ, зависит от типа, мощности компрессора и вида холодильного агента.

#### **Виды защиты компрессоров:**

- От недопустимого повышения давления нагнетания предотвращает нарушение плотности соединений или разрушение элементов;
- Недопустимого понижения давления всасывания предотвращает повышение нагрузки на сальник компрессора, вспенивание масла в картере, замерзание хладоносителя в испарителе (реле высокого и низкого давления, оснащают практически все компрессоры);
- Уменьшения разности давлений (до и после насоса) в масляной системе предотвращает аварийный износ трущихся деталей и заклинивание механизма движения компрессора, реле разности давлений контролирует разность давлений на стороне нагнетания и всасывания масляного насоса;
- Недопустимого повышения температуры нагнетания предотвращает нарушение режима смазки цилиндра и аварийный износ трущихся деталей;
- Повышения температуры обмоток встроенного электродвигателя герметичных и бессальниковых хладоновых компрессоров предотвращает перегрев обмоток, заклинивание ротора и работу на двух фазах;
- Гидравлического удара (попадание жидкого холодильного агента в полость сжатия) предотвращает серьезную аварию поршневого компрессора: нарушение плотности, а иногда и разрушение.

#### **Виды защиты других элементов холодильной установки:**

- От замерзания хладоносителя предотвращает разрыв труб испарителя;
- Переполнения линейного ресивера предохраняет от снижения эффективности конденсатора в результате заполнения части его объема жидким холодильным агентом;
- Опорожнения линейного ресивера предотвращает прорыв газа высокого давления в испарительную систему и опасность гидравлического удара.

Предотвращение аварийной ситуации обеспечивает защита от недопустимой концентрации аммиака в помещении, что может вызвать пожар и взрыв. Концентрация аммиака (максимум  $1,5 \text{ г/м}^3$ , или  $0,021 \%$  по объему) в воздухе контролируется газоанализатором.

## **§2.9. Автоматическое регулирование и управление**

Системы автоматического регулирования и управления позволяют осуществлять производственный процесс без обслуживающего персонала.

*Автоматическое регулирование* обеспечивает поддержание в определенных пределах параметров, характеризующих работоспособность холодильной установки.

В холодильной установке с одной испарительной системой достаточно регулировать температуру и влажность воздуха в охлаждаемой камере и перегрев пара, всасываемого в компрессор.

*Регулирование перегрева пара*, выходящего из испарителя, обеспечивает эффективность передачи теплоты в испарителе и безопасность работы компрессора. Автоматическое регулирование перегрева пара осуществляется путем плавного изменения подачи холодильного агента в испаритель с помощью ТРВ терморегулирующего вентиля (рис.2.19).

ТРВ устанавливаются на трубопроводе, по которому жидкий холодильный агент поступает в испаритель. Чувствительный элемент (датчик) ТРВ размещают на трубопроводе, по которому отводится пар из испарителя. Если испаритель заполнен жидким холодильным агентом, то из него выходит насыщенный пар, температура которого равна температуре кипения. Регулирующий орган ТРВ закрывается. Если из испарителя выходит пар, перегрев которого превышает установку ТРВ, то регулирующий орган ТРВ

должен быть открыт настолько, чтобы площадь его проходного сечения соответствовала допустимой величине перегрева.

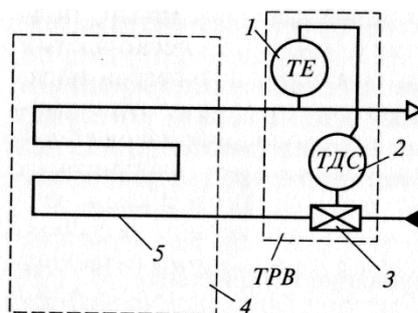


Рис. 2.19. Схема регулирования перегрева пара с помощью ТРВ:

1 - датчик; 2 - термодинамическая система; 3 - регулирующий орган;  
4 - камера; 5 - испаритель

**Регулирование температуры охлаждаемого объекта** осуществляют путем изменения производительности холодильной установки, в первую очередь испарителя и компрессора. При наличии одного объекта изменяют холодопроизводительность компрессора. В простейшем случае регулирование осуществляют ступенчато путем пуска и остановки поршневых компрессоров. В поршневых компрессорах последних модификаций имеется устройство для ступенчатого изменения производительности посредством отключения цилиндров.

Производительность поршневых компрессоров можно регулировать плавным изменением частоты вращения вала компрессора, дросселированием всасываемого в компрессор пара, перепуском пара со стороны нагнетания на линию всасывания, перепуском пара из цилиндра в полость всасывания. Производительность винтовых компрессоров можно изменять практически плавно.

Специальный золотник, встроенный в компрессор, при перемещении уменьшает или увеличивает зону сжатия холодильного агента винтами и тем самым изменяет зависящую от зоны производительность. На рис. 2.7

приведены схемы регулирования температуры воздуха в камере с помощью реле температуры и давления.

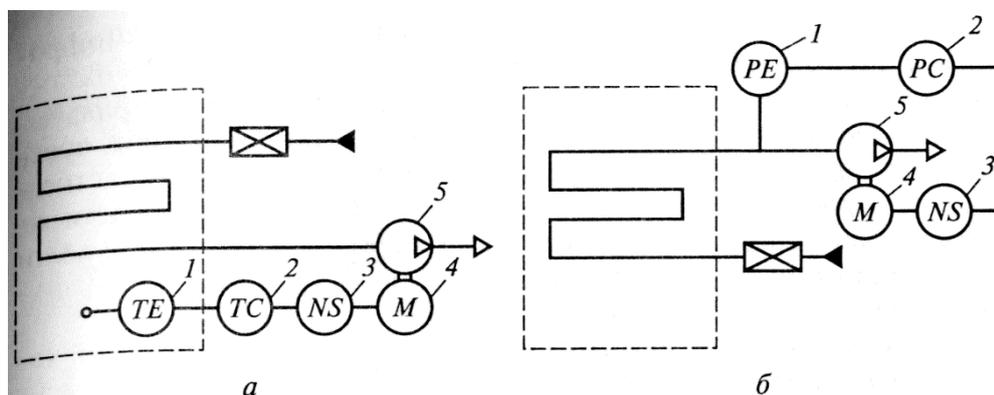


Рис. 2.20. Схема регулирования температуры воздуха в камере с помощью реле температуры (а) и давления (б):

1 -датчик; 2 -реле; 3 -магнитный пускатель; 4 -электродвигатель;  
5 -компрессор

Датчик 1 реле температуры 2 (см. рис. 2.20, а) ощущает изменение температуры воздуха, датчик 1 реле давления 2 (рис. 2.20, б) воспринимает давление кипения, и реле заданной установки дает команду магнитному пускателю 3 в зависимости от ситуации на пуск или остановку электродвигателя 4 компрессора 5.

Реле давления обеспечивает меньшую точность регулирования и применяется в некоторых типах торгового холодильного оборудования, когда продукты хранят непродолжительное время и не требуется высокой точности поддержания температуры.

Циклической работе компрессора соответствует периодическое изменение температуры кипения, конденсации холодильного агента и воздуха в помещении.

В установках с несколькими охлаждаемыми объектами, подключенными к испарительной системе с одним или несколькими

компрессорами, температура воздуха в камере и перегрев пара, выходящего из испарителя, регулируются с помощью реле температуры или реле давления, изменяющих холодопроизводительность испарителя. По мере уменьшения теплопритока в охлаждаемых объектах будут выключаться реле температуры и возникает необходимость изменять производительность компрессоров. На небольших холодильных установках система автоматического управления выключает один из компрессоров или компрессор, если он один, и включает его при увеличении теплопритоков.

*Регулирование влажности воздуха* в камере возможно путем изменения влагопритока и влагоотвода. Влагоотвод осуществляется вследствие конденсации водяного пара из воздуха на поверхности испарителя. При уменьшении влажности воздуха, что устанавливается специальными приборами, увеличивается влагоприток путем подачи влажного воздуха, водяного пара или воды в распыленном состоянии.

*Автоматическое управление* обеспечивает выполнение ряда запрограммированных операций по сигналу. Например, при пуске поршневого компрессора автоматически отжимаются пластины всасывающих клапанов, открываются соленоидные вентили на трубопроводах подачи воды для охлаждения компрессора и холодильного агента в испарителе.

## **§2.10. Агрегаты холодильных машин и установок**

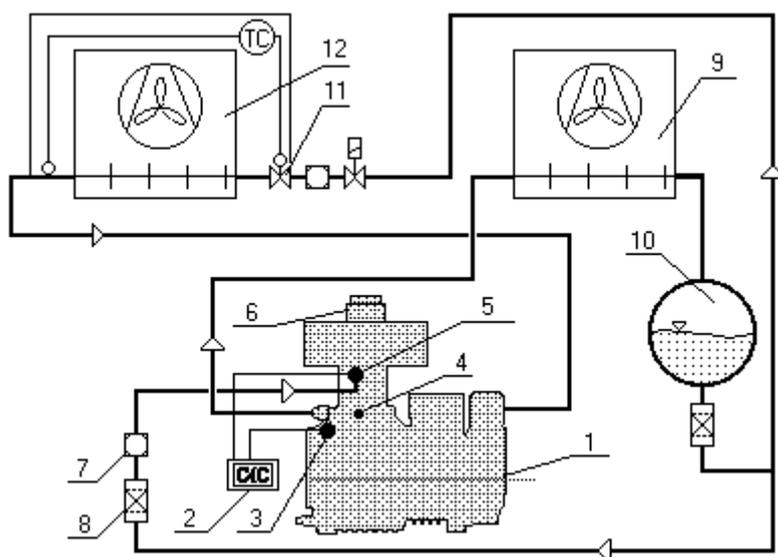
**Агрегатом** называют конструктивное объединение нескольких или всех элементов холодильной машины. Агрегаты подразделяются:

- на компрессорные (тип К) компрессор объединяется с электродвигателем, электропусковой аппаратурой и приборами автоматики;
- компрессорно-конденсаторные (тип АК) компрессор, конденсатор, электродвигатель и приборы автоматики смонтированы на одной станине;
- аппаратные:

- испарительно-регулирующие (тип АИР) испаритель, ресивер, регулирующая станция и приборы автоматики;
- испарительно-конденсаторные (тип АИК) испаритель, конденсатор, регулирующая станция с приборами автоматики;
- комплексные объединяющие все элементы машины компрессор, конденсатор, испаритель и весь комплекс автоматических регулирующих приборов, и электропривод.

Холодильные машины могут компоноваться из отдельных агрегатов, например компрессорно-конденсаторного (АК) и испарительно-регулирующего (АИР).

Агрегаты одноступенчатого сжатия комплектуются поршневыми компрессорами. На рисунке 2.21 представлена схема цикла одноступенчатого поршневого компрессора с СИС-системой.



*Рис. 2.21. Схема цикла одноступенчатого поршневого компрессора с СИС-системой.*

- 1-Компрессор.
- 2-Модуль управления.
- 3-Температурный сенсор.
- 4 -Сопло впрыска.
- 5 -Импульсный клапан впрыска.

- 6 -Добавочный вентилятор.
- 7 -Смотровое стекло.
- 8 -Фильтр.
- 9 -Конденсатор.
- 10- Жидкостной ресивер.
- 11 -Вентиль расширительный (испаритель).
- 12 -Испаритель.

Агрегаты двухступенчатого сжатия следует применять при температуре кипения холодильного агента  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже, когда отношение давлений  $P_k/P_0 \geq 9$ .

На рис. 2.22 показана расстановка средств автоматизации в схеме аммиачной двухступенчатой холодильной машины.

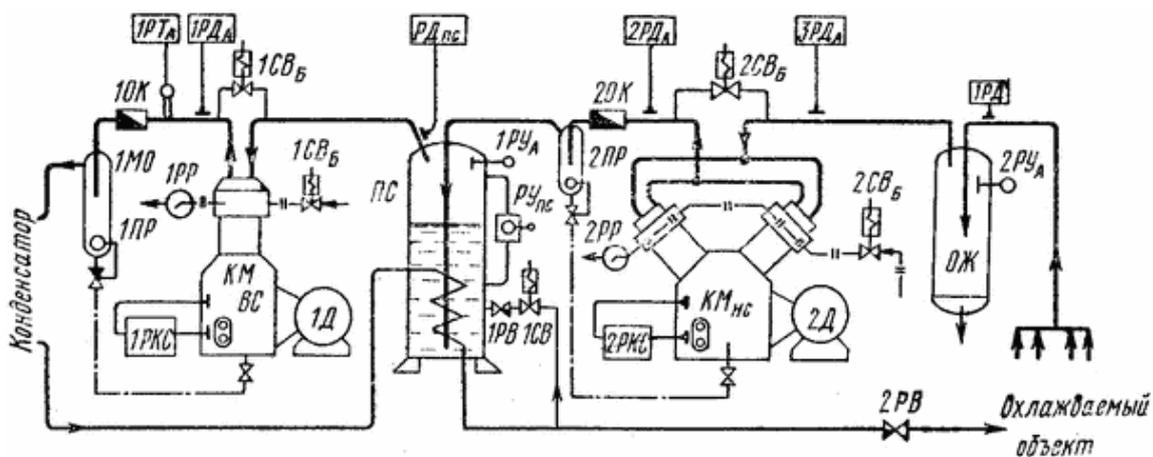


Рис.2.22. Принципиальная схема аммиачной двухступенчатой холодильной машины с элементами автоматизации:

МО - маслоотделитель, ОК - обратный клапан, РТ - реле температуры, РД - реле давления, СВ - соленоидный вентиль, ПС - промежуточный сосуд, РУ - регулятор уровня, ОЖ - отделитель жидкости, КМ<sub>НС</sub> и КМ<sub>ВС</sub> - компрессоры низкой и высокой ступени, РР - реле расхода, РКС - реле контроля смазки, РВ - регулирующий вентиль, Д - двигатель, ПР - поплавковый регулятор

Объектами регулирования в таких машинах являются: заполнение испарителей и ресиверов; температура испарения; температура конденсации, проток воды; давление масла; уровень в промсосуде.

Двухступенчатое сжатие может осуществляться следующими способами:

- Одним компрессором, часть цилиндров которого работает как ступень низкого давления, а остальные как ступень высокого давления;
- Агрегатами двухступенчатого сжатия, скомпонованными как из компрессора низкого давления, так и из компрессора высокого давления.

В качестве ступени низкого давления в двухступенчатых агрегатах используют ротационные или винтовые компрессорные агрегаты, высокого поршневые компрессорные агрегаты. В комплект поставки агрегата входит также промежуточный сосуд с щитом приборов.

## **§2.11. Классификация и маркировка компрессоров**

В паровых компрессорных холодильных машинах используют поршневые, спиральные, ротационные и винтовые компрессоры. В настоящее время наиболее широкое распространение имеет поршневой компрессор. Компрессором ближайшего будущего в холодильных машинах средней и большой производительности считают винтовой компрессор. Малые компрессоры всё чаще выполняют спиральными и ротационными.

Поршневые компрессоры классифицируются следующим образом:

- По холодопроизводительности: малые, средние и крупные;
- По ступеням сжатия: одно-, двух- и трехступенчатые;
- По направлению движения пара в цилиндре компрессора: прямоточные и не прямоточные;
- По числу цилиндров в компрессоре: одно- и многоцилиндровые;

- По расположению осей цилиндров: горизонтальные, вертикальные и угловые (V-образные, W-образные, радиальные);
- По числу рабочих полостей: простого и двойного действия;
- По степени герметичности: герметичные, бессальниковые со встроенным электродвигателем; с внешним приводом и сальниковым уплотнением вала;
- По типу привода: с электродвигателем, насаженным на вал компрессора, и с клиноременной передачей.

В зависимости от конструктивных особенностей выполнения кривошипно-шатунного механизма различают крейцкопфные и бескрейцкопфные компрессоры, а в зависимости от конструкции деталей компрессора – блок-картерные и с отдельным исполнением блока цилиндров и картера.

Перечисленные признаки классификации поршневых компрессоров нашли отражение в маркировке компрессоров. Обычно маркировка компрессора включает ряд букв и цифр, каждая из которых имеет свой смысл. Так, буква П обозначает слово поршневой, Р – ротационный, Вх– винтовой компрессор, Б, Бс – бессальниковый, Г – герметичный (в старой системе маркировки – горизонтальный), В – вертикальный, У, V– образный, УУ, W– образный, О – опозитный, Д – двухступенчатый. Число, следующее за буквами, указывает стандартную холодопроизводительность компрессора.

#### **Рассмотрим ряд примеров:**

П60 – поршневой, производительностью 60 кВт;

ФУ25 – фреоновый, V-образный, 25 кВт;

ФВБс – фреоновый, вертикальный, бессальниковый на 6 кВт.

Современные компрессоры, как правило, поставляются заводами-изготовителями в виде компрессорных агрегатов, включающих, помимо компрессора, электропривод, пусковую, защитную аппаратуру и автоматику.

Такие агрегаты маркируют буквой А, затем следует холодопроизводительность компрессора, затем через тире ставят цифру, указывающую на каком холодильном агенте работает компрессор, и в конце (также через тире) идет еще одна цифра, указывающая на температурное исполнение компрессора (0,1 – высокотемпературный компрессор; 2, 3 – среднетемпературный; 4, 5 – низкотемпературное исполнение). Хладон R12 маркируют цифрой 1, R22-2, R13-3, R717 – цифрой 7 и т.д.

### **Примеры маркировки компрессорных агрегатов:**

А 110-2-2 – компрессорный агрегат на 110 кВт, R22, среднетемпературного исполнения;

АД 130-7-4 – двухступенчатый компрессорный агрегат на 130 кВт, R717, низкотемпературный.

Винтовые компрессоры маркируются аналогично:

Вх240-2-0 – винтовой, 240 кВт, R22, высокотемпературный вариант.

### **§2.12. Объемные и энергетические потери в компрессоре**

Работа любого компрессора характеризуется его действительной объемной подачей  $V_d$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), т.е. тем объемом пара холодильного агента, который был сжат компрессором в течение одной секунды. На это, естественно, затрачивается работа, подводимая от привода компрессора (обычно от электродвигателя).

Процессы, протекающие в поршневом компрессоре, удобно рассматривать с помощью индикаторной диаграммы. Индикаторная диаграмма показывает величину давления пара в цилиндре при любом положении поршня. Вначале рассмотрим индикаторную диаграмму идеального компрессора (компрессор, у которого отсутствует мертвое пространство, и отсутствует трение между деталями).

Всасывание 4-1 (рис. 2.23) в цилиндр такого компрессора происходит при постоянном давлении  $P_0$ , равном давлению в испарителе холодильной машины. При достижении поршнем крайнего правого положения (НМТ – нижняя мертвая точка) закрывается всасывающий клапан цилиндра и, по мере движения поршня в сторону ВМТ происходит **адиабатическое сжатие** пара (1, 2). Он сжимается до давления  $P_k$ , равного давлению в конденсаторе. При достижении внутри цилиндра давления  $P_k$  (точка 2) открывается нагнетательный клапан, через который пары холодильного агента при дальнейшем продвижении поршня влево полностью вытесняются из цилиндра (линия 2-3).

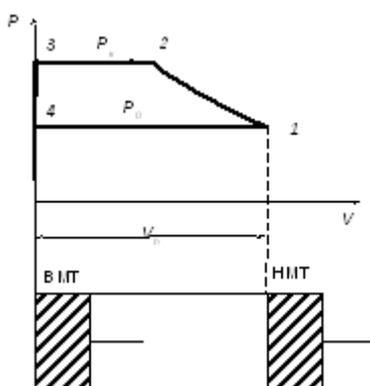


Рис. 2.23. Индикаторная диаграмма идеального поршневого компрессора

Этот процесс протекает при постоянном давлении  $P_k$  и называется **нагнетанием**. Поскольку в положении ВМТ в цилиндре нет пара, то при начале движения поршня в сторону НМТ, давление в цилиндре мгновенно падает до величины  $P_0$  и цикл повторяется.

Объемная подача компрессора  $V_0$  в идеальном компрессоре будет равна теоретическому объему  $V_h$ , описываемому поршнями компрессора за одну секунду:

$$V_0 = V_h = \frac{\pi d^2}{4} \cdot S \cdot k \cdot n \quad \text{м}^3/\text{с} \quad (2.11)$$

где  $d$  – диаметр поршня, м;

$S$  – ход поршня, м;

$k$  – число цилиндров в компрессоре;

$n$  – число оборотов коленчатого вала, 1/с.

Действительная (эффективная) мощность привода  $N_e$  идеального компрессора будет равна теоретически необходимой мощности  $N_m$  (поскольку отсутствуют потери):

$$N_e = N_m = G_a \cdot l_m$$

где  $G_a$  – массовый расход пара в компрессоре, кг/с;

$l_m$  – теоретическая работа сжатия, кДж/кг.

Считая процесс сжатия адиабатическим, можно записать:

$$l_m = P_0 \cdot V_0 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left( \left| \frac{P_k^{\frac{1}{k}}}{P_0} \right| - 1 \right)$$

где  $P_0, v_0$  – параметры пара при входе в цилиндр;

$k$  – показатель адиабаты в теоретическом процессе сжатия.

При наличии диаграммы состояния холодильного агента  $l_m$  можно определить с учетом реальных свойств пара:

$$l_m = i_2 - i_1.$$

Где  $i_2$  и  $i_1$  – значения энтальпии пара холодильного агента в момент выхода и входа в цилиндр, соответственно.

### §2.13. Холодопроизводительность компрессора

При работе холодильной машины в ее испарителе происходит кипение жидкого агента. Производительность компрессора при этом должна быть такой, чтобы обеспечивать удаление пара из испарителя с той же интенсивностью, с которой он образуется в результате кипения холодильного агента. Если он кипит быстрее, чем компрессор может отводить пар, то

избыточное количество пара накапливается в испарителе, давление увеличивается и в результате повышается температура кипения. Если производительность компрессора такова, что пар отводится из испарителя слишком быстро, то давление в испарителе будет падать, вследствие чего будет снижаться температура кипения (последний случай имеет место в испарителе бытового холодильника, из-за чего он периодически и отключается).

Холодопроизводительность компрессора – понятие условное и определяется массой всасываемого пара  $G_a$  в единицу времени и удельной массовой холодопроизводительностью  $q_0$ :

$$Q_0 = G_a \cdot q_0$$

Имея в виду, что  $G_a = \frac{V_\partial}{v_1}$ ,  $V_\partial = \lambda \cdot V_h$ , получим окончательно:

$$Q_0 = \lambda \cdot V_h \cdot \frac{q_0}{v_1} = \lambda \cdot V_h \cdot q_v, \quad (2.12)$$

где  $v_1$  – удельный объем пара при всасывании в компрессор, м<sup>3</sup>/кг;

$q_v = q_0 / v_1$  – удельная объемная холодопроизводительность, кДж/м<sup>3</sup>;

$V_\partial$  – действительный объем пара, прошедший через компрессор в единицу времени, м<sup>3</sup>/с.

Следовательно, холодопроизводительность компрессора равна произведению трех сомножителей, из которых только один –  $V_h$  зависит от размеров компрессора (см., например, формулу (2.11)), а остальные два – зависят от режима его работы.

## §2.14. Автоматизация холодильных установок

Рассмотрим автоматизацию отдельных элементов холодильных установок и холодильной станции в целом. Защита компрессора от повышенного давления на нагнетании и пониженного на всасывании осуществляется с помощью реле давления (рис. 2.24, *a*). Работу системы контролирует реле контроля смазки. Компрессоры большой холодопроизводительности охлаждаются водой. Для защиты их от перегрева в случае прекращения подачи охлаждающей воды устанавливают реле расхода. При отклонении какого-либо из параметров срабатывает соответствующее реле защиты и компрессор останавливается. При остановке электродвигателя компрессора закрывается заблокированный с ним соленоидный вентиль трубопровода охлаждающей воды

Защита испарителя холодильной установки (рис.2.24, *б*) предусматривается во избежание замерзания воды в трубах испарителя. На трубопроводе выходящей из испарителя воды установлен датчик позиционного терморегулятора, настроенного на 1-3 °С. При температуре воды ниже установленной размыкаются контакты регулятора и останавливается электродвигатель компрессора. Если внезапно прекратился приток воды через испаритель, регулятор вследствие инертности системы может не сработать даже при замораживании испарителя. Во избежание этого устанавливают реле расхода, которое при уменьшении протока воды до критического значения срабатывает и останавливает электродвигатель компрессора.

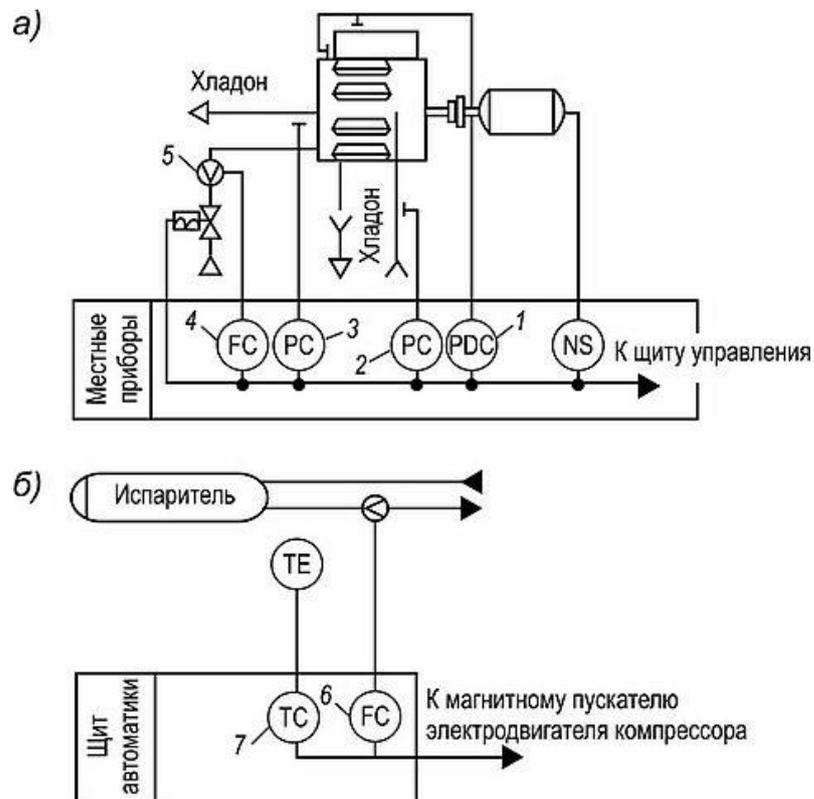


Рис. 2.24. Функциональная схема автоматической защиты компрессора (а) и испарителя холодильной установки (б):

1 - реле контроля смазки; 2, 3 - реле низкого и высокого давления;  
 4 - регулятор расхода; 5 - соленоидный вентиль; 6 - реле расхода; 7 - терморегулятор

## 2.9. Примеры холодильных установок

Некоторые схемы и описания холодильных установок различного назначения, а также их фотографии показаны на рис. 2.25-2.28.

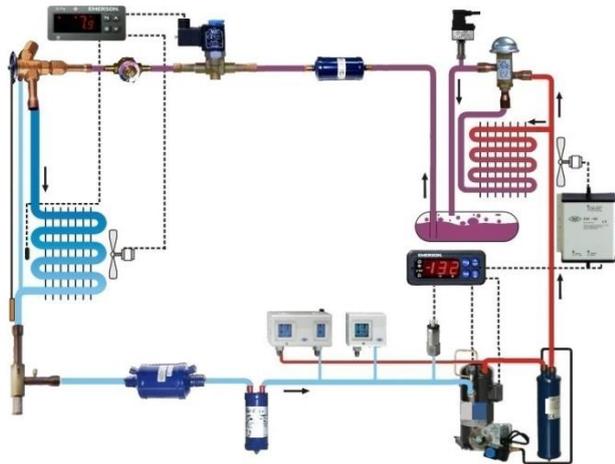


Рис.2.25. Принципиальная схема холодильной установки

Блок конденсатора в прочном и хорошо защищенном аэродинамическом кожухе.

Испаритель отлично продувает и охлаждает внутреннее пространство, позволяя максимально использовать внутренний объем кузова.

Блок управления (микропроцессор) MICROSTAT, небольшой и простой в управлении, позволяет следить, вести управление и изменять температуру перевозимых продуктов.

Новый компрессор EUROFRIGO, защищенный от агрессивной среды, с сепаратором масла и системой охлаждения, намного долговечнее аналогов компрессоров.

Трубопровод с внутренней нейлоновой пленкой NYLON, соединительные хомуты O-RING обеспечивают максимальную безопасность от утечек, сохраняя озоновый слой.

Новая система оттаивания позволяет испарителю дефростироваться в кратчайший срок, минимизируя паузы в охлаждении, тот же принцип работает в режиме подогрева во время перевозок при низких температурах.

Рис.2.26. Особенности работы холодильной установки в автомобиле



*Рис.2.27. Внешний вид некоторых холодильных установок*

Например, холодильные установки компрессорно-конденсаторные (тип АКК) или компрессорно-рессиверные (тип АКР), показанные на рис. 2.14, предназначены для работы с поддержанием температуры от +15 °С до -40 °С в камерах объёмом от 12 до 2500 м<sup>3</sup>.



*Рис.2.28. Некоторые холодильные установки типов АКК и АКР*

В состав холодильной установки входят: 1 - компрессорно-конденсаторный или компрессорно-ресиверный агрегат; 2 - воздухоохладитель; 3 - терморегулирующий вентиль (ТРВ); 4 - соленоидный вентиль; 5 - щит управления.

### **Контрольные вопросы:**

1. В чём отличие основных элементов холодильной машины от элементов вспомогательного оборудования?

2. Перечислите известные Вам элементы вспомогательного оборудования аммиачной и фреоновой холодильных машин.

3. В каких холодильных машинах устанавливают маслоотделители, а в каких нет?

4. Назовите назначение и место в схеме известных Вам ресиверов.

5. Назначение, место в схеме и устройство РТО.

6. Для чего нужна автоматизация холодильных установок.

7. Что такое частичная автоматизация.

8. Что такое полная автоматизация.

9. Что такое комплексная автоматизация.

10. Перечислите виды защиты компрессоров

11. Опишите системы автоматического регулирования и управления

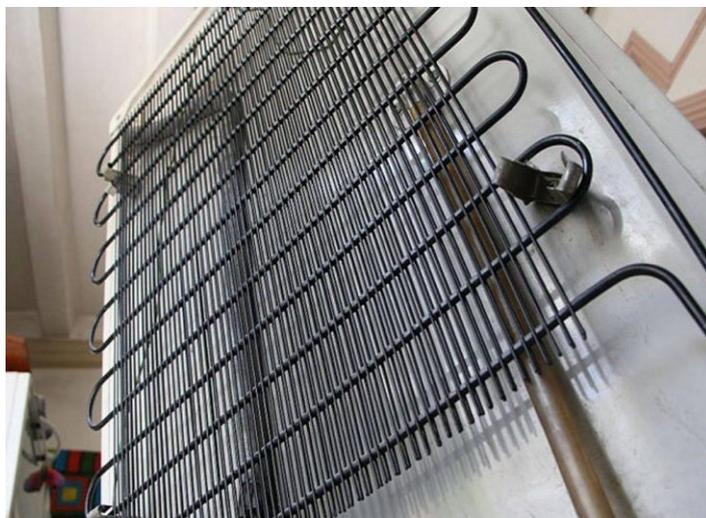
12. Что понимают под агрегаты холодильных машин и установок

## **§2.15. Вспомогательное оборудование применяемые при холодильной обработке и хранении**

### **§2.15.1. Конденсаторы**

Эта деталь чаще всего выполняется в форме змеевика и располагается на задней стенке устройства снаружи. Конденсатор отвечает за превращение

фреона из газа в жидкость. Хладагент поступает в трубку, остывает до комнатной температуры и продвигается к капилляру. Излишки тепла при этом выводятся при помощи конвекции.



*Рис. 2.29. Общий вид воздушного конденсатора*

Различают следующие типы конденсаторов: кожухотрубные горизонтальные, кожухотрубные вертикальные, кожухозмеевиковые, испарительные и воздушные.

**Кожухотрубные горизонтальные конденсаторы** используют в аммиачных и хладоновых холодильных установках пищевых предприятий. Они имеют цилиндрический стальной кожух, в котором прямые трубы (стальные или медные) расположены горизонтально, концы их развальцованы в трубных решетках. Охлаждающая вода под напором проходит по этим трубам. На конденсаторе устанавливают предохранительный клапан, указатель уровня холодильного агента, вентиль для выпуска воздуха из межтрубного пространства. Пары хладагента конденсируются в межтрубном пространстве на наружной поверхности труб. Такие конденсаторы обычно работают в комплекте с водоохлаждающими устройствами.

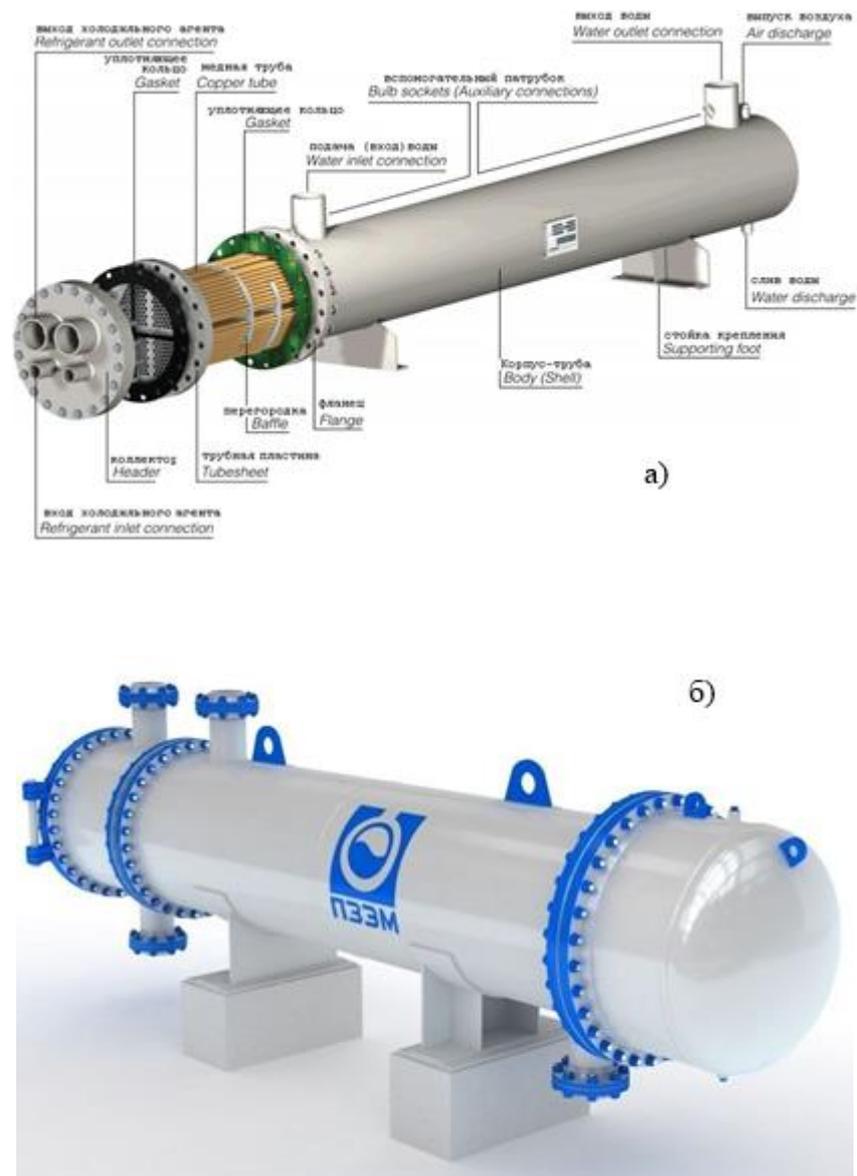


Рис. 2.30. Кожухотрубные горизонтальные конденсаторы  
 а) Вид конденсатора в разрезе; б) Общий вид конденсатора

**Кожухотрубные вертикальные конденсаторы** используют в крупных аммиачных холодильных установках. Главный их недостаток сложность равномерного распределения воды по трубам.

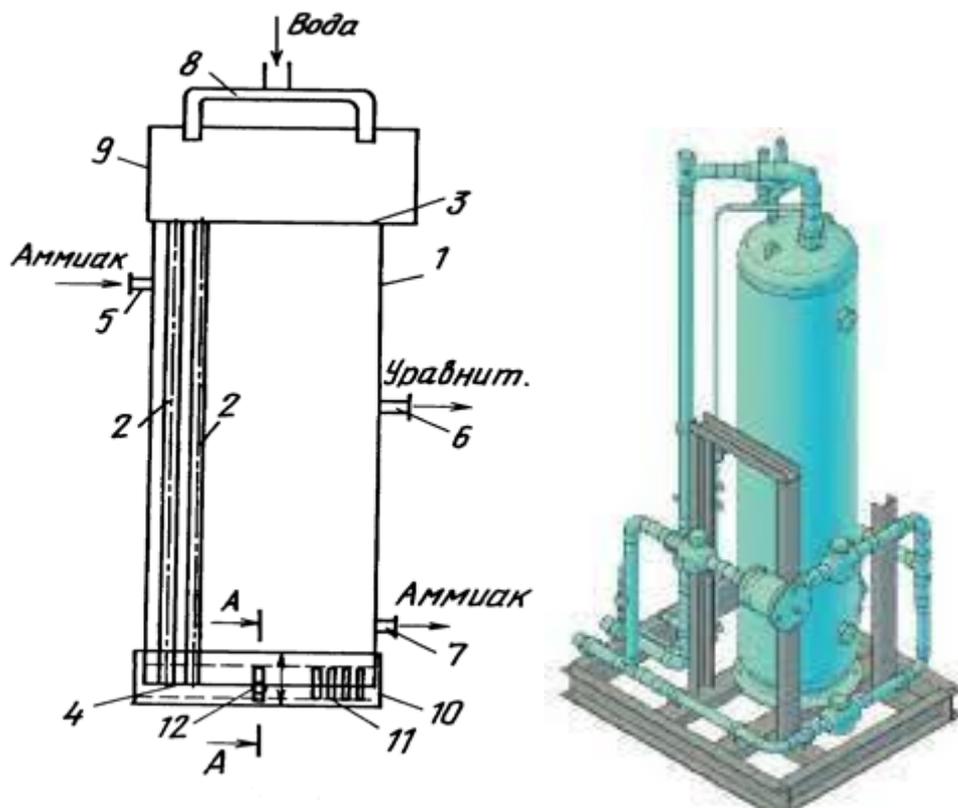


Рис. 2.31. Кожухотрубный вертикальный конденсатор

Конденсатор содержит вертикальный цилиндрический корпус 1 с трубами 2, развальцованными в приваренных к торцам корпуса решетках 3, 4 с патрубками подвода 5 и отвода 7 хладагента, а также патрубков 6 уравнильной линии и коллектор подачи воды 8. В верхней части конденсатора размещен водораспределительный бак 9. Корпус 1 с нижнего торца снабжен цилиндрическим полым днищем 10 с перфорированной боковой поверхностью, образованной отверстиями 11 прямоугольной формы. Вертикальное перемещение днища 10 происходит по пазам отверстий 11, а его крепление осуществляется четырьмя болтами 12 с шайбами 13, ввернутыми в гайки 14, приваренные гранями к торцу корпуса 1, не выступая за его образующую.

**Кожухозмеевиковые конденсаторы** отличаются от кожухотрубных горизонтальных отсутствием второй трубной решетки, кожух конденсатора выполнен в виде горизонтально расположенного стакана, внутри которого водяные трубки соединены попарно.

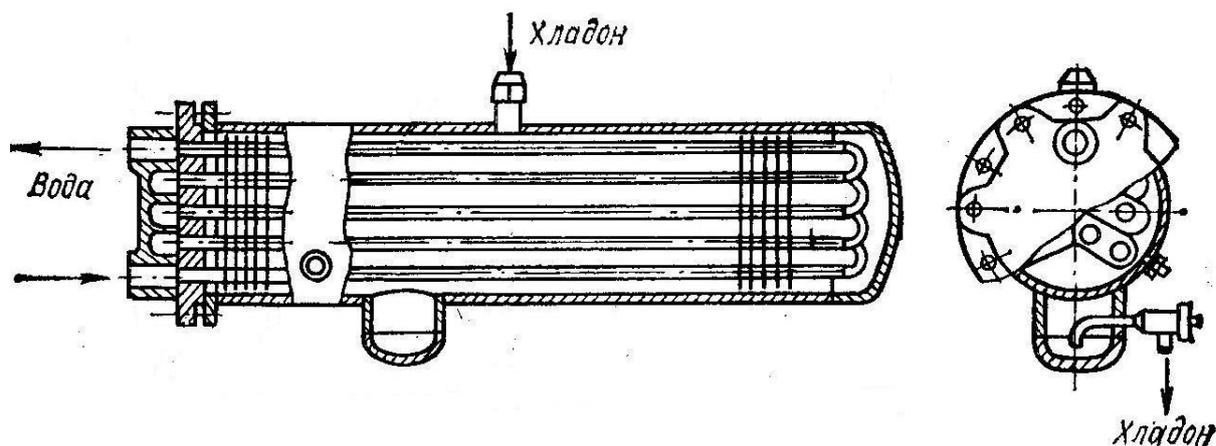


Рис.2.32. Кожухозмеевиковый горизонтальный конденсатор в разрезе

По конструкции и принципу действия кожухозмеевиковый конденсатор аналогичен кожухотрубному горизонтальному конденсатору. Отличительной особенностью является то, что в них используются U-образные трубы. При этом конденсатор имеет одну крышку или выполняется без крышки. Вместо крышки к корпусу приваривается дно.

Преимущества кожухозмеевикового конденсатора по сравнению с кожухотрубным горизонтальным конденсатором:

1. Простота изготовления.
2. Меньшее количество прокладочного и крепежного материала.

Недостатки кожухозмеевикового конденсатора по сравнению с кожухотрубным горизонтальным конденсатором:

1. Сложность или невозможность очистки внутренней поверхности труб механическим способом.

**Испарительные конденсаторы** применяют на пищевых предприятиях. В них теплота от холодильного агента передается через стенку трубы воде, стекающей тонкой пленкой по наружной поверхности труб, и далее воздуху посредством испарения части воды.

Конденсатор представляет собой закрытый корпус. Под конденсатором располагается водяной бак, куда вода сливается самотеком. Из водяного бака

циркулирующая вода снова нагнетается насосом в водяной коллектор (оросительную систему). Сверху вентилятором подается поток воздуха, который усиливает испарение воды и служит приемником теплоты водяного пара. Использование этого типа конденсаторов эффективно в районах с сухим и жарким климатом.

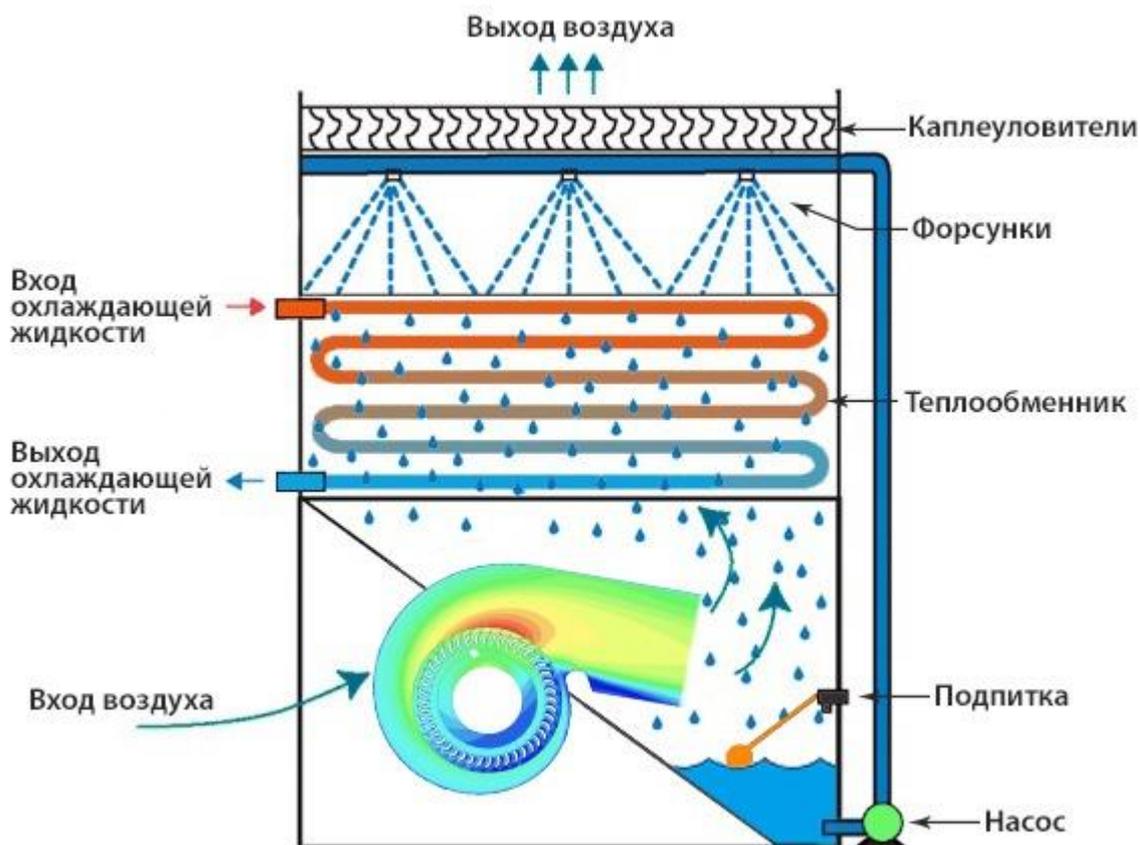


Рис. 2.33. Схема испарителя-конденсатора

**Испарительные конденсаторы** работают схожим образом с градирнями закрытого типа. Разница заключается в том, что внутри теплообменника охлаждается не жидкость, а холодильный агент, превращаясь из пара в жидкость, с фазовым переходом, а вода контура орошения подаётся на теплообменник снаружи для повышения теплосъёма. Таким образом, в испарительном конденсаторе существует два контура.

- **Контур орошения** – это вода, которая контактирует с внешней средой и охлаждает теплообменник.

- **Внутренний контур** – это холодильный агент, который циркулирует по теплообменнику.

С помощью насосов вода контура орошения подается в систему водораспределения и распыляется форсунками на змеевик теплообменника. Испаряясь на поверхности труб, орошающая вода охлаждает теплообменник и превращает пар холодильного агента в жидкость внутри него. С помощью системы подпитки часть испаренной воды постоянно восполняется.

*Воздушные конденсаторы* широко используют в агрегатах, обслуживающих торговое оборудование, бытовых холодильниках, изотермическом транспорте. Применение их позволяет уменьшить расход воды, сократить затраты на сооружение устройств для охлаждения оборотной воды.

Воздушные конденсаторы представляют собой систему трубчатых змеевиков, расположенных в металлическом корпусе. Холодильный агент проходит внутри змеевиков, с наружных ребренных поверхностей которых осуществляется съём теплоты естественной или принудительной конвекцией движения воздуха. Ребра труб змеевиков пластинчатые, но иногда для устранения контактного сопротивления теплопередачи между трубой и ребрами эти конденсаторы изготавливают с литыми ребрами.

### **§2.15.2. Испарители**

Деталь имеет форму трубки и может располагаться как в самой камере, так и внутри стенки корпуса. При прохождении по испарителю фреон переходит в газообразную форму и поглощает тепло, выделяя при этом холод. В результате камера, как и находящаяся в ней продукция, охлаждается.



*Рис. 2.34. Общий вид испарителя*



*Рис. 2.35. Общий вид испарителя*

Испарители теплообменные аппараты, предназначенные для охлаждения промежуточного хладоносителя путем теплообмена с кипящим холодильным агентом. По конструкции кожухотрубный и кожухозмеевиковый испарители подобны горизонтальному кожухотрубному

и кожухозмеевиковому конденсаторам. Хладоноситель циркулирует в трубах, а в межтрубном пространстве испарителя кипит холодильный агент.

Испарители изготавливают с закрытой и открытой циркуляцией охлаждаемой жидкости. Испарители с закрытой циркуляцией выполняются кожухотрубными. Охлаждаемая жидкость протекает в них под напором, который создает насос. В испарителях с открытой циркуляцией трубы, по которым протекает кипящий холодильный агент, погружаются в охлаждаемую жидкость, наливаемую в баки.

Испарители с открытой циркуляцией -панельные. В них жидкость перемешивается мешалкой. Панельный испаритель выполнен в виде прямоугольного бака, в который помещаются испарительные секции панельного типа.

Панельные испарители поставляются в комплекте с отделителями жидкости. При применении в качестве хладоносителя ледяной воды панельные испарители можно использовать как испарители-аккумуляторы для сглаживания неравномерности тепловой нагрузки на молочных предприятиях.

### **§2.15.3. Охлаждающие приборы**

Охлаждающие приборы (батареи) подразделяют на приборы непосредственного кипения и с промежуточным хладоносителем (рассольные). Наружная поверхность труб может быть гладкой или оребренной.

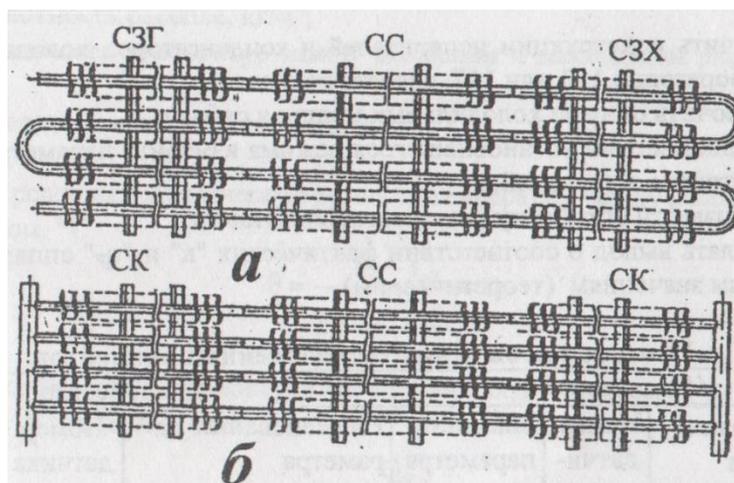


Рис.2.36. Охлаждающие батареи

К испарителям этого типа относят батареи и воздухоохладители непосредственного охлаждения. В этих аппаратах воздух охлаждается в результате его контакта с холодной поверхностью трубок, внутри которых кипит хладагент. Охлаждение воздуха в охлаждаемом помещении батареями непосредственного охлаждения происходит при естественной циркуляции воздуха.

Такой теплообмен при свободном движении воздуха у поверхности батареи называется **тихим охлаждением**. Батареи размещают в охлаждаемом помещении на потолке (потолочные) или в верхней части стен (пристенные батареи). Выполняют их из гладких или чаще всего оребренных труб. По конструкции батареи можно разделить на змеевиковые "а" и коллекторные "б" (рис. 2.36).

Распространены воздухоохладители из оребренных труб или пластин с каналами, которых кипит хладагент или циркулирует хладоноситель. Воздух продувается с помощью вентилятора. Разность температур воздуха и поверхности охлаждения может достигать 12°C.

Воздухоохладители бывают постаментные и подвесные, они компонуются из секций модулей. Подвесные воздухоохладители обозначаются: ВОП-50, ВОП-75, ВОП-100, ВОП-150, где ВО - воздухоохладитель, П - подвесной, цифры теплопередающая поверхность (в

м2). Производительность ВОП от 5,8 до 17,4 кВт. Для оттаивания в них предусмотрены электронагреватели -ТЭНы мощностью от 8,7 до 12 кВт.

Помимо ВОП выпускают воздухоохладители ВОГ-230, в которых воздух перемещается горизонтально осевым вентилятором. Батареи ВОГ-230 выполняют из тех же секций, что и ВОП. Оттаивание происходит с помощью горячих паров аммиака или электронагревателей мощностью 25 кВт.

**Подвесные воздухоохладители** применяют в холодильных камерах молокозаводов и на мясокомбинатах для охлаждения и замораживания пищевых продуктов.

Промышленные подвесные воздухоохладители - "кубики" используют в производстве пищевых продуктов, в больших холодильных и морозильных камерах, в камерах для хранения продуктов с особыми требованиями. Такие воздухоохладители отличаются широким модельным рядом для возможности оптимального подбора, могут быть оснащены различными опциями и иметь различные исполнения.



*Рис.2.37. Общий вид подвесного воздухоохладителя*

Для охлаждения камер длительного хранения мороженных грузов используют панельные батареи, представляющие собой стальные листы, к которым приваривают цельнотянутые трубы.

Хладоновые потолочные и пристенные батареи из ребренных красномедных труб применяют в небольших холодильных установках. В

бытовых холодильниках, ледогенераторах кубикового льда и некоторых видах торгового холодильного оборудования применяют листотрубные испарители. Их изготавливают электросваркой листов с выштампованными канавками или гидравлической раздачей канавок в плоских сваренных между собой листах.

#### **§2.15.4. Вспомогательное оборудование**

К вспомогательному оборудованию относятся отделители жидкости, маслоотделители, промежуточные сосуды, ресиверы и др. Они обеспечивают стабильность и безопасность работы холодильных установок.

*Отделители жидкости* предназначены для улавливания капель жидкости, которые содержатся в парожидкостной смеси холодильного агента, поступающего из испарителей.

Тем самым они защищают компрессор от опасного режима работы при попадании в цилиндр жидкости вместе с паром холодильного агента, обеспечивают сухой ход компрессора, приближая режим холодильной машины к расчетному. Капли жидкости осаждаются в этих аппаратах вследствие резкого уменьшения скорости и изменения направления движения потока парожидкостной смеси на 90, 180°.

Аммиачные отделители жидкости обозначают 125 ОЖГ, 150 ОЖГ, 200 ОЖГ, 250 ОЖМ, 300 ОЖМ (О - отделитель, ж - жидкость, г - условное обозначение, м - с обогревом зоны маслосбора, цифры перед буквами - диаметры входного и выходного паровых патрубков).

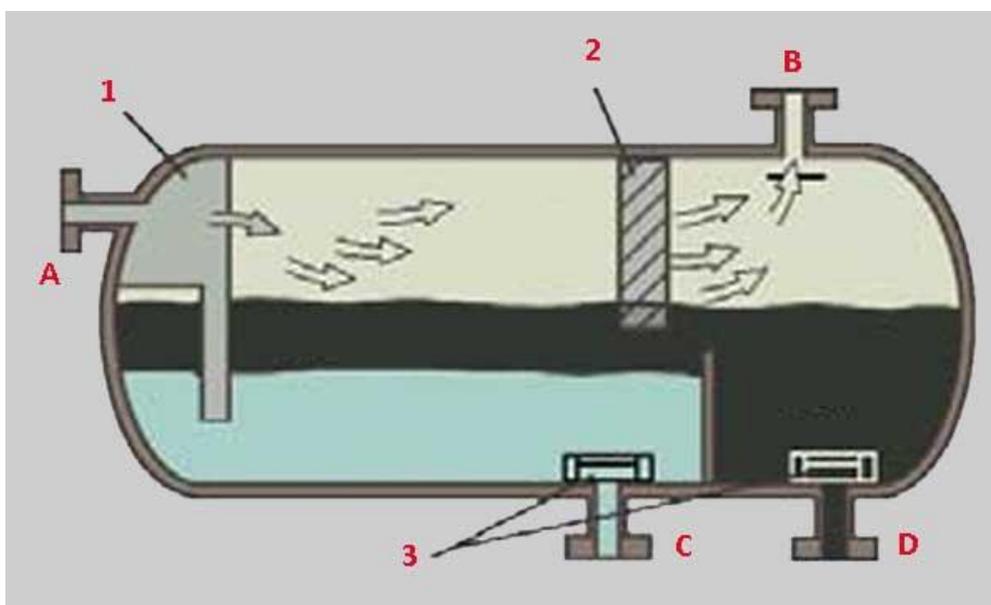
Отделители жидкости устанавливаются только на панельных испарителях и в некоторых системах охлаждения фруктохранилищ. При использовании охлаждающих систем с принудительной циркуляцией холодильного агента жидкость отделяется в циркуляционном ресивере.

*Маслоотделители* предназначены для отделения масла, уносимого холодильным агентом из компрессора. Масло увлекается агентом как в виде

капель, так и в парообразном состоянии. Уменьшение масляной пленки приводит к повышению эффективности теплообменных аппаратов. Маслоотделители подразделяются на промывные и инерционные.

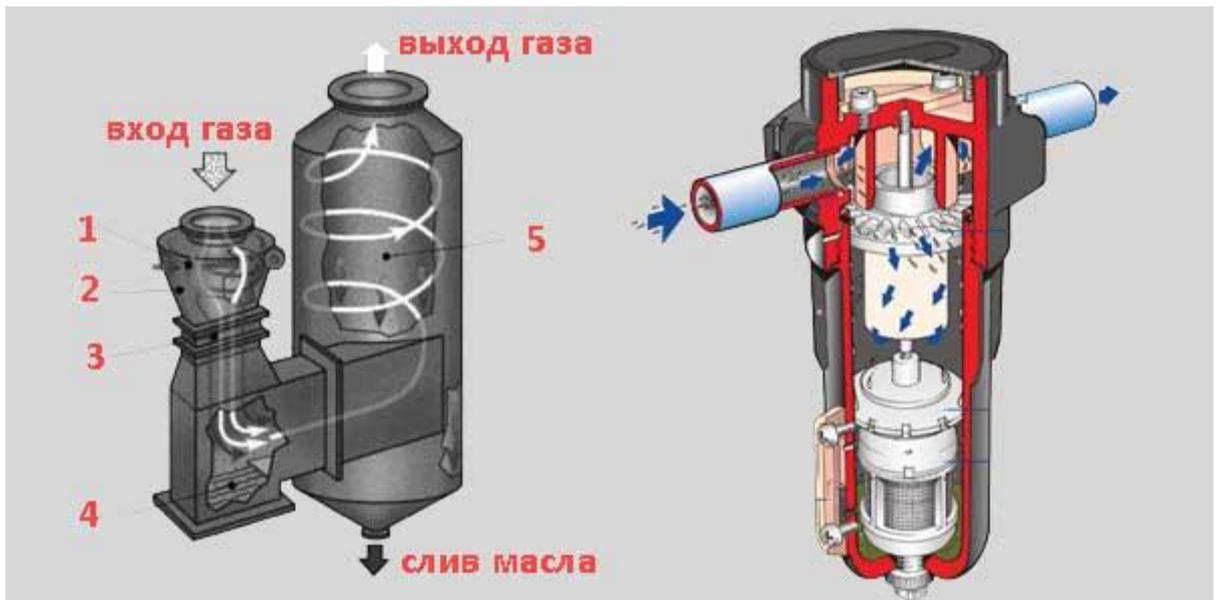
### МАСЛООТДЕЛИТЕЛИ БАРБОТАЖНЫЕ

Более тонкую очистку масла от воздуха или другой газовой среды обеспечивают компрессорам маслоотделители барботажного типа. Принцип их действия основан на продвижении сжатой газовой смеси сквозь жидкостной барьер. Эффективность очистки может достигать 80-90%.



*Рис. 2.38. Система с барботажным принципом работы: А - вход газа; В - выход газа; С - слив воды; D - слив масла; 1 - улавливатель масла; 2 - каплеуловитель (демистер); 3 - вихревой ограничитель*

## Циклонный маслоотделитель



*Рис. 2.39. Конструкция циклонного действия и принцип очистки для этого вида устройств: 1 - входной фильтр; 2 - венчурная стенка; 3 - горловина; 4 - маслоотбойник; 5 - циклонный сепаратор*

Этот вид системы отделения масла использует принцип центробежной вращательной силы. Устройство – сосуд, имеет внутри пластинчатый элемент спирального вида.

Когда смесь газа и масла, сжатая компрессором, поступает в циклонный маслоотделитель, образуется вихревой поток за счёт спиралевидных пластин - элементов устройства.

Под действием циклонного вихря масло, обладающее большим удельным весом относительно газа, отделяется и осаждается на стенке сосуда, а затем стекает в его нижнюю область.

Очищенный от масла газ выходит из маслоотделителя по верхнему патрубку. Эффективность очистки циклонными устройствами достигает 80%.

## Инерционный сепаратор

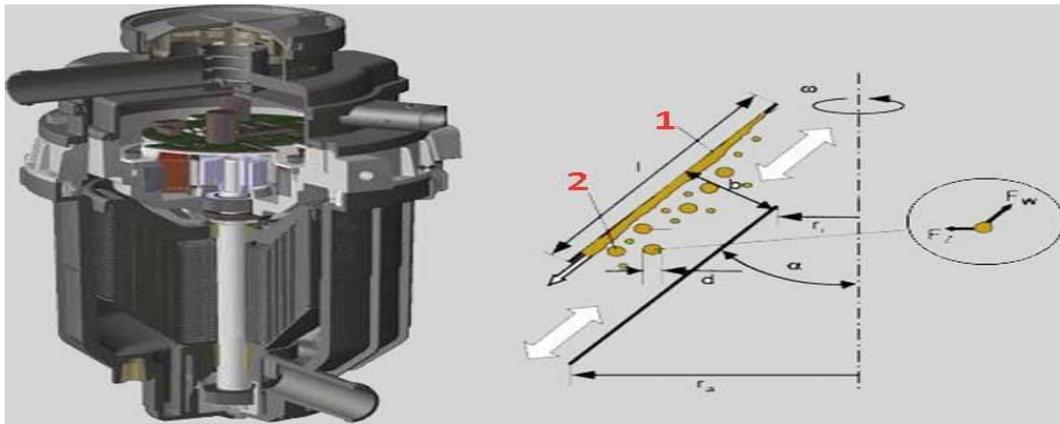


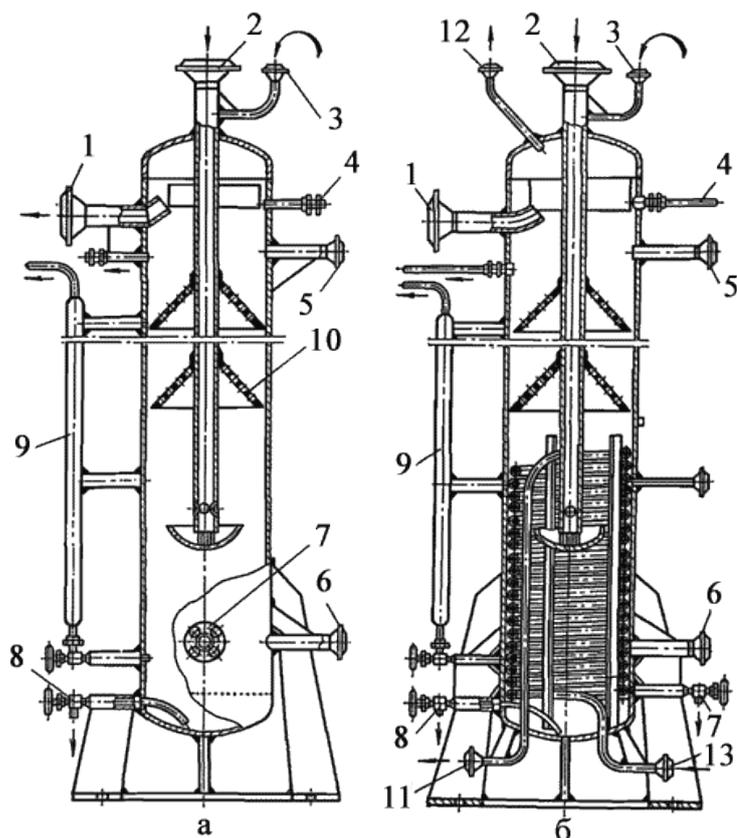
Рис.2.40. Инерционная система отделения (очистки) функционирует практически по тому же принципу что и циклонная. Используются наклонные поверхности сепаратора: 1 - стекающая плёнка; 2 - капли

В промывных маслоотделителях пар проходит через слой жидкого холодильного агента. При этом он охлаждается в результате испарения части жидкости и освобождается от масла на 85 -90 %.

В инерционных маслоотделителях происходит отделение масляных капель в результате резкого изменения скорости и направления потока, а также действия центробежной силы. Степень отделения масла -до 80 %.

Маслоотделитель представляет собой сварной вертикальный сосуд, заполненный до определенного уровня жидким аммиаком, через который проходят пары аммиака. Очистившись от масла, пары аммиака выводятся из сосуда. Обозначения промывных отделителей: 50 ОММ, 300 ОММ (О - отделитель, М -масло, М -модернизированный, цифры перед буквами означают диаметр условного прохода входного и выходного патрубков).

**Промежуточные сосуды** используют в аммиачных холодильных установках двухступенчатого сжатия для полного промежуточного охлаждения паров холодильного агента, поступающего из компрессора ступени низкого давления, и для переохлаждения жидкого аммиака в змеевике аппарата перед регулирующим вентилем. Охлаждение паров хладагента осуществляется путем барботирования их через слой жидкого аммиака.



*Рис. 2.41. Промежуточный сосуд:*

*а* - без змеевика; *б* - со змеевиком; 1 - патрубок для выхода паров аммиака в цилиндр высокого давления; 2 - патрубок для выхода паров аммиака из цилиндра низкого давления; 3 - патрубок для входа жидкого аммиака от регулирующего вентиля; 4 - патрубок к манометру; 5 - патрубок для присоединения уравнивающей паровой линии; 6 - патрубок для присоединения уравнивающей жидкостной линии; 7 - патрубок для выхода жидкого аммиака; 8 - патрубок для спуска масла; 9 - трубка (указатель уровня); 10 - отбойная тарелка; 11 - патрубок для выхода жидкого аммиака; 12 - патрубок для присоединения предохранительного клапана; 13 - патрубок для входа жидкого аммиака в змеевик.

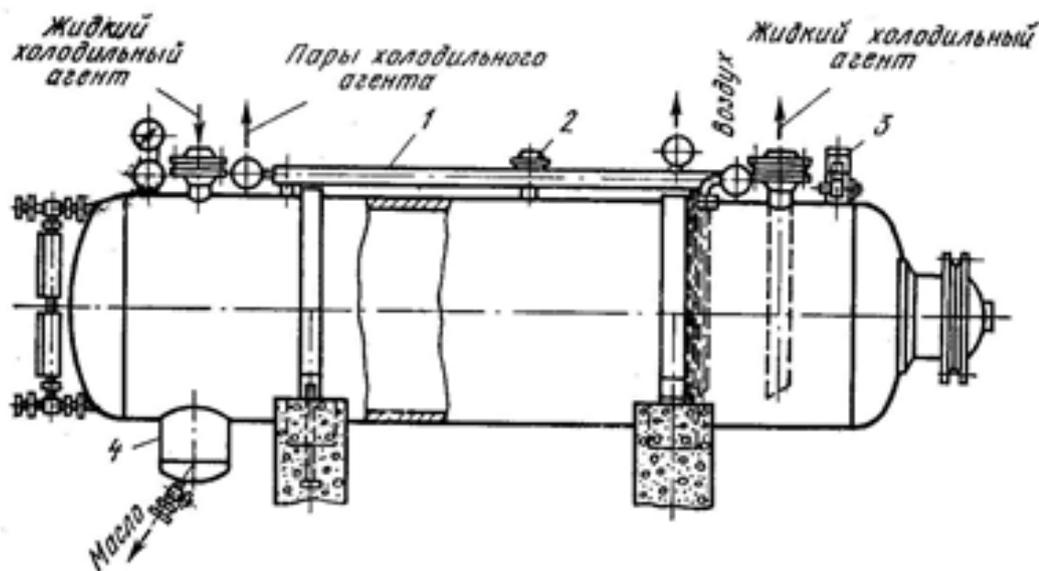
В настоящее время, как правило, применяют промежуточные сосуды со змеевиком (рис.2.41, б), по которому жидкий холодильный агент протекает к

испарителю и переохлаждается перед дросселированием. В промежуточные сосуды подается некоторое количество холодильного агента, который расходуется на охлаждение паров, поступающих из низкой ступени, и на переохлаждение жидкости. Преимущество промежуточных сосудов со змеевиком заключается в том, что масло после первой ступени компрессора не попадает в жидкостную линию, идущую в испаритель, и не замасливает испарительную систему.

На входе жидкого холодильного агента в змеевик промежуточного сосуда и на выходе из него устанавливают термометровые гильзы.

При применении промежуточного сосуда со змеевиком жидкость после змеевика находится под давлением конденсации, т. е. под напором, достаточным для подачи ее в испарители, находящиеся в значительном удалении от компрессорного отделения. Кроме того, подача переохлажденной жидкости обеспечивает более надежную работу регулирующих устройств.

**Ресиверы** - это герметичные цилиндрические сосуды, служащие емкостью для жидкого холодильного агента. Различают линейные, дренажные, циркуляционные и защитные ресиверы. По конструкции они бывают вертикальные и горизонтальные.



*Рис. 2.42. Ресивер линейный*

*1 – воздухоотделитель; 2 – уравнивательная линия к конденсатору;  
3 – предохранительный клапан; 4 – грязевик.*

Линейные ресиверы предназначены для компенсации различия в заполнении испарительного оборудования жидкостью при изменении тепловой нагрузки. Они освобождают конденсатор от жидкости и создают равномерный поток жидкого агента к регулирующему вентилю. Их устанавливают между конденсатором и регулирующим вентилем. Постоянно поддерживаемый уровень Жидкого холодильного агента является гидравлическим затвором, который препятствует перетеканию пара высокого давления в испаритель. Линейный ресивер -хороший сборник воздуха и масла.

Дренажные ресиверы служат для слива жидкого холодильного агента из аппаратов и трубопроводов холодильной установки при эксплуатации и ремонте.

Циркуляционные ресиверы используют в насосно-циркуляционных схемах питания испарительных систем жидким холодильным агентом. Они представляют собой резервуар, постоянно содержащий жидкий холодильный агент в количестве, обеспечивающем непрерывную работу циркуляционного насоса, подающего жидкость в испарители. Ресиверы устанавливают на

стороне низкого давления ниже отметки, на которой размещается все оборудование испарительной системы. Это обеспечивает свободный слив жидкости из испарителей и отделителей жидкости.

Защитные ресиверы вместе с отделителем жидкости, который устанавливают на всасывающем трубопроводе между испарителями и компрессором, служат для защиты компрессоров от гидравлических ударов. Применяют их в безнасосных системах питания испарителей жидким холодильным агентом.

Горизонтальные ресиверы типа РД (Р - ресивер, Д - дренажный) используют как линейные, дренажные, циркуляционные и защитные; ресиверы РДВ (В - вертикальный) - как циркуляционные и защитные.

Горизонтальный циркуляционный ресивер устроен аналогично горизонтальному линейному ресиверу, но над ним не монтируют воздухоотделитель. Горизонтальные циркуляционные ресиверы применяют в комплекте с отделителем жидкости.

Вертикальный дренажно-циркуляционный ресивер (рис.2.43).

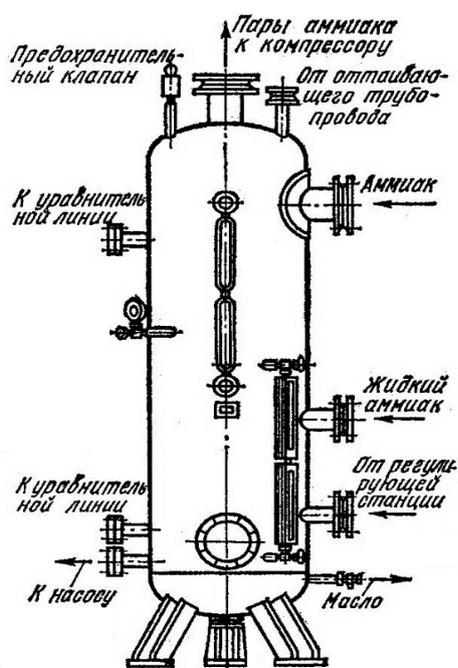


Рис. 2.43. Ресивер дренажно-циркуляционный

Он выполняет функции отделителя жидкости и циркуляционного ресивера. Смесь жидкого и парообразного холодильного агента из батарей и воздухоохладителей поступает в дренажно-циркуляционный ресивер. В нем пар отделяется от жидкости. Пар отсасывается компрессором, а жидкость центробежным насосом подается в приборы охлаждения. Таким образом отпадает необходимость включения в схему отделителя жидкости.

**Дренажный ресивер.** Он служит для хранения запаса жидкого холодильного агента, приема жидкого холодильного агента из батарей и воздухоохладителей во время оттаивания снеговой шубы и при необходимости освобождения от жидкости другого оборудования перед ремонтом.

**Насосы холодильных установок** предназначены для циркуляции охлаждающей воды в обратных системах водоснабжения, промежуточного хладоносителя (рассол или ледяная вода), а также жидкого аммиака в насосно-циркуляционных системах. Для жидкого аммиака применяют специальные аммиачные бессальниковые насосы.

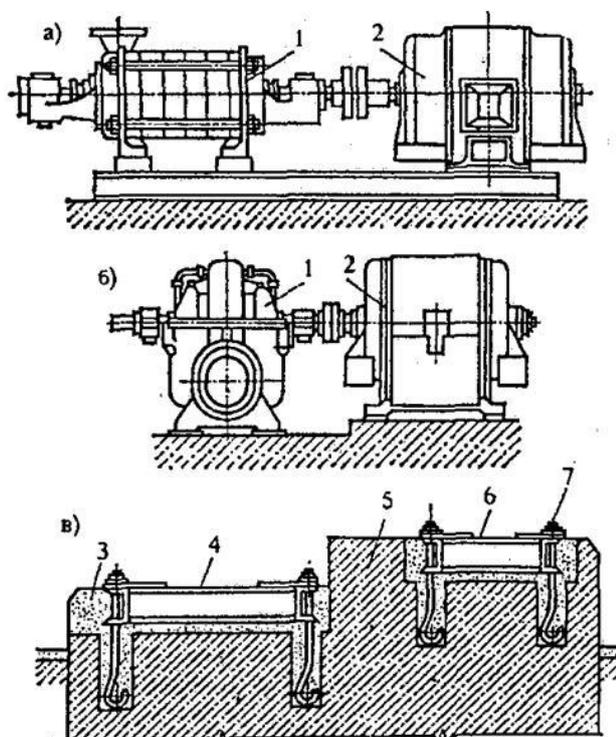
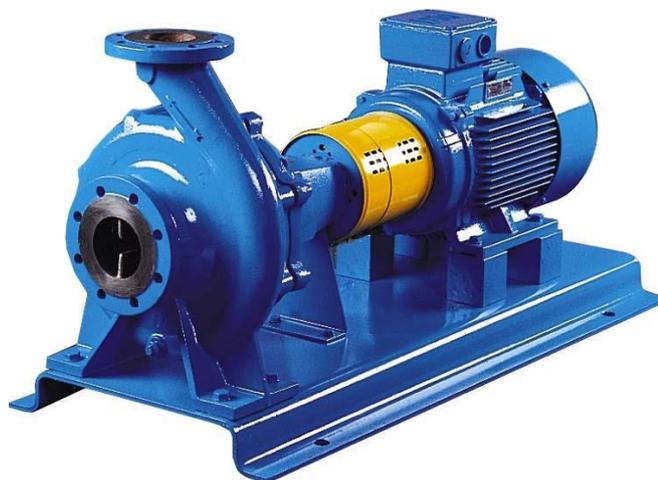


Рис. 2.44. Установка горизонтальных насосов

*1 – насос, 2 – электродвигатель, 3 – монтажная подбетонка (подливка), 4 – рама под насос, 5 – фундамент, 6 – рама под электродвигатель, 7 – анкерный болт*



*Рис.2.45. Общий вид центробежного насоса холодильных установок*

## **ВИДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ НАСОСОВ**

**Насосом** называется гидравлический механизм, с помощью которого механическая энергия приводного двигателя преобразовывается в энергию напора жидкости. В процессе наблюдается разность давлений жидкостей, благодаря чему осуществляется ее перемещение.

В холодильных системах насосы выполняют такие функции:

- 1) подача масла для смазывания механизмов;
- 2) обеспечение циркуляции хладагента в системах непосредственного испарения (аммиачные насосы);
- 3) обеспечение циркуляции хладоносителя в системах промежуточного охлаждения (рассольные насосы);
- 4) обеспечение возврата воды (после конденсаторов в водооборотных системах, в пленочных и других теплообменниках);

5) циркуляция абсорбента (в только для абсорбционных холодильных машин);

6) при гидравлических испытаниях, вакуумировании аппаратов и других операциях технического обслуживания холодильной установки.

Для обеспечения указанных функций применяются разные виды насосов: объемные (поршневые, шестеренные), лопастные (центробежные, вихревые, осевые) и струйные устройства, каждое из которых применяется для определенных операций. От вида насоса и его специализации зависит структура ремонтного цикла оборудования.

**Переохладители** в аммиачных машинах необязательны. В виде отдельного аппарата их применяют только на больших холодильных установках, обязательно на тех, которые снабжены оросительными конденсаторами.

**Теплообменники** для хладоновых машин необходимы не только для переохлаждения жидкого холодильного агента, но и для перегрева парообразного хладагона, поступающего из испарителя в компрессор.

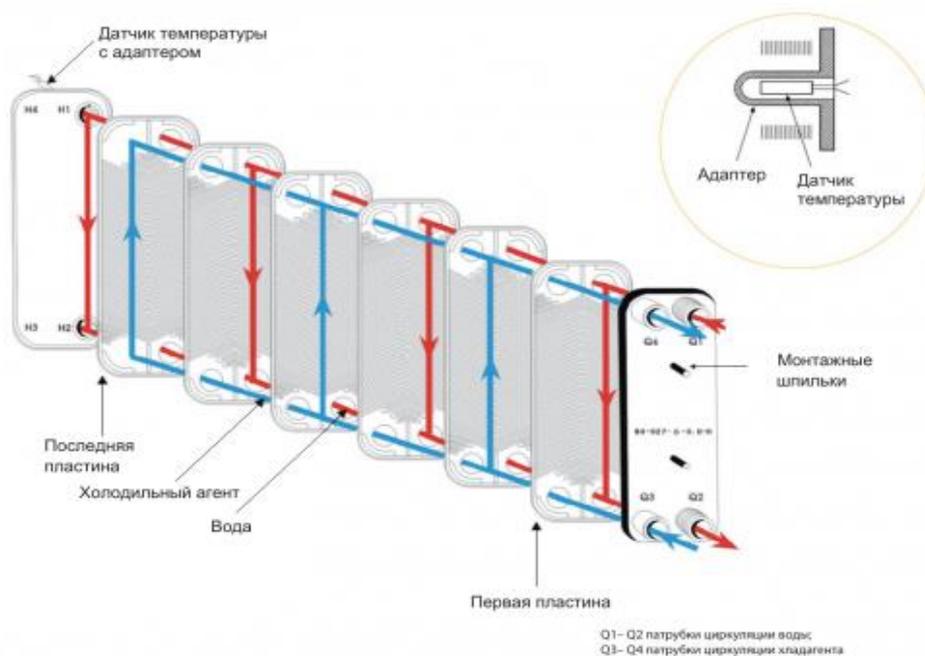


Рис. 2.46. Пластинчатый теплообменник V3-095-100-3.0-N

Теплообменник паяный пластинчатый типа В состоит из рифленых тонкостенных теплообменных пластин из нержавеющей стали, спаянных между собой с помощью медного или никелевого припоя (для аммиачных холодильных установок). Между пластинами образуются каналы для прохода теплоносителя. Высокая турбулентность потока и принцип противотока обеспечивают эффективный теплообмен.

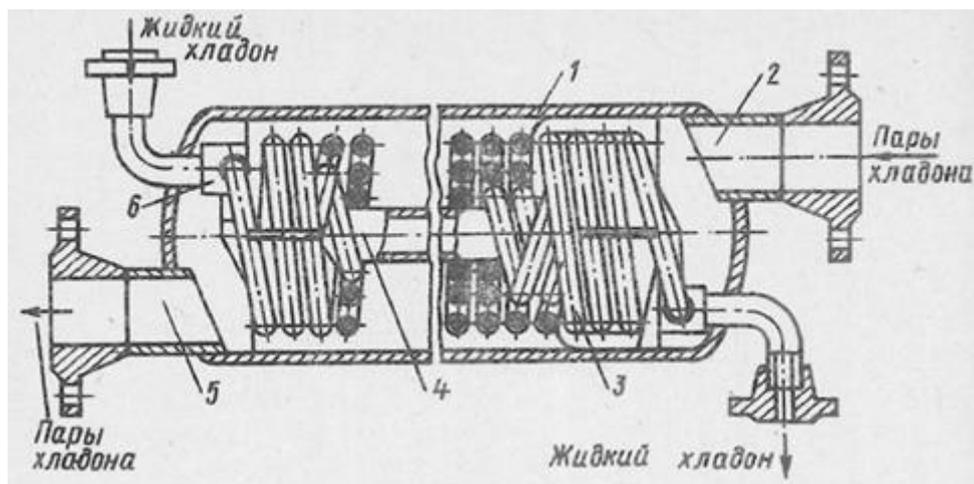


Рис. 2.47. Кожухозмеевиковый теплообменник

Теплообменник представляет собой стальной сварной кожух в виде отрезка трубы с приваренными к ее торцам сферическими доньшками. Внутри трубы (кожуха) змеевик из медной трубки. Концы его выведены из кожуха через отверстия в доньшках.

Жидкий хладон проходит через теплообменник внутри змеевика, а парообразный в кожухе, омывая наружную поверхность змеевика. Движение жидкости и пара осуществляется противотоком.

В малых холодильных машинах, применяемых для бытовых холодильников, функцию теплообменника выполняют спаянные между собой на некотором участке трубки: капиллярная, по которой жидкий хладон направляется к испарителю, и отсасывающая, по которой пар холодильного

агента проходит в противоположном направлении от испарителя к компрессору.

В кожухозмеевиковом теплообменнике (рис.2.47) жидкость проходит по внутреннему тройному змеевику 3, а пар хладона из испарителя поступает по трубе 2 в кожух 1 и проходит по межзмеевиковому пространству противотоком. Пар, омывая змеевики и переохлаждая жидкий хладон, перегревается и по трубе 5 поступает в компрессор. На входе и выходе жидкости из кожуха установлены коллекторы 6, к которым присоединены жидкостные патрубки теплообменника. Для увеличения скорости обдува змеевиков внутри наименьшего змеевика установлен вытеснитель 4.

### **Контрольные вопросы:**

1. В чём отличие основных элементов холодильной машины от элементов вспомогательного оборудования?
2. Перечислите известные Вам элементы вспомогательного оборудования аммиачной и фреоновой холодильных машин.
3. В каких холодильных машинах устанавливают маслоотделители, а в каких нет?
4. Назовите назначение и место в схеме известных Вам ресиверов.
5. Назначение, место в схеме и устройство РТО.
6. Почему называют кожухотрубные горизонтальные конденсаторы.
7. Что Вы знаете о воздушных конденсаторах.
8. Для чего предназначен испарители теплообменные аппараты.
9. От чего зависит стабильность и безопасность работы холодильных установок
10. Какие функции выполнять теплообменники.
11. Перечислите существующие системы охлаждения холодильников.
12. Какую систему охлаждения следует использовать на крупном многоэтажном холодильнике?
13. Классификация камерных батарей.
14. Чем отличается батарея от воздухоохладителя? У кого из них больший коэффициент теплопередачи?

## Раздел III

### §3. ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

#### §3.1. Организация работы холодильных складов для обеспечения сохранности сельхозпродукции

##### §3.1.1. Организация работы холодильных складов

Склад для хранения сельхозпродукции сегодня - высокотехнологичный управляемый процесс, который оснащен целым комплексом автоматических систем, позволяющих максимально долго сохранять урожай. Сложность этого процесса заключается в решении задач, связанные с естественными процессами во время хранения, т.к. в растительных продуктах происходят химические, микробиологические и физиологические процессы, характер которых определяется биологическими функциями. Физиологический процесс сельхозпродукции продолжается и после сбора, и называют этот процесс **дыханием**.

Интенсивность дыхания и связанных с ним обмена веществ зависит от температуры, т.е. послеуборочное созревание. Следовательно, срок хранения овощей и фруктов определяется степенью их зрелости при сборе урожая. Таким образом, одной из сложных задач в хранении сельхозпродукции является обеспечение сохранности продукции, где организация работы холодильных складов связана с повышением риска, что особенно актуальна. Обеспечить сохранность сельхозпродукции в ситуации, когда небольшое отклонение от температурного режима может привести к их порче, можно лишь применением автоматических систем управления соблюдении технологии хранения. Поэтому к автоматизации холодильных складов предъявляются повышенные требования.

**Главной задачей холодильного склада при хранении сельхозпродукции является предотвращение развития физиолого-**

биохимических процессов и снижению потерь влаги, т.е. быстрое предварительное охлаждение, которая зависти от вида сельхозпродукции. Хранение свежих сельскохозяйственных продуктов невозможно без создания среды с температурой ниже температуры окружающей среды. При этом, объемы сохраняемых и охлаждаемых фруктов и ягод, очень велики, и требуют производства и применения промышленного холода, то есть искусственного холода в больших, промышленных объемах, а также получение низких температур для охлаждения и замораживания свежих ягод, фруктов и овощей.

Таким образом, использование холодоснабжения дает возможность складам охлаждать, замораживать и хранить скоропортящуюся продукцию. Решить подобную многофакторную задачу сложно, и для оптимального выбора идеального холодильника для склада необходимо учитывать множество показателей, которые могут иметь свой вес в общей оценке потребительских свойств и должны отвечать общепринятым мировым критериям: энергоэффективности, экономичности и экологичности систем и объекта в целом. К таким показателям относятся:

- Конструктивные показатели – высотность, площадь застройки, материалы ограждающих конструкций и опорных стеллажных систем;
- Технические показатели – вид системы хладоснабжения (централизованная либо децентрализованная), вид компрессорного оборудования (промышленное или коммерческое), хладагент и хладоноситель и др.

В настоящее время существует классификация складов, которая в достаточной степени учитывает все особенности сухих складов и в малой степени – холодильных складов. Однако полноценные обобщающие критерии основных потребительских свойств, пригодных для классификации современных складов-холодильников, в ней в явном виде отсутствуют. Методика, разработанная компаниями Swiss Realty Group и Knight Frank [1, 2], позволяет классифицировать склады по шести категориям, но на практике

чаще всего используют классификацию по четырем категориям А, В, С и D с разным набором обязательных требований.

### **§3.1.2. Классификация холодильников систем хладоснабжения с их классификацией по температурным диапазонам**

В указанной классификации учтены все особенности, присущие сухим складам, но отсутствуют основные специфические требования, и прежде всего по температурным режимам и холодильному оборудованию, характерные для рефрижераторных складов. Есть лишь упоминание о наличии камер с регулируемой температурой на складах высшего класса. На основе анализа конструктивных и функциональных особенностей различных видов холодильных складов сделан вывод о наибольшей востребованности холодильников дистрибьюторских центров, логистических комплексов и производственных. В данном случае определяющим является функционально-целевой признак. Однако классификация холодильников по качеству и основным потребительским свойствам, которые определяются не только логистическими преимуществами, но и «температурой холода», в явном виде не сформулирована.

Есть надежда, что классификация холодильных складов будет изложена в разрабатываемом Своде правил «Холодильники», однако отсутствие достаточного финансирования данной работы и дефицит специалистов-холодильщиков отодвигают решение этого вопроса на дальнюю перспективу. С учетом этого важно уже сейчас дать потенциальным потребителям и специалистам хотя бы основы оптимального и корректного выбора конструкции, логистической инфраструктуры и начинки холодильника.

Главным недостатком сухих складов класса А, В и С, не позволяющим включить их в разряд холодильных, является отсутствие систем хладоснабжения с их классификацией по температурным диапазонам

хранения продукции. Кроме того, надо учитывать необходимость доработки этих складов под холодильное хранение, что связано со значительными затратами, которые зачастую выше, чем при строительстве нового холодильного склада. Коренным отличием сухих складов от холодильников является высокий уровень энергопотребления последних. Известно, что более 60% энергопотребления холодильников идет на выработку холода.

Основным критерием включения любого склада в разряд холодильного с соответствующими теплотехническими характеристиками ограждающих конструкций и дверей является возможность создания и поддержания в нем холода для хранения продукции и соответственно наличие системы хладоснабжения.

Следует отметить, что стремление некоторых компаний использовать холодильники советских времен постройки даже с элементами реконструкции и модернизации не позволяет относить их к полноценным складам-холодильникам из-за следующих недостатков:

- старое холодильное оборудование не поддерживает необходимого температурного режима и требует дополнительных энергозатрат на компенсацию потерь холода;
- Отсутствие стеллажной системы не позволяет эффективно (с хорошим заполнением и автоматизацией процессов) складировать товар;
- Повышенная этажность (более трех этажей со старыми лифтами) не дает возможности эффективно организовать внутреннюю логистику (грузопотоки);
- Отсутствие необходимых качественных офисных помещений мешает наладить продуктивную работу по управлению логистическими операциями как внутри, так и вне склада-холодильника и т. д.

По температурному режиму холодильные склады некоторые авторы публикаций подразделяют на холодильные (средний диапазон температур хранения) и морозильные (низкотемпературные с глубоким холодом). В

таблице представлена классификация подобных складов по режимам холодильного хранения и видам продукции представлено в таблице 3.1

Табл.3.1.

*Классификация холодильных складов по режимам хранения*

<b>Холодильные склады</b>	<b>Морозильные склады</b>
Температурные режимы выше 0 °С: 2...4; 4...8; 10...14 °С	Температурные режимы значительно ниже 0 °С: –18; –24 °С
Конструкция зданий не имеет существенных отличий от теплоизолированных сухих складов	Конструкция зданий имеет существенные отличия от сухих складов
Возможно переоборудование сухих складов в холодильные	Переоборудование сухого склада в морозильный нецелесообразно
Основные группы продуктов: плодовоовощная, алкогольная, кондитерская, гастрономическая, фармацевтическая продукция, охлажденные мясные и куриные полуфабрикаты	Основные группы продуктов: масложировая продукция, мясо, птица, мороженое, замороженные полуфабрикаты, морепродукты, фрукты и овощи
Продолжительность хранения имеет критическое низкое значение. Склад может полностью оборачиваться за один день. Малый объем зоны хранения, большой транспортный поток	Хранение может быть продолжительным

Некоторые авторы [5] принимают для среднетемпературных холодильников режим работы в температурном диапазоне от +14 до –5 °С, а для низкотемпературных – в пределах от –5 до –35 °С. Однако нам кажется

разумным рассматривать температурный диапазон холодильных складов в пределах, предусмотренных СНиП 2.11.02-87, т. е. от +12 до –30 °С.

Таким образом, непосредственное хранение сельхозпродукции происходит в камерах с индивидуальным или магистральным охлаждением. Для каждой продукции есть предписания по его хранению и сроки с указанными температурными режимами. Все эти правила заставляют пользоваться разнообразными холодильными установками различных размеров. Расставляя оборудование по площади помещения нужно руководствоваться техникой их подключения и максимально рентабельно заполнять свободное пространство склада.

В помещении, где расположены холодильные камеры с продуктами, необходимо поддерживать температуру воздуха предельно приближенную к температурному регламенту продукции. Это облегчит работу оборудования и повысит сохранность скоропортящихся продуктов.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Что происходит при хранении растительных продуктах.
2. Что является главной задачей холодильного склада при хранении сельхозпродукции.
3. Из-за каких недостатков не позволяет относить полноценным складам-холодильникам.
4. Перечислите режимы хранения холодильных складов по классификации.

### **§3.2. Эффективный комплексный подход для хранения сельхозпродукции**

Период длительного содержания овощей и фруктов в хранилище к сбережению урожая должен применяться комплексный подход, состоящий из трех основных факторов: охлаждение воздуха, увлажнение и дезинфекция продукции. Но как при этом сохранить идеальный баланс «низкие затраты - высокая отдача»?

Общеизвестно, что комплекс мер по сохранению урожая помогает снизить потери в несколько раз. Есть несколько основных причин потерь:

- Метаболические процессы, которые приводят к нежелательному раннему созреванию, потемнению и размягчению овощей;
- Высыхание продукции, то есть, потеря товарного вида и массы до 10% в месяц;
- Действия микроорганизмов, насекомых и грызунов приводят к гниению, покрытию плесенью, так же продукция может приобрести неприятный запах.

Современные технические способы создания оптимальных условий в существующих хранилищах сводятся к трем основным способам: охлаждение, увлажнение и дезинфекция. Эти три кита в технологии хранения являются наиболее экономически эффективными, легко реализуемыми и универсальными, то есть применимыми для абсолютного большинства видов сельхозпродукции.

### **КИТ ПЕРВЫЙ ХОЛОД**

Это самая старая и известная технология. Холод замедляет метаболические процессы в плодах и тормозит развитие микрофлоры. Холодильная техника широко представлена на рынке, и большинство сельскохозяйственных предприятий давно с ней знакомы, но зачастую ненадлежащий контроль за оборудованием приводит к серьёзным потерям.

Важное значение имеет точность поддержания температурного режима в каждой точке помещения. Чем ниже температура, тем медленнее протекают химические реакции внутри живой ткани, опускание температуры ниже

нормы, даже на полградуса приведет к повреждению овощей и фруктов, и к их быстрой порче после выгрузки из холодильника.

Необходимо следить за равномерностью распределения температуры воздуха по помещению, регулярно проверять настройку автоматики холодильного оборудования и не использовать для охлаждения наружный воздух в зимний период. Использование современных высокоэффективных холодильных агрегатов для охлаждения приводит к снижению влажности воздуха и как следствие к усушке продукции. Сбалансировать этот недостаток может грамотное применение другого «кита хранилища» -увлажнения воздуха.

### **КИТ ВТОРОЙ: ЖИВИТЕЛЬНАЯ ВЛАГА**

Технологии увлажнения только начинают входить в сельхозпроизводство, хотя экономический эффект от правильного использования этого оборудования соизмерим с эффектом использования холода. Главная проблема, при использовании систем охлаждения -осушение воздуха. Чем он суше, тем быстрее происходит испарение влаги с поверхности плодов. Сотни литров конденсата, которые собирает испаритель, сливаются в канализацию. Каждый литр конденсата -это не только потеря одного кг сельхозпродукции но и значительное ухудшение товарного вида десятков килограмм хранимых фруктов и овощей. Неудачные попытки использовать «дедовские» способы увлажнения или неподходящее для овощехранилища оборудование создали у многих мнение что невозможно уйти от так называемой *«естественной убыли в результате усушки»*. Но это не так.

Оптимальная относительная влажность при хранении большинства распространенных фруктов и овощей -90-100%. При этой температуре продукция медленнее теряют влагу, что благоприятно сказывается на ее товарном виде и массе. Проблема поддержания влажности воздуха хранения плодоовощной продукции обострилась с применением фреоновых холодильных агрегатов, имеющих небольшие габариты охладителя и низкую

температуру хладагента. Новые эффективные холодильные агрегаты однозначно требуют дополнительного увлажнения воздуха компенсирующего их эффект «осушения». Не каждый тип увлажнителей способен работать в холодильной камере хранения. Например, увлажнители естественного испарения, практически не работают при низких температурах.

Дисковые разбрызгиватели и форсуночные системы распыления под давлением и требуют большого пространства над продукцией, так как могут образовывать крупные капли которые быстро осаждаются и губительно воздействуют на хранимую продукцию. Часто деревянные ящики хранения устанавливаются практически доверху и в хранилище не хватает места для этого «факела распыла» воды. Кроме того, это оборудование инертно, оно не может точно поддерживать требуемую влажность. Увлажнители парового типа не только «греют» воздух холодильной камеры, но и потребляют громадное количество электроэнергии.

### **КИТ ТРЕТИЙ: ДЕЗИНФЕКЦИЯ**

Создание оптимальной влажности в хранилище решает проблему потери товарной массы, но, с другой стороны, способствует развитию гнилостной микрофлоры. При длительном хранении плесень и бактерии могут подпортить значительную часть урожая. Озон обладает мощным бактерицидным действием и способен эффективно разрушать различные виды бактерий, вирусов, плесневых грибов и дрожжей. Этот газ не оставляет после себя остаточных токсичных веществ, и является экологически безопасным средством дезинфекции, дезинсекции и дератизации складов, он экологически совместим с продуктами овощеводства и садоводства.

Способность озона убивать споры позволяет эффективно использовать его для увеличения срока хранения продуктов и в рефрижераторах. Затраты на это оборудование по сравнению с экономической эффективностью этого способа, невелики. Его применение предохраняет от опасности появления

неприятного запаха, и от других нежелательных последствий использования иных антисептиков.

Озонирование предотвращает формирование плесневых колоний на стенах хранилища, деревянных ящиках и других упаковочных материалах. Эти плесени, даже если и не наносят вреда продукции, то придают фруктам неприятный специфический запах. В воздухе хранилищ-холодильников часто содержится голубая плесневая гниль, которая быстро размножается, и ее рост не замедлится даже под воздействием низких температур. Для увеличения сроков хранения овощи и фрукты подвергают однократной или многократной обработке озono-воздушной смесью, обеспечивая высокую сохранность питательных и вкусовых качеств, сохраняя их свежесть, сочность и влагеёмкость.

Профилактическое озонирование овощехранилищ в летнее время - хорошая альтернатива проветриванию. При проветривании строительные конструкции углублённых помещений прогреваются, что увеличивает время охлаждения продукции и приводит к дополнительным затратам электроэнергии при закладке. При длительном озонировании газ способен проникать достаточно глубоко в пористые поверхности строительных конструкций: кирпич, бетон, штукатурка, дерево.

При определённых концентрациях озон может убивать насекомых, отпугивать грызунов, разрушать большинство токсичных химических соединений на поверхности овощей и фруктов.

Проведённые исследования технологий дезинфекции складов, в том числе в присутствии пищевой продукции подтвердили возможность снижения потерь на 30-40% от существующих. При этом продукция не загрязняется вредными примесями и сохраняет свои пищевые и органолептические свойства.

По мнению исследователей, продолжительность хранения можно увеличить вдвое с одновременным сохранением тонкого аромата фруктов.

Пример расчёта экономической эффективности использования увлажнителя и озонатора для создания оптимальных условий хранения овощей и фруктов. (Расчёт производим в рублях).

Имеется склад моркови на 300 т, кондиционируемый, где хранение производится в контейнерах. Потери склада к маю составляют: до отбраковки -36 т или 12%, и отбраковка и обрезка поражённых гнилью плодов -21 т, 7%. В итоге получается потеря в 57 т, то есть 19%. В этом случае установка оборудования позволит сократить потери в три раза -на 38 т. При цене за килограмм продукции в 10 руб. экономия составит 380 тыс. руб. Стоимость оборудования с установкой обойдется производителю примерно в 160 тыс. руб. Затраты на электроэнергию и обслуживание за полгода составят менее 15 тыс. руб. Прогнозируемый срок окупаемости будет менее трех месяцев. Что позволит получить дополнительную прибыль в первый год в размере 185 тыс. руб., а в каждый последующий -360 тыс. руб.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1.Для чего применяться комплексный подход.
2. Что является экономически эффективные технологии хранения, сельхозпродукции.
- 3.Что озночает кит первый Холод?
- 4 .Что озночает кит второй?
- 5.Что озночает кит третий?

### **§3.3. Основы сохранения и физические химические свойства продуктов.**

#### **§3.3.1. Условия доставки скоропортящихся пищевых продуктов**

Условия доставки скоропортящихся пищевых продуктов во многом зависят от свойств и негативных их изменений при неблагоприятных условиях. Совокупность свойств определяет качество продукта. Скоропортящиеся грузы делят по их природе на растительные и животные. Их транспортируют и хранят в натуральном (мясо, рыба, фрукты) или переработанном (колбасы, консервы и т.д.) виде. Чтобы грамотно разрабатывать и обеспечивать условия подготовки, хранения и перевозки скоропортящихся грузов, а также принимать меры к снижению порчи, необходимо знать состав и химические свойства продуктов.

По составу и химическим свойствам продуктов питания оценивают их пищевую ценность и возможные направления изменения потребительских достоинств. Химические свойства показывают, что и как может портиться в продукте и какие режимные параметры условий перевозки и хранения грузов следует назначать и поддерживать.

**Химический состав скоропортящихся продукции** весьма сложный. Все скоропортящиеся грузы состоят из органических и неорганических веществ.

**Неорганические вещества** представлены водой и минеральными солями. Все физико-химические процессы в организме протекают в водных растворах.

**Вода** способствует микробиальным и ферментальным процессам, приводящим к порче. В продуктах животного происхождения воды меньше (до половины массы), чем в продуктах растительной природы (в огурцах, например, её содержится до 95,3 % массы). В тканях продукта вода находится в свободном и связанном состояниях. *Связанная* (внутриклеточная) вода замерзает при температуре минус 40<sup>0</sup>С, а при более низких температурах её содержание уменьшается, т.е. скоропортящиеся продукты теряют влагу при глубоком промораживании. *Свободная* вода, составляющая 80...90 % от всего количества воды в продукте, находится в межклеточном пространстве, откуда

может легко перемещаться во внешнюю среду (испаряться, вымораживаться) и обратно (поглощаться тканями и плазмой крови).

**Минеральные вещества** в костях и тканях продукта представлены свободными химическими элементами (микроэлементами) и соединениями, преимущественно растворимыми солями натрия, кальция, фосфора, железа. Наличие водных растворов солей снижает температуру замерзания жидкости на 0,5...5<sup>o</sup>C. Микроэлементы могут оказывать значительное регулирующее воздействие на продукт.

К **органическим веществам** относят белки, жиры, углеводы, ферменты, кислоты, витамины и др. В скоропортящихся продуктах они содержатся в определённых пропорциях, разных для продуктов растительного и животного происхождения. Так, в овощах и фруктах много углеводов (до 80 % сухой массы), мало белков и жиров; в мясе же наоборот: мало углеводов, но велико содержание белков и жиров.

**Белки**, или протеины - сложные азотистые соединения, состоят из многих аминокислот, различаются их составом и структурой. Они являются важнейшими составными частями животных и растительных клеток. Белки бывают твёрдыми (волосы, ногти, копыта), жидкими (молоко, кровь), полужидкими (мышцы и ткани). Человеку ежедневно требуется 80...90 г белков. При усвоении человеком 1 г белка выделяется 17,6 кДж энергии. Больше всего его в сыре (25 %), бобовых (23 %), твороге (14 %) и яйцах (13 %). Белки остро реагируют на условия хранения: поглощают воду и набухают, гниют с выделением газов (сероводорода и аммиака), обладающих неприятным запахом.

**Жиры** (липиды), являясь клеточными компонентами, состоят из сложных эфиров и жирных кислот (стеариновой, олеиновой и др.) и различаются для продуктов растительного и животного происхождения. При усвоении организмом жиры обеспечивают 39,1 кДж/г энергии. При длительном ограничении употребления жиров в пищу нарушается

деятельность центральной нервной системы, ослабляется иммунитет. Обязательная суточная норма потребления жиров составляет 100...105 г. При этом предпочтительны жиры растительного происхождения.

В продуктах под воздействием нормальных температур и солнечного света постепенно разлагаются на глицерин и жирные кислоты с последующим окислением на воздухе, приобретают неприятный цвет, вкус и запах.

**Углеводы** подразделяют на три группы:

- Простые сахара (*моносахариды*: глюкоза и фруктоза, или иначе виноградный и плодовый сахара);
- Сложные сахара (*олигосахариды* сахароза и лактоза, или свекловичный и молочный сахара);
- Высокомолекулярные соединения (*полисахариды*: крахмал, гликоген, клетчатка, или целлюлоза, пектиновые вещества).

Все они необходимы для обеспечения жизнедеятельности человека, в том числе и как главный источник энергии (17,2 кДж/г). Образуются углеводы в зелёной части растений фотосинтезом из неорганических веществ – углекислоты и воды. Суточная норма употребления углеводов человеком - 350...400 г.

**Органические кислоты** (яблочная, лимонная, щавелевая, молочная и др.) во многом определяют вкус и сохранность продуктов.

**Витамины** - низкомолекулярные органические соединения, растворимые в воде (тиамин  $B_1$ , рибофлавин  $B_2$ , аскорбиновая кислота  $C$  и др.) или жирах (ретинол  $A$ , кальциферол  $D$ , токоферол  $E$  и др.). Они регулируют обмен веществ и стимулируют иммунную систему организма человека, но в нём не производятся, а поступают извне с продуктами питания. Сохранность витаминов - важный критерий качества скоропортящихся грузов.

**Ферменты**, или энзимы - белковые катализаторы, отличаются большой активностью и селективностью. Способствуют процессам созревания, увядания, скисания, брожения и др. Действуют в узком диапазоне температур,

что позволяет создавать условия для их активизации или подавления. При температуре выше 80<sup>o</sup>C ферменты разрушаются, а при низких температурах резко снижают свою активность.

### §3.3.2. Причины и проявления порчи продуктов

**Причины порчи продуктов.** Сразу же после заготовки в продуктах начинают происходить процессы, ведущие к изменению их свойств и качества. Плоды, ягоды и овощи некоторое время сохраняют тенденцию развития (созревания) и продолжают вести борьбу с микроорганизмами внешней среды. Жизненные функции продуктов животного происхождения прерываются при забое скота, птицы или рыбы. Поэтому продукты с самого начала подвержены разлагающим воздействиям внутренних и внешних факторов.

Ухудшение потребительской ценности продукта называют *порчей*. Порча продуктов обычно заключается в утрате товарного вида, изменениях неорганических и органических веществ с соответствующими негативными проявлениями.

Порча обусловлена изменением состава неорганических веществ. Она проявляется в изменении цвета (окисление гемоглобина или миоглобина), уплотнении и сморщивании поверхности (потеря межклеточной влаги). Более существенные проявления порчи связаны с преобразованием органического компонента продуктов.

Разложение белковых веществ называется *гниением*. Оно происходит под действием ферментов как самого продукта (в начальной стадии процесса), так и микроорганизмов внешней среды. При благоприятных условиях (высокая температура, наличие кислорода и др.) образуются амины и другие вещества со специфическим запахом.

Жиры и углеводы при соответствующих условиях (температура, влажность, свет) под влиянием некоторых ферментов окисляются

(гидролизуются, омыляются), приобретая горький привкус и неприятный запах. В органических веществах под действием плесеней (дрожжей) и бактерий на углеводы происходят также медленные процессы *брожения*.

**Основными причинами порчи** продуктов являются поступление извне микроорганизмов при хранении и перевозках, особенно в антисанитарных условиях, и допущение состояний, благоприятных для развития внутри продуктов микробиальных и ферментальных процессов.

Условия, которые способствуют порче продуктов, разнообразны. Среди них можно выделить:

- Нарушение требуемого температурного режима хранения и перевозки;
- Нарушение условий погрузки (рис.3.1);
- Попадание солнечного света на груз;
- Отсутствие вентилирования и циркуляции воздуха в грузовых помещениях транспортных и складских модулей;
- Резкое охлаждение корнеплодов после сбора урожая;
- Приём к доставке заведомо испорченной продукции;
- Нарушение технологических сроков хранения и перевозки груза.



*Рис. 3.1. Нарушение условий погрузки цитрусовых*

**Микробиальные процессы в продуктах.** Эти процессы вызываются бактериями, плесенями и дрожжами, которые могут благоприятно развиваться на поверхности и внутри продуктов.

**Гнилостные бактерии** (одноклеточные организмы, размножающиеся делением), злейший враг продукта, разлагают белки и жиры. Они бывают различной формы, хорошо образуют споры и могут приспосабливаться к неблагоприятным условиям.

**Плесневые грибки** (одноклеточные и многоклеточные) выделяют разнообразные ферменты, которые разлагают белки, жиры и углеводы, переводя их в растворимое состояние. Различают следующие виды плесеней:

- *пенициллиум*, имеет вид налёта на поверхности продукта белого или голубоватого цвета;
- *головчатка*, или *мукоровый гриб*, поражает поверхность продукта тёмно-серым налётом с чёрными крапинками;
- *кладоспориум*, имеет тёмно-зелёный (бутылочный) цвет;
- *домовый гриб*, развивается на деревянных поверхностях вагонов, складов, поддонов.

Некоторые виды плесеней показаны на рисунке 15.2. К плесеням относятся *лесные грибы*, подробная информация о которых приведена в приложении А.



*Пенициллиум*



*Мукоровый гриб*

*Домовый гриб*

*Рис. 3.2. Некоторые виды плесеней*

**Дрожжи** (одноклеточные молочнокислые бактерии) бывают *дикие* и *культурные*. Последние применяются в пищевой промышленности при изготовлении хлебопродуктов, кефира, пива и вина. Разлагают сахар на спирт и углекислый газ. Размножаются почкованием.

Все микроорганизмы классифицируют:

– **по температуре развития** на *термофилы* (30...80°C), *мезофиллы* (0...50°C) и *криофилы* (-7...+30°C);

– **по отношению к воздуху** на *аэробные*, развивающиеся в воздушной среде, и *анаэробные*, развивающиеся без доступа воздуха.

Микроорганизмы существуют до 20 мин при температуре 60...70°C, до 2 мин – при температуре 80...90°C.

Обычно процессы порчи скоропортящихся грузов протекают по следующим направлениям:

– **окисление и брожение углеводов** (растительные продукты);

– **разложение белков и окисление жиров** (животные продукты).

Основными микробиальными процессами в продуктах являются:

– **ослизнение**– сплошное обсеменение поверхности продукта микроорганизмами (мясо);

– **плесневение**– результат действия плесневых грибов (все продукты);

– **пигментация**– появление пятен на поверхности продукта в результате воздействия пигментных бактерий (мясо, масло, фрукты);

– **кислое брожение**-результат действия молочнокислых бактерий и дрожжей (мясо);

– **загар**– порча продукта изнутри под воздействием анаэробных бактерий (мясо, рыба);

– **гниение**– результат воздействия на продукт гнилостных бактерий и грибков (все продукты).

**Ферментальные процессы в продуктах.** К ним относят:

– *автолиз*, означающий растворение клеточных тканей. Он протекает обычно в продуктах животного происхождения после прекращения жизненных процессов. В начальной стадии протекания автолиз способствует созреванию мяса и рыбы, повышая их качество;

– *дыхание*– процесс, протекающий в продуктах с живыми тканями (яйца, овощи, фрукты, ягоды);

– *прорастание* – процесс жизнедеятельности плодоовощей

### **Контрольные вопросы:**

1. Для чего необходимо знать состав и химические свойства продуктов?
2. Что происходит после заготовки в продуктах?
3. Что является основными причинами порчи?
4. Классифицируйте микроорганизмы.
5. Что являются основными микробиальными процессами в продуктах?

## **§3.4. Основы изменения происходящие в продуктах растительного происхождения при охлаждении и замораживании**

### **§3.4.1. Охлаждение продуктов растительного происхождения**

Для плодов, ягод и овощей охлаждение и хранение в охлажденном состоянии самый надежный и распространенный способ консервирования, в основе которого лежит применение холода для поддержания оптимальных значений температуры, относительной влажности воздуха и воздухообмена.

Хранение свежих плодов и овощей основано на принципе биоэва (поддержание жизнедеятельности за счет естественного иммунитета). Процессы, происходящие в плодах и овощах на всех этапах жизненного цикла,

имеют общебиологическую природу, а процессы, протекающие в период хранения, в значительной степени являются продолжением этих процессов. Однако имеется и принципиальное различие: во время роста наряду с распадом органических веществ происходит активный их синтез, причем процессы синтеза преобладают над процессами распада, а в хранящихся плодах и овощах наблюдается главным образом распад веществ с выделением энергии, необходимой для жизнедеятельности клеток.

При охлаждении и хранении таких продуктов нужно максимально снизить интенсивность биохимических, микробиологических и физико-химических процессов, поддерживая жизнеспособность и естественный иммунитет на минимальном уровне. С этой целью температуру продуктов снижают от исходной до низшей границы физиологической устойчивости, зависящей от видовой (генетической) их особенности.

Режим хранения продукции устанавливают на основе изучения ее свойств, продолжительности хранения, вида упаковки и др. Дополнительные методы консервирования (озонирование, пищевые покрытия, МТС, РГС и др.) позволяют существенно продлить срок хранения при сохранении качества. Особое значение для сохранения качества плодоовощной продукции имеет скорость ее охлаждения сразу после уборки на поле, в саду. Внедрение технологии предварительного охлаждения плодов и овощей в полевых условиях позволяет организовать для этой продукции единую холодильную цепь «от поля до потребителя».

Холодильная обработка один из основных способов сохранения качества ягод, плодов и овощей. Однако ее преимущества используются не полностью, причем это относится в первую очередь к начальному этапу предварительному охлаждению, обеспечивающему благодаря быстрому понижению температуры сокращение потерь от порчи и усушки.

Предварительное охлаждение плодов и овощей представляет собой процесс быстрого понижения их температуры от начальной (после уборки

урожая) до требуемой при последующих технологических операциях (транспортировании, краткосрочном или длительном хранении). При немедленной реализации продукции (поле прилавков) необходимость в холодильной обработке отпадает.

Эффективность предварительного охлаждения связана с положительным влиянием его на факторы, определяющие сохранность продукции. Чем быстрее понизится температура плодов и овощей после сбора, тем продолжительнее будет период хранения их в холодильнике и выше качество. Предварительное охлаждение позволяет снизить интенсивность дыхания плодов и овощей и связанных с ним биохимических процессов, предотвратить значительные потери массы и развитие фитопатогенных микроорганизмов. Показано, что «один день» жизни растительных клеток плодов при температуре 25 °С равен двум дням при температуре 15 °С, четырем - при 10 °С, восьми - при 4 °С и шестнадцати - при 0°С.

Охлаждение непосредственно после сбора обеспечивает сохранение пищевой и биологической ценности продукта, его вкусовых качеств, товарного вида и в конечном итоге повышает рентабельность транспортировки, последующего хранения и реализации продукции.

Быстроохлажденные плоды и овощи дольше сохраняют устойчивость к возбудителям болезней, развитие же самих возбудителей (бактерий, плесневых грибов, дрожжей) при быстром охлаждении значительно замедляется. В результате сокращаются потери плодов и овощей от перезревания, усушки, заболеваний и порчи. При этом увеличиваются сроки холодильного хранения яблок, груш, винограда на 1 -1,5 мес, косточковых на 0,5 мес, ягод на неделю и более, овощей (в зависимости от вида и сорта) от нескольких недель до нескольких месяцев.

Преимуществом предварительного охлаждения является и то, что при загрузке в камеры хранения охлажденной плодоовощной продукции возможны единовременное заполнение всего их объема и создание наиболее

оптимального и стабильного температурного режима уже на начальных этапах хранения. Это обеспечивается быстрым отводом теплоты от поступающей продукции еще до ее размещения на хранение. При загрузке плодов на хранение отдельными партиями без предварительного охлаждения высокая нагрузка на компрессорное холодильное оборудование сохраняется в течение всего периода загрузки (10 суток и более) и продолжается в течение 3 суток после нее. Продолжительное нахождение продукции при температуре выше оптимальной отрицательно сказывается на ее качестве, а дозагрузка неохлажденных партий нарушает созданный температурный режим, может вызвать появление конденсата на поверхности ранее загруженной и уже охлажденной продукции, увеличивает ее порчу и потери массы.

При транспортировке предварительно охлажденной продукции создается стабильный температурно-влажностный режим, обеспечивающий сокращение потерь от порчи на 3 -12 % и увеличение выхода стандартной продукции по прибытии в места назначения на 10 -25 %. В развитых странах предварительному охлаждению подвергают более 50 % плодоовощной продукции.

Существуют различные способы предварительного охлаждения: в потоке воздуха; в потоке воздуха, обусловленном разностью давлений; жидкостное (гидроохлаждение) ледяной водой орошением или погружением; снегование; вакуумное в специальных вакуумных охладителях; комбинированное. По скорости наиболее эффективно вакуумное охлаждение, затем гидроохлаждение, снегование и воздушное охлаждение. Однако наибольшее распространение получил воздушный способ в разных модификациях. Воздушный способ охлаждения может применяться:

- В обычных камерах холодильного хранения при средней скорости движения воздуха 1 -1,5 м/с и умеренной кратности циркуляции 30-40 объемов/ч;

- Тоннельных камерах предварительного охлаждения или камерах другого типа при сравнительно больших скоростях движения воздуха (3-4 м/с) и повышенной кратности его циркуляции (60-100 объемов/ч);
- Специальных аппаратах интенсивного охлаждения воздухом при повышенных скоростях движения (до 5 м/с) и значительной кратности его циркуляции (до 150 объемов/ч).

Эффективность предварительного охлаждения продуктов в значительной степени определяется его способом и режимом. Обилие видов и сортов плодоовощной продукции, специфические условия ее выращивания определяют разнообразие режимов предварительного охлаждения.

Важную роль в установлении режима предварительного охлаждения играет неодинаковое у плодов и ягод замедление послеуборочного созревания и старения. Замедление созревания наблюдается в большей степени у плодов, чем у ягод. При значительном снижении интенсивности дыхания в предварительно охлажденных плодах накапливается меньше неорганического фосфора, что косвенно свидетельствует о более существенном снижении энергетической активности дыхания. В плодах после предварительного охлаждения медленнее, чем в ягодах, уменьшается содержание протопектина и задерживается размягчение ткани. Замедляются также накопление красящих веществ и возрастание сахарокислотного индекса, определяемого снижением содержания органических кислот.

Установлено, что для ягод с низкой устойчивостью к возбудителям и быстрым старением тканей определяющим моментом в установлении режима предварительного охлаждения являются быстрота и степень ингибирования микрофлоры. Для долгохранящихся и некоторых малолежких плодов важное значение имеют степень замедления послеуборочного дозревания и стабилизация устойчивости к возбудителям. При этом эффект ослабевает по мере увеличения степени зрелости плодов. Воздействие предварительного охлаждения сильнее сказывается на товарном качестве плодов технической

зрелости, чем потребительской. Интенсивность дыхания некоторых плодов в стадии технической зрелости после охлаждения уменьшается в 4 -5 раз. Во время кратковременного хранения и транспортирования практически не изменяется содержание органических кислот, пигментов, сохраняется высокая плотность ткани.

Режим охлаждения характеризуется конечной температурой продукта, продолжительностью периода охлаждения при регламентируемом температурно-влажностном режиме, скоростью потока охлаждающей среды, кратностью ее циркуляции, системой воздухораспределения и др.

Важным элементом технологии предварительного охлаждения является допустимая продолжительность времени между сбором продукции и началом ее охлаждения. Для большинства ягод, плодов и овощей охлаждение необходимо проводить в короткие сроки после сбора. Так, для земляники этот период составляет 1-4 ч, а его увеличение до 6 -7 ч приводит к возрастанию общих потерь при хранении в 2 -5 раз. При этом в землянике, охлажденной в короткий срок после сбора, стабилизируется содержание витамина С и Р-активных соединений. Охлаждение зрелых томатов в течение 1-4 ч после сбора сокращает их потери в 1,5-2 раза. При сокращении времени нахождения персиков в саду после сбора с 24 до 10 или 4 ч потери массы от усушки сокращаются соответственно в 2 или 4 раза, а перезревших плодов - в 4 или 9 раз.

Для общего результата важна также продолжительность до охлаждения ягод до конечной температуры хранения. При одинаковой продолжительности предварительного охлаждения ягод (3 ч) увеличение периода до охлаждения с 2 до 15 ч обеспечивает прирост выхода стандартной продукции к концу хранения на 5-10 %. У яблок увеличение периода до охлаждения до 130-150 ч обеспечивает увеличение выхода стандартной продукции до 12-15%. Такой эффект связан с тем, что при быстром темпе предварительного охлаждения возникает несбалансированность реакций, которые катализируют ферменты,

имеющие различный температурный оптимум. Результатом такой несбалансированности является накопление ряда промежуточных соединений, по-разному вовлекаемых в обмен веществ, и вследствие этого его общее нарушение. Одним из таких нарушений является снижение энергетической эффективности дыхания, которое меньше проявляется в медленно охлаждаемых после быстрого предварительного охлаждения ягодах и плодах. Наиболее стремительно все эти процессы протекают в косточковых плодах и ягодах.

Предварительное охлаждение косточковых плодов и ягод рекомендуется проводить быстро. Поскольку для косточковых плодов и ягод характерны интенсивное дыхание, короткие сроки послеуборочных процессов перезревания, ослабленная устойчивость к возбудителям заболеваний, они уязвимы для микробиологической порчи. Кроме того, велики потери от усушки и перезревания при повышенных температурах хранения. Для сокращения потерь косточковые плоды и ягоды рекомендуется перед транспортированием охлаждать до следующих температур: вишню, черешню, абрикосы  $-3^{\circ}\text{C}$ ; персики, землянику  $-4^{\circ}\text{C}$ ; сливы  $-7^{\circ}\text{C}$ . В результате такого охлаждения сроки последующего хранения при температуре около  $1^{\circ}\text{C}$  увеличиваются: земляники и малины -до 10 дней; черной смородины, крыжовника -до 20; белой и красной смородины -до 45; вишни, черешни и слив -до 25-90 дней.

При отсутствии камер предварительного охлаждения процесс осуществляют в камерах действующих холодильников. За период не более 1 - 2 суток после сбора урожая температуру продукции в зависимости от вида доводят до  $+1... -1^{\circ}\text{C}$ . Путем интенсификации можно сократить время воздушного охлаждения до 16 -80 мин, а применяя гидроохлаждение, еще более ускорить процесс.

Разработаны режимы гидроохлаждения: для черешни  $1-2^{\circ}\text{C}$ , абрикосов  $2-4^{\circ}\text{C}$ , слив  $3-6^{\circ}\text{C}$ . Обработка может проводиться как методом погружения,

так и орошения. При использовании гидроорошения в воду, как правило, добавляют антисептические вещества (беномил, сантоквин и др.) во избежание микробиологического обсеменения всей продукции.

Для семечковых плодов, винограда, цитрусовых и некоторых Других плодов, у которых интенсивность дыхания ниже, а устойчивость к микроорганизмам больше, темпы предварительного охлаждения можно замедлить. При этом важное значение имеет степень зрелости продукции. Так, зрелые яблоки в зависимости от сортовых и других особенностей охлаждают до 0-5°C, а незрелые -до 7-9 °C с последующим понижением температуры каждые 15-20 дней на 1-2°C.

Предварительное охлаждение винограда проводят воздухом до температуры 2 -8°C с последующим доохлаждением в камере хранения. При этом снижаются в несколько раз потери от порчи и увеличивается выход стандартной продукции.

Предварительное охлаждение овощей применяют как перед транспортированием, так и перед хранением.

Для большинства овощей требуется быстрое охлаждение, так как при дыхании они выделяют довольно значительное количество теплоты. Продолжительность охлаждения в зависимости от применяемого способа составляет от нескольких минут до нескольких часов или суток.

Воздушное охлаждение плодов и овощей проводят перед краткосрочным или длительным хранением в специализированных холодильных камерах или туннелях до температуры 2 -15 °C в соответствии с особенностями растительного сырья. Продолжительность охлаждения составляет от 3 -5 до 80 -100 мин и более. Зеленую фасоль и огурцы охлаждают и хранят при температуре 5 и 9 °C в течение соответственно 20 и 9 дней. Цветная капуста при 0°C сохраняется 30 -40 дней, а сладкий перец при температуре до 2°C -до 35 дней.

Режимы предварительного охлаждения овощей воздухом зависят от их зрелости и назначения. Так, незрелые томаты рекомендуется охлаждать медленно - в течение 96 ч до температуры 8 °С, а при последующем хранении периодически (два-три раза) повышать температуру до 20 °С (каждый раз в течение 3 суток), что обеспечивает ровное дозревание томатов и улучшает их качество. Для зрелых плодов эффективно быстрое понижение температуры до 0 °С, в результате потери сухих веществ снижаются в три раза и увеличивается срок хранения на 4 -7 суток.

На основе опыта перевозок скоропортящихся продуктов Международным институтом холода разработаны общие рекомендации по температурным режимам загружаемой в холодильный транспорт овощной продукции. Так, огурцы перед перевозкой охлаждают до 10 -15°С, перец -7-10, дыни - 4-10, капусту - 0-8, зелень - 0-10°С.

Влажность воздуха поддерживают на уровне 85-90 %, что позволяет снизить потери массы и обеспечить длительное хранение овощей.

Установлено, что повышение влажности до 98-100 % в период охлаждения и хранения положительно сказывается на сохраняемости моркови, репы, брюквы, свеклы, сельдерея, цветной и брюссельской капусты и др. При этом уменьшаются потери массы, сохраняется тургор тканей, а в некоторых случаях снижается выделение пектолитических ферментов микроорганизмами, что замедляет размягчение тканей.

Стабильное поддержание высокой относительной влажности при такой же стабильности температурного режима исключает подмораживание и выпадение конденсата на поверхности овощей, позволяет существенно удлинить период их хранения. Высокая относительная влажность в сочетании с модифицированной газовой средой позволяет на 30-40 % увеличить выход стандартной продукции.

Поддержание высокой относительной влажности особенно важно при охлаждении и хранении зелени и листовых овощей. Для сохранности овощей

при краткосрочных перевозках эффективны снегование или пересыпка чешуйчатым льдом. Это позволяет при отсутствии более совершенных средств поддерживать высокую влажность и одновременно способствует быстрому охлаждению продукции.

В целях сокращения потерь массы и более быстрого охлаждения (3-30 мин) для некоторых овощей (морковь, капуста и др.) применяют гидроохлаждение до температуры 0-5°C. Продолжительность охлаждения зависит от вида продукции, начальной и конечной его температур и способа гидроохлаждения. Наиболее широко применяют метод гидроорошения, когда продукция в таре движется по конвейеру в туннеле и орошается холодной водой под давлением через распылительные форсунки.

Для предупреждения развития фитопатогенных микроорганизмов в условиях повышенного увлажнения в воду добавляют антисептики.

Более эффективен и широко применяем для охлаждения овощей, имеющих большую поверхность испарения, вакуум-испарительный метод. Суть его в том, что в условиях разрежения (для овощей 798-930 Па) происходят вскипание и испарение влаги с поверхности (частично из клеток) овощей и за счет выделения скрытой теплоты испарения продукт быстро охлаждается (по всему объему партии за несколько минут). Преимущество метода -пригоден и для затаренной продукции в транспортную упаковку, недостаток -потери массы продукта составляют 1,5-2,5%, что ограничивает ассортимент продуктов, подвергаемых вакуум-испарительному охлаждению. Метод малоприменим для таких овощей, как томаты, огурцы, зеленый перец, морковь.

Для сокращения потерь массы продукта может применяться гидровакуумное охлаждение путем распыления влаги.

Использование вакуумной обработки ограничивается тем, что удаляются не только пары воды, но и газы, что существенно сказывается на протекании биохимических и физиологических процессов в тканях. При этом

мягкое вакуумирование способствует торможению созревания, так как оно связано лишь с улучшением газообмена.

Резкое многократное вакуумирование, напротив, приводит к Ускорению биохимических процессов. В этом случае главным действующим фактором является резкое повышение давления (сброс вакуума) -переход от более низкого давления к высокому, что вызывает микротравмирование тканей, а это, в свою очередь, стимулирует раневые реакции, следствием которых является ускорение созревания.

При комбинированном охлаждении продукты могут сначала подвергаться вакуумному охлаждению до температуры 10-15°C, а затем до охлаждаться воздухом в холодильной камере хранения. Это позволяет быстро снять тепловую нагрузку в начальный период охлаждения.

Вакуумное охлаждение широко используют за рубежом для охлаждения грибов, листовой зелени, салата и т.д. в промышленных масштабах.

### **§3.4.2. Изменение состава и свойств плодов и овощей**

При охлаждении и последующем хранении в плодах и овощах происходят микробиологические, биохимические, химические, физические процессы, вызывающие изменения состава, свойств и в конечном итоге товарного вида, а также потребительских достоинств плодоовощной продукции. При этом наиболее важное значение (по скорости и масштабам порчи) имеют микробиологические процессы.

Необходимым условием развития микроорганизмов является наличие в продукте или на его поверхности воды в доступной для них форме. Потребность микроорганизмов в воде может быть выражена количественно в виде активности воды, которая зависит от концентрации растворенных веществ и степени их диссоциации.

Развитие микрофлоры при понижении температуры резко тормозится, причем тем больше, чем ближе температура к точке замерзания тканевой жидкости продукта. Эффект влияния понижения температуры на микробную клетку обусловлен нарушением сложной взаимосвязи метаболических реакций в результате различного уровня изменений их скоростей и повреждением молекулярного механизма активного переноса растворимых веществ через клеточную мембрану. Наряду с этим происходит изменение и качественного состава микроорганизмов. Некоторые группы их размножаются и при низких температурах, вызывая заражение травмированных при уборке и транспортировке плодов и овощей. Затем инфекция распространяется и на здоровые, неповрежденные плоды и овощи.

Особенно опасны болезни, возникающие в поздний период вегетации, поскольку на хранение могут быть заложены больные плоды и овощи, что приводит к инфицированию всей товарной массы. Наиболее распространенные болезни - **черная плесневидная** и **мокрая бактериальная гнили**. Благодаря наличию плотной оболочки, покрытой воском, плоды более устойчивы к действию патогенной микрофлоры, чем овощи.

На интенсивность развития микробиологических процессов влияет влагосодержание поверхностных слоев продукта. Испарение влаги с поверхности в процессе охлаждения плодов и овощей не компенсируется миграцией воды из внутренних слоев, что приводит к увеличению концентрации растворенных компонентов и понижению активности воды и, как следствие, к подавлению жизнедеятельности микроорганизмов. Уровень снижения влагосодержания зависит от степени гидрофильности клеточных коллоидов, анатомического строения и состояния покровных тканей, условий и режимов холодильной обработки, степени зрелости, упаковки, способов и сроков хранения, интенсивности дыхания и других факторов.

Различные виды и сорта плодов и овощей неодинаково устойчивы к микробиологическим заболеваниям, что определяется их восприимчивостью

к последним, проявляющейся в результате непосредственного контакта продуктов с фитопатогенными микроорганизмами.

Большая или меньшая устойчивость плодов и овощей к микроорганизмам или полная невосприимчивость, основанная на несовместимости растительного организма и паразита, - наследственный признак, который регулируется генетическим аппаратом организма. Микроорганизмы обладают высокой адаптацией к защитным механизмам плодов и овощей, которые по мере созревания теряют иммунитет.

Устойчивость плодов и овощей к заболеваниям при хранении определяется многими взаимосвязанными биологическими факторами: анатомическим строением, образованием раневой перидермы, выделением бактерицидных веществ, реакцией сверхчувствительности, характером внутриклеточного обмена и главным образом дыханием. При хранении в результате дыхания происходит распад сложных органических веществ, накопленных плодами и овощами вовремя их роста и формирования, до более простых, сопровождающийся выделением энергии и испарением влаги.

В разные периоды роста и развития плодов и овощей характер их дыхания неодинаков. Наиболее высокая его активность наблюдается в период созревания, особенно на первых этапах роста, затем она снижается и через некоторое время снова повышается. В период созревания (при хранении) в яблоках, грушах, бананах, томатах, дынях наблюдается интенсивный подъем дыхания (климактерис), затем спад. В следующий период плоды перезревают и становятся менее устойчивыми к заболеваниям.

В охлажденных плодах и овощах в периоды дозревания и созревания происходят изменения окраски, вкуса, аромата, консистенции, в результате чего формируются их высокие потребительские достоинства. Периодам дозревания и созревания плодов и овощей соответствуют предклимактерический (с низким уровнем дыхания) и климактерический (с максимальным уровнем дыхания) периоды.

Пониженные температуры тормозят интенсивность климактерического подъема дыхания, растягивая его во времени, способствуют удлинению сроков хранения. Состояние климактерия - это поворотный пункт в жизни плода, когда его развитие и созревание уже закончены, а разрушение еще не началось. В постклимактерический период (интенсивность дыхания снижается) в плодах начинаются необратимые изменения.

Климактерический подъем дыхания протекает у разных плодов неодинаково и отражает скорость их созревания. Так, у яблок и груш он длится несколько недель, у бананов -от 1 до 3 суток, а у апельсинов и лимонов он отсутствует вообще.

Вегетативные овощи с наступлением конца лета -началом осени переходят в состояние покоя, т.е. естественного приспособления к неблагоприятным условиям внешней среды. Происходит временная приостановка, задержка всех жизненных процессов, причем продолжительность состояния покоя у отдельных видов и сортов овощей различна.

В состоянии естественного покоя возникают внешне не проявляющиеся специфические изменения, без которых невозможен последующий переход растения к активной жизни. При неблагоприятных условиях хранения растения могут перейти в состояние вынужденного покоя.

Для сохранения овощей необходимо создать условия для предотвращения прорастания, т.е. обеспечить длительное и устойчивое состояние естественного и вынужденного покоя. Длительность и глубина покоя регулируются фитогормонами и природными ингибиторами роста.

При переходе овощей в состояние покоя интенсивность дыхания уменьшается, в результате происходят сложные изменения в протоплазме клеток: клетка обогащается жирами и фосфолипидами, гидрофильность коллоидов снижается, оводненность уменьшается, проницаемость клеточной оболочки понижается.

В конце хранения (весной) дыхание вегетативных овощей возрастает в связи с начавшимися процессами прорастания (окончанием периода покоя и переходом к генеративной стадии развития). К моменту окончания периода покоя в овощах понижается содержание ингибиторов и возрастает действие стимуляторов роста, которые усиливают интенсивность дыхания, активизируются гидролитические и окислительные процессы. При повышении ферментативной активности покоящихся тканей используются запасные вещества, являющиеся источниками энергии, и пластические соединения в процессе биосинтеза новых клеток и тканей проростка. Энергия связи воды с компонентами клеток уменьшается, доля более подвижной воды увеличивается, устойчивость запасяющих тканей к фитопатологическим заболеваниям и их способность к синтезу защитных соединений ослабевают. По мере развития процессов роста снижается содержание питательных веществ в овощах.

Процесс дыхания довольно сложный и протекает через ряд промежуточных превращений веществ с участием ферментов. При аэробном дыхании происходит поглощение кислорода, сопровождающееся (при участии тканевых ферментов) окислением органических веществ с последующим выделением углекислого газа, воды и энергии. Плоды и овощи в первую очередь расходуют углеводы, затем органические кислоты, азотистые, пектиновые, дубильные вещества, гликозиды и др. По мере изменения дыхательного субстрата изменяется и дыхательный коэффициент (ДК), определяемый как отношение объема выделенного  $\text{CO}_2$  к объему поглощенного  $\text{O}_2$ . Величина дыхательного коэффициента зависит от многих причин, в том числе и от доли сахаров и кислот, вовлекаемых клеткой в процесс дыхания.

Энергия, выделяемая при дыхании плодов и овощей, частично используется клеткой для обменных реакций и на процесс испарения,

запасается в виде химически связанной энергии в АТФ, а также в большом количестве уходит в воздух камеры в виде теплоты.

При усилении анаэробных процессов возрастают количество  $\text{CO}_2$  и величина ДК, энергии при этом выделяется значительно меньше, чем при аэробном дыхании. Для обеспечения себя необходимой энергией плоды и овощи вынуждены увеличить расход дыхательного субстрата, что ведет к потере массы.

Интенсивность дыхания зависит от вида, сорта плодов и овощей, степени их зрелости, газового состава тканей и среды, температуры и др.

Замедление скорости внутриклеточных реакций при пониженных температурах приводит к снижению интенсивности дыхания. Однако в результате испарения воды оно может возрасти, причем интенсивность испарения влаги зависит не только от параметров охлаждающей среды, но и от объекта. Значительные размеры паренхимных клеток и межклетников, небольшая толщина покровных клеток определяют интенсивность испарения воды плодов и особенно овощей.

Испарение влаги при хранении плодов и овощей нарушает нормальное течение обмена веществ в тканях, вызывает ослабление тургора и увядание. Последнее происходит, как правило, не по всей поверхности плода и овоща, а только на отдельном участке (со слабой покровной тканью). Так, морковь начинает увядать с конца корня, яблоки и груши - с участка около чашечки. Увядание ускоряет процессы распада содержащихся в клетках веществ, увеличивает их расход на дыхание, нарушает энергетический баланс.

Под влиянием охлаждения изменяются вязкость и подвижность Протоплазмы, что приводит к нарушению ее структуры, тем самым снижается жизнеспособность клетки.

Для сохранения нормальной жизнедеятельности плодов и овощей при одновременном максимальном понижении интенсивности процессов обмена температура должна быть достаточно низкой, но не ниже физиологических

возможностей, определяемых видовыми особенностями организма, а во избежание подмораживания - как минимум на 1 °С превышать криоскопическую температуру продукта.

При резком понижении температуры может возникнуть частично разобщение дыхания, в результате возрастает тепловыделение.

В процессе холодильного хранения плодов и овощей происходит существенное изменение углеводов, пектиновых веществ, витаминов, которые в значительной степени определяют пищевую ценность этих продуктов. Особенно значительные изменения наблюдаются в углеводах, которые расходуются клетками в процессе жизнедеятельности в период послеуборочного дозревания. Содержание крахмала в некоторых плодах и овощах уменьшается вследствие его ферментативного осахаривания. Общее количество сахаров при этом возрастает, а затем начинает снижаться, так как расходуется на дыхание. В некоторых культурах крахмал при хранении синтезируется (фасоль, сахарная кукуруза, овощной горох и др.).

При хранении картофеля в клубнях с понижением температуры в определенных пределах происходит накопление сахаров, а при повышении ее возрастает синтез крахмала из сахаров, что связано с активностью ферментов, катализирующих прямую и обратную реакции и имеющих различный температурный оптимум.

В процессе хранения количество сахарозы, протопектина, гемицеллюлоз, органических кислот обычно снижается, а растворимого пектина увеличивается. В результате перехода части протопектина в пектин твердость плодов уменьшается. Скорость превращения углеводов, а также характер их изменений зависят от вида и сорта плодов, степени зрелости, условий хранения и других факторов.

Существенное влияние на качество и сохраняемость плодов оказывают превращения в пектиновом комплексе. По мере старения плодов растворимый пектин распадается до полигалактуроновой кислоты и метилового спирта, в

результате происходят разрыхление тканей, отравление клеток, возникают функциональные расстройства. Содержание полифенолов в плодах и овощах за счет гидролиза быстро снижается, образуется множество других соединений, что отражается на вкусе и аромате продуктов.

Во время хранения изменяется витаминный состав плодов и овощей. Наибольшим изменениям (особенно в период перезревания) подвергается витамин С. Наименьшие потери витамина С у цитрусовых. С понижением температуры хранения потери витамина С уменьшаются. В процессе хранения увеличивается количество каротиноидов, а количество хлорофилла снижается.

На качество продуктов в период охлаждения и хранения влияет взаимодействие с внешней средой: возникает тепло-, влаго- и газообмен, интенсифицируются процессы окисления кислородом воздуха.

Режим хранения охлажденных продуктов растительного происхождения должен обеспечивать условия, определяемые естественным иммунитетом, при максимальном снижении интенсивности биохимических процессов и подавлении развития микрофлоры (табл. 3.2.).

*Табл.3.2.*

*Рекомендуемые режимы и продолжительность холодильного хранения  
некоторых плодов и овощей*

*(по данным Н.А. Моисеевой и И.Л. Волкинда)*

Плоды и овощи	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Срок хранения, месяцев
Абрикосы	-0,5	90	До 1
Айва	0	90	2
Апельсины:	2	85-90	2-4
желтые	3-4	85-90	До 5
недозрелые	5-6	85-90	До 5
Бананы:			

зеленые	14-16	85-90	10 -20 дней
зрелые	13-14	85-90	5 -10 дней
Виноград	0...-2	85-90	1-6
Гранаты	-1...-2	90	2-3
Груши:			
летние	-0,5	90	До 1
зимние	-1...-2	90	4-5
Дыни	0-1	85-90	2-3
Яблоки:			
летние	1-3	85-90	До 1
зимние	0...-2	85-90	5-8
Арбузы	2-3	85-90	До 2
Баклажаны	7-10	85-90	До 10 дней
Зеленый горошек	-0,5...0	85-90	1 -3 недели
Зеленые овощи (салат, шпинат, лук)	0	90-95	5 -10 дней
Кабачки	0-4	85-90	До 2
Капуста белокочанная:			
ранняя	0...-0,5	85-90	До 1
поздняя	+0,5...-1	85-90	6-8
Картофель:			
ранний	3-4	85-90	2 недели
поздний	3-4	85-90	4-8
Лук репчатый	-2	70-75	4-8
Морковь	0...-0,5	90-95	4-6
Патиссоны	0	90-95	2-4
Перец стручковый:			
острый	7-10	85-90	1
сладкий	0-1	85-90	8 -10 дней

Петрушка	0-1	85-90	1-2
Редис	0	90-95	3 недели
Свекла	0	90-95	3-5
Томаты:			
зеленые	11-13	85-90	3-4 недели
Бурые	1-2	85-90	До 1
красные	0	90-95	До 2 недели
Тыква	10-13	70-75	2-6
Хрен	0...-1	90-95	До 10
Чеснок	0...-1,5	70-75	6-7

Необходимо осуществлять контроль за соблюдением технологического режима хранения, качеством и сохранностью плодов и овощей.

Температуру, относительную влажность и скорость движения воздуха контролируют и регистрируют в течение всего периода хранения. На современных холодильниках контроль за режимом и параметрами хранения осуществляется автоматически с применением ЭВМ.

Плоды и овощи, которые хранят в холодильниках, размещенных в местах сбора, направляют непосредственно на реализацию или на распределительные холодильники в местах потребления. При этом очень важно при перегрузке и транспортировании соблюдать непрерывность холодильной цепи.

Некоторые плоды и овощи (груши, томаты и др.) в процессе хранения не дозревают, поэтому за несколько суток до реализации их переносят в помещение с усиленной циркуляцией воздуха (при температуре 18-20 °С и относительной влажности 90%). Переборку, сортировку, перетаривание плодов и овощей из санитарных соображений также целесообразно проводить в специальных помещениях.

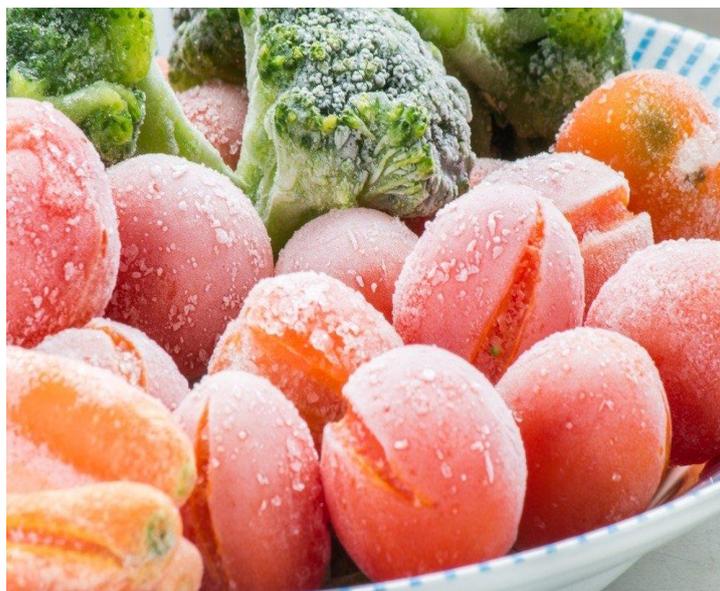
В целях поддержания оптимального температурно-влажностного режима, сохранения качества продукции и экономичности хранения рекомендуется:

- Максимально ограничивать теплопритоки в камеры, сокращать сроки их загрузки, поддерживать равномерность температурного поля;
- Вентилировать камеры летом в ночные часы, зимой - в дневные;
- Использовать тару с равновесной влажностью, соответствующей параметрам воздуха в камере;
- Хранить плоды и овощи со слабой водоудерживающей способностью в камерах меньшей вместимости;
- Камеры длительного хранения загружать полностью;
- Экранировать штабеля в частично загруженной камере или перегружать продукцию в камеру меньшей вместимости;
- Соблюдать правила хранения различных групп плодов и овощей, не допуская совместного хранения продукции, требующей разного температурно-влажностного режима.

Определяющим фактором сохранения высоких потребительских свойств замороженных плодов и овощей является температурный режим. Понижение температуры уменьшает потери массы и интенсивность необратимых изменений их качества.

Стойкость продуктов растительного происхождения к микроорганизмам при хранении в значительной степени зависит от их первоначальной зараженности. Важное значение имеет постоянство температурно-влажностного режима, так как даже незначительные его колебания приводят к перекристаллизации в тканях и сублимации влаги.

Оптимальным режимом хранения замороженных плодов и овощей являются температура  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  и относительная влажность воздуха 95 -98 %.



*Рис. 3.3.Замораживание продуктов растительного происхождения*

Хранение замороженной продукции самый эффективный способ. Хранения быстро портящейся плодовоовощной продукции – хранение замороженных продуктов. Хранение такой продукции происходит при температуре не превышающей  $-18^{\circ}\text{C}$  в специальных хранилищах при влажности воздуха 95-98%.

Быстрая заморозка происходит в аппаратах шоковой заморозки при температуре  $-36^{\circ}\text{C}$ . Система шоковой заморозки, как правило, состоит из: конвейера (спирального или многоярусного), теплоизолированной камеры, теплообменных блоков с высоконапорными вентиляторами, холодильного компрессорного агрегата, щита управления.

При заморозке происходит практически полное прекращение деятельности микроорганизмов. Разные виды бактерий способные выживать при отрицательных температурах не успевают развиваться при шоковой заморозке.

Благодаря ускорению в несколько раз процесса заморозки по сравнению с аналогичным процессом в холодильных камерах, вся влага, содержащаяся в плоде, превращается в лёд без образования крупных гранул способных повредить структуру ткани. При этом клетки растений не повреждаются

благодаря одновременному замерзанию клеточных и межклеточных пространств.

Преимуществом заморозки является чистота метода. Продукция не подвергается предварительной химической и термической обработке сохраняя естественный биохимический состав. Исключением является обработка некоторых ягод и фруктов антиокислителями (аскорбиновой, лимонной кислотой и др.) для сохранения натурального цвета и уменьшения потерь витамина С.

Метод шоковой заморозки сокращает потери массы при хранении до 0,8%, при заморозке в обычном режиме он составляет 5-10%. Потребление быстрозамороженной продукции за рубежом составляет от 5 до 50 кг на душу населения, в СНГ -0,5 кг.

Консервирование плодоовощной продукции замораживанием позволяет сгладить сезонность в ее потреблении, насытить рацион жизненно необходимыми витаминами, минеральными элементами, сократить время приготовления пищи, значительно улучшить её санитарно-гигиенические показатели. В качестве полуфабриката замороженные плоды, овощи и ягоды - прекрасное сырье для промышленного производства многих других продуктов (фруктовые и молочные кремы, йогурты, мороженое, кондитерские изделия и др.). Значительную долю концентратов фруктовых соков в мире в настоящее время получают методом замораживания (криоконцентрация).

**Способы замораживания.** Все способы замораживания подразделяют по виду теплообмена на конвективные, кондуктивные, испарительно-конденсационные, смешанные.

*Замораживание воздушным способом* проводят в морозильных камерах и туннельных морозильных аппаратах. Последние отличаются интенсивностью движения воздуха (4-12 м/с) и незначительной продолжительностью замораживания. В зависимости от вида продукта и типа холодильной установки продолжительность замораживания плодов и овощей

при температуре  $-25...-45$  °С составляет от нескольких минут до нескольких часов.

Преимущество туннельных морозильных камер -универсальность: в них можно замораживать пищевые продукты разной формы, размера и в различной упаковке.

Основные критерии при выборе способа замораживания -быстрота и экономичность процесса. При этом количество теплоты, отводимой воздухом от продукта, прямо пропорционально площади контакта воздуха с продуктом, разности температур воздуха и продукта и коэффициенту теплопередачи от продукта воздуху.

*Замораживание в «кипящем слое»* (флюидизационный способ) происходит под действием подаваемого восходящего потока холодного воздуха, достаточного для поддержания продукта во взвешенном состоянии. Последнее достигается с помощью мощного потока воздуха, подаваемого вентиляторами через охлаждающую батарею, а затем через слой замораживаемого продукта, находящегося, как правило, на сетчатой ленте конвейера. Проходя через отверстия ленты, воздух поднимает частицы продукта, отделяет их друг от друга и удерживает во взвешенном состоянии. В установках без сетчатой ленты замораживаемый продукт не только поддерживается потоком воздуха во взвешенном состоянии, но и направленным движением перемещается в установке.

Способ флюидизации применяют для замораживания неупакованных мелких или нарезанных плодов и овощей диаметром до 40 мм длиной до 125 мм. Из продуктов, полученных этим способом, можно готовить различные смеси. Кроме того, легче механизировать упаковку таких овощей и плодов, осуществлять их дозировку и употреблять по мере надобности.

Флюидизационные аппараты имеют широкий диапазон производительности -от 0,5 до 15 т/сут, а теплообмен в них протекает интенсивнее, чем в обычных воздушных аппаратах.

При *контактном способе замораживания* продукт зажимается между двумя металлическими плитами, в которых циркулирует жидкий или кипящий хладоноситель. Важное условие равномерность толщины загружаемых порций по всей поверхности плиты. В противном случае ухудшается контакт плиты с остальным продуктом и увеличивается продолжительность замораживания. Контактные плиточные аппараты непригодны для замораживания продуктов неправильной формы. При температуре кипения хладагента  $-35...-45^{\circ}\text{C}$  продолжительность замораживания продукта в упаковке 0,5 кг составляет 1-3 ч, а небольших порций при толщине 50 мм - до 1 ч.

В кипящих хладоносителях (жидкий воздух, азот, фреон, диоксид углерода) обеспечивается сверхбыстрое замораживание продуктов. В этом случае вся поверхность продукта участвует в теплообмене, а очень низкие температуры ( $-40...-196^{\circ}\text{C}$ ) обеспечивают замораживание за несколько минут.

*Комбинированный способ замораживания* с использованием низкотемпературной газовой среды, создаваемой в результате испарения жидкого хладоносителя, позволяет избежать механических повреждений продуктов льдом.

*Замораживание с использованием испарительно-конденсационно-го обмена* применяют, как правило, в случаях, когда удаление влаги из продукта способствует проведению какого-либо последующего процесса, например сублимационной сушки. На первом этапе под вакуумом вследствие бурного испарения воды из продукта понижается его температура и образуются кристаллы водяного льда, а затем уже под глубоким вакуумом осуществляется сублимация водного льда, тем самым обеспечивается обезвоживание продукта.

**Отбор сырья.** Пригодность растительного сырья для замораживания, а также качество замороженной продукции определяются прежде всего

генетическими особенностями сортов и видов, степенью созревания, условиями вегетации, сбора, транспортировки и предварительной обработки.

Для получения высококачественной продукции следует отбирать сырье соответствующей степени зрелости, пригодное для замораживания.

Плоды, собранные в стадии полной зрелости, при размораживании часто размягчаются. Чтобы лучше сохранить форму плодов, быстрое замораживание следует проводить до наступления стадии биологической зрелости.

На качество продукции существенно влияет также время от сбора продукции до ее замораживания. При удлинении этого срока до нескольких дней ослабляется консистенция мякоти после ее размораживания.

На крупнейших зарубежных предприятиях по производству замороженной плодоовощной продукции продолжительное хранение сырья от момента сбора до начала переработки сокращена до 1,5 ч. Если невозможно переработать продукцию сразу после уборки, свежие плоды и ягоды следует немедленно охладить и хранить до замораживания при температуре от 0 до 6 °С в зависимости от вида сырья от 5 ч до 7 суток.

Важный показатель пригодности растительного сырья для замораживания - влаго удерживающая способность, которая определяется его видовыми свойствами, а также зависит от условий обработки, замораживания и хранения.

Вода в тканях удерживается посредством химических связей с протеинами, полисахаридами, пектиновыми соединениями. Отдельные сорта плодов и ягод в большей степени подходят для замораживания, так как их ткани обладают высокой влагоудерживающей способностью.

Влагоудерживающая способность плодов и ягод при замораживании снижается, так как кристаллы льда повреждают клеточные мембраны. При этом существенное значение имеет предварительная подготовка сырья к замораживанию.

Основные этапы подготовки растительного сырья к замораживанию инспекция, сортировка, калибровка. В процессе этих операций удаляют посторонние примеси, перезревшие, недозревшие, больные, поврежденные при транспортировании плоды, ягоды, овощи. Для каждой замораживаемой партии отбирают продукцию одинакового размера, одной степени зрелости и окраски.

Отсортированное сырье моют проточной водой, причем такие ягоды, как земляника, малина и др., должны находиться в воде минимальное время. После мойки проводят повторные сортировку и калибровку, что обеспечивает однородность партий продукта. Подготовленное сырье подсушивают и замораживают без сахара, с сахаром и в сахарном сиропе. Замораживание с сахаром предохраняет плоды от окислительного действия кислорода воздуха, тормозит ферментативные и микробиологические процессы, способствует лучшему сохранению вкуса и аромата. Кроме того, растворы сахара обладают криопротекторными свойствами, что позволяет уменьшить повреждающее действие кристаллов льда. Во избежание растрескивания плоды, ягоды, виноград предварительно охлаждают до 0-1<sup>0</sup>С, а затем быстро замораживают при -35<sup>0</sup>С до заданной конечной температуры в центре продукта (-18...-25<sup>0</sup>С).

Овощи при замораживании сортируют по качеству, иногда по размеру, моют, очищают, режут, как правило, бланшируют (кроме томатов, баклажанов, перца) в целях разрушения окислительных ферментов, вызывающих потемнение продукта, охлаждают и замораживают, иногда с применением 2% го раствора поваренной соли.

Замораживают плоды, ягоды и овощи россыпью или в таре (картонной, полимерной, стеклянной, металлической). Плоды и овощи, замороженные россыпью, быстро фасуют в тару, преимущественно в пакеты из полимерных материалов, которые затем герметизируют.

**Изменение состава и свойств плодов и овощей при замораживании.**  
Интенсивность и характер изменений продуктов при замораживании зависят

от условий и параметров процесса, а также качественных характеристик плодов и овощей. Специфика состава и строения плодов и овощей, особенности и взаимосвязь протекающих в них физико-химических и биохимических реакций оказывают существенное влияние на сохранение их свойств.

При замораживании вода превращается в лед, что изменяет осмотические условия и резко сокращает скорость большинства биохимических процессов в плодах и овощах. Замораживание приводит к повышению концентрации растворенных веществ вследствие миграции влаги из микробной клетки во внешнюю среду на первой стадии и к внутриклеточной кристаллизации воды на последующих стадиях, а также нарушению согласованности биохимических реакций за счет различий в степени изменения их скоростей.

Устойчивость микробной клетки к замораживанию зависит от вида и рода микроорганизмов, стадии их развития, скорости и температуры замораживания состава среды обитания. Наиболее высокая степень отмирания микроорганизмов наблюдается при температуре  $-4...-6$  °С, а их рост и размножение полностью исключаются при  $-10...-12$  °С. В этих условиях плоды и овощи не подвергаются микробиологической порче, хотя полного уничтожения микроорганизмов не происходит. В замороженных ягодах или фруктово-ягодных соках при температуре хранения выше  $-8$  °С под действием дрожжей происходит спиртовое брожение и накапливается спирт.

При определении условий и режимов замораживания стремятся максимально учитывать особенности свойств и строения плодов и овощей, чтобы достичь максимальной обратимости процесса.

Особенности состояния плодов и овощей при замораживании обуславливаются фазовым переходом воды в твердое состояние и повышением концентрации растворенных в жидкой фазе веществ. Процесс кристаллообразования приводит к изменению физических характеристик

плодов и овощей, сопровождающемуся изменениями физико-химических, биохимических и морфологических свойств.

Размер, форма и распределение кристаллов льда в структуре плодов и овощей зависят от их свойств и условий замораживания. Состояние мембран и клеточных оболочек, их проницаемость, ионная, молярная концентрация растворенных веществ отдельных структурных образований растительных тканей, степень гидратации основных компонентов определяют особенности распределения льда в системе, размер и форму кристаллов.

Более низкая концентрация растворенных веществ в межклеточном пространстве определяет разницу в значениях криоскопических температур структурных элементов, вследствие чего кристаллы льда формируются в первую очередь в межклеточной жидкости. При температуре ниже точки замерзания водяной пар в крупных межклеточных пространствах начинает конденсироваться в виде капелек влаги на прилегающих клеточных стенках. Эта вода и превращается в первые микроскопические кристаллики льда, которые распространяются, обволакивая стенки клеток. Кристаллы разной формы (в виде линз, разветвленные и др.) разрастаются между клетками эпидермиса и паренхимы. Процесс сопровождается повышением осмотического давления вследствие роста концентрации растворенных в жидкости солей, что, в свою очередь, обуславливает миграцию влаги из клеток. Дальнейший рост кристаллов происходит за счет влаги, содержащейся в клетках, что объясняется разницей в давлении пара поверхности разных кристаллов.

При понижении температуры в клетках сначала наступает состояние переохлаждения, а затем спонтанно возникают центры кристаллизации, приводящие к образованию внутриклеточного льда. Граница перехода из одного агрегатного состояния в другое обусловлена не только концентрацией раствора, свойствами отдельных его компонентов, но и рядом других факторов. Так, в тонких капиллярах воду можно переохладить до  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Граница переохлаждения отдельных растворов пищевых продуктов различна, а температура ниже этой границы или механическое встряхивание приводят к очень быстрому, практически массовому превращению воды в лед.

При медленном замораживании с образованием крупных кристаллов вне клеток изменяется первоначальное соотношение объемов за счет перераспределения влаги и фазового перехода воды. Быстрое замораживание предотвращает значительное диффузионное перераспределение влаги и растворенных веществ и способствует образованию мелких, равномерно распределенных кристаллов льда.

С изменением скорости замораживания по мере перемещения границ фазового перехода от периферии к центру продукта изменяются размер и характер распределения кристаллов льда. Наиболее мелкие кристаллы образуются в поверхностных слоях продукта.

Максимальное кристаллообразование в плодах и овощах происходит при температуре от  $-2$  до  $-8^{\circ}\text{C}$ . При быстром прохождении этого интервала можно избежать значительного диффузионного перераспределения воды и образования крупных кристаллов. Степень повреждения тканевых структур плодов и овощей при замораживании зависит от размеров кристаллов льда и физико-механических превращений, протекающих в тканях на молекулярном уровне.

На размер кристаллов льда и характер их распределения между структурными элементами существенно влияют состав и свойства плодов и овощей. Так, лук, картофель и некоторые другие овощи покрыты плотной естественной оболочкой, что способствует переохлаждению, тогда как капуста белокочанная, не имеющая такой оболочки, не переохлаждается из-за крупных межклетников и большого содержания свободной воды.

Сильное влияние на характер кристаллообразования оказывает также степень зрелости плодов. В недозрелых плодах содержится значительное количество свободной воды и происходит в основном внутриклеточная

кристаллизация, что губительно действует на клетки. В созревших плодах накапливается пектин, обладающий высокими гидрофильными свойствами. Он связывает значительное количество воды и способствует образованию гелеобразной структуры, что положительно сказывается на обратимости процесса замораживания.

Замороженные плоды и овощи приобретают новые свойства: твердость (следствие превращения воды в лед), плотность, интенсивность и яркость окраски (результат оптических эффектов) и др.; кроме того, значительно изменяются их теплофизические свойства.

Вследствие снижения кинетической энергии молекул при понижении температуры, повышения вязкости внутриклеточной жидкости, уменьшения растворимости газов и диффузии веществ значительно снижается скорость химических реакций, однако полное прекращение их возможно только при абсолютном нуле ( $-273^{\circ}\text{C}$ ).

При постепенном вымораживании влаги в жидкой фазе продукта повышается концентрация минеральных солей (электролитов), агрессивных по отношению к белкам и оказывающих наиболее повреждающее действие на ферментные системы. При этом происходит как ускорение, так и замедление отдельных реакций, меняется их направленность. В первую очередь при замораживании повреждаются ферментные системы дыхательной цепи и окислительного фосфорилирования митохондрий, вследствие чего исчезают основные жизненные функции: дыхание и способность к генерации энергии.

Поскольку при замораживании плодов и овощей окислительно-восстановительные процессы, присущие свежим продуктам, сдвигаются в сторону окислительных реакций, качество полученного продукта зависит в основном от степени активности оксидоредуктаз, среди которых особое значение имеют полифенолоксидаза, аскорбатоксидаза, каталаза и пероксидаза.

Деятельность ферментов является, пожалуй, основной причиной появления посторонних привкусов в продуктах. При этом, как правило, снижается содержание крахмала и витамина С, увеличиваются кислотность и количество редуцирующих сахаров, в результате ферментативного потемнения изменяется окраска продукта, ухудшаются консистенция, вкус, запах.

Из-за разрушения части ферментов при замораживании нарушаются сбалансированность и координация отдельных реакций, их синхронность. При этом устойчивая к изменению рН инвертаза проявляет активность в широком диапазоне (3-7,5), что инициирует реакции накопления сахаров в замороженных плодах и овощах.

Сохранение активности пектолитических ферментов способствует повышению гидрофильных свойств коллоидов и уменьшению степени повреждения клеток. В зависимости от вида продукта они оказывают различное действие: в ткани сливы эти ферменты теряют активность и замороженный продукт имеет плотную консистенцию, в яблоках же их активность приводит к размягчению ткани.

Каталаза и пероксидаза катализируют дегидрирование аминокислот, фенолов, аминов, флавонов и др., при этом ухудшается качество плодов и овощей, которые приобретают посторонние привкусы. Каталаза и пероксидаза часто действуют антагонистически по отношению друг к другу. Так, в неразрушенных тканях каталаза тормозит действие пероксидазы; в разрушенных действие последней более активно. В отдельных случаях эти ферменты оказывают одинаковое действие.

Некоторые ферменты (липаза) сохраняют активность даже при очень низких температурах.

Изменения углеводов при замораживании в значительной степени зависят от их состава. Так, имеются сведения, что высокомолекулярные углеводы в процессе замораживания подвергаются агрегатированию. Для

систем, богатых крахмалом, характерно снижение способности связывать воду.

Изменение состава и содержания витаминов при замораживании зависит от их химической структуры, вида и строения ткани. Потери витаминов имеют место при предварительной обработке сырья и непосредственно в процессе замораживания. Наиболее устойчивы к замораживанию тиамин, рибофлавин, пантотеновая кислота, каротин. Непосредственно при замораживании теряется около 10 % витамина С, а с учетом подготовки сырья (бланширование, мойка и др.) потери могут составить до 20-30 %. Сохранению витамина С при замораживании способствует интенсификация процесса.

При замораживании плодов и овощей в неупакованном виде неизбежны поверхностное испарение и сублимация части воды, что приводит к усушке продукта. Так, при замораживании разных видов неупакованных плодов и овощей в туннельном морозильном аппарате с принудительной циркуляцией воздуха при  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  потери массы колеблются от 0,2 до 0,9 %.

#### **Контрольные вопросы:**

1. На что основано принцип хранения свежих плодов и овощей?
2. Что происходит при охлаждении и последующем хранении в плодах и овощах?
3. Какие знаете виды и способы замораживания?
4. Для чего применяют способ флюидизации?
5. От чего зависят интенсивность и характер изменений продуктов при замораживании?
6. От чего зависит изменение состава и содержания витаминов при замораживании?

#### **§3.5. Принципы сохранения пищевых продуктов**

Сохранение пищевых продуктов основано на способности микроорганизмов реагировать на воздействие физических, химических и биологических факторов. Изменяя условия среды и оказывая то или иное воздействие на продукт, можно регулировать состав и активность его микрофлоры.

Способ консервирования холодом основан на том, что при понижении температуры значительно снижается жизнедеятельность микроорганизмов и активность тканевых ферментов, что приводит к замедлению как естественно протекающих в продуктах реакций (автолиз мяса, дыхание и созревание плодов), так и реакций, вызываемых деятельностью микроорганизмов.

Известно, что некоторые пищевые продукты, например мука, крупы, сахар и т.д., не портятся в обычных условиях при длительном хранении. Для кратковременного и особенно длительного хранения других продуктов требуются специальные условия, так как качество их относительно быстро ухудшается изменяются присущие свежим продуктам вкус, запах, консистенция и цвет. Такие продукты называются **скоропортящимися**. К ним относятся мясо и мясопродукты, рыба и морепродукты, молоко и молочные продукты, яйца и яичные продукты, масло животное и растительные жиры, свежие плоды и овощи, дрожжи хлебопекарные, фруктовые соки и минеральные воды, пиво, виноградные и плодово-ягодные вина, сиропы, мороженое и др. В скоропортящихся продуктах содержится в значительном количестве вода, а также органические соединения, что создает благоприятные условия для развития и жизнедеятельности различных микроорганизмов и ферментов.

Совокупность свойств, от которых зависит степень использования пищевых продуктов по назначению, определяет их качество. Важно, чтобы пищевые продукты были свежими, питательными и вкусными.

**Способы консервирования.** Все скоропортящиеся продукты во время хранения подвергаются значительным изменениям. Если по отношению к ним

не применить своевременно те или иные способы консервирования, то они относительно быстро придут в негодность. Следовательно, консервирование пищевых продуктов заключается в специальной их обработке для предохранения от порчи при хранении.

Продукты могут портиться под влиянием различных факторов:

- Под действием кислорода воздуха и солнечных лучей;
- Вследствие чрезмерно низкой или очень высокой влажности воздуха;
- Вследствие биохимических процессов (деятельность тканевых ферментов);
- Под влиянием микробиологического фактора.

Способы консервирования подразделяют на физические, физико-химические, химические, биохимические и комбинированные.

*Физические способы* -использование высоких и низких температур, а также ионизирующих излучений, ультрафиолетовых лучей, ультразвука и фильтрации.

*Физико-химические способы* -сушка, соление и использование сахара.

*Химические способы* основаны на применении химических веществ, безвредных для человека и не изменяющих вкус, цвет и запах продукта. В России в качестве консервантов разрешены следующие химические препараты: этиловый спирт, уксусная, сернистая, бензойная, сорбиновая кислоты и некоторые их соли, борная кислота, уротропин, отдельные антибиотики, озон, углекислый газ и ряд других.

*Биохимические способы* консервирования основаны на подавляющем действии молочной кислоты, образующейся в результате сбраживания сахаров продукта молочнокислыми бактериями.

*Комбинированные способы* -дымное и бездымное копчение, а также некоторые другие, основанные на использовании нескольких видов консервантов одновременно.

Микроорганизмы и ферменты вызывают разложение белков, гидролиз жиров, глубокие превращения углеводов и другие изменения. Поэтому основная задача консервирования пищевых продуктов сводится к ограничению или устранению разрушительного действия микроорганизмов и тканевых ферментов.

При этом внешнее воздействие на биологические факторы порчи может иметь различные формы -биоз, анабиоз, ценоанабиоз и абиоз.

*Биоз* -поддержание жизненных процессов в продуктах, т. е использование их иммунитета. На этом принципе основано хранение плодов и овощей, живой рыбы, предубойное содержание скота и птицы.

*Анабиоз* -замедление, подавление жизнедеятельности микроорганизмов и активности тканевых ферментов при помощи холодильной обработки и хранения, сушения и вяления, маринования, консервирования в сахарном сиропе и т.д.

*Ценоанабиоз* -подавление вредной микрофлоры за счет создания условий для жизнедеятельности полезной микрофлоры, способствующей сохранению продуктов (квашение, молочнокислое и спиртовое брожение при производстве и хранении кисломолочных продуктов).

*Абиоз* -прекращение всякой жизнедеятельности, в том числе и микроорганизмов, в продуктах (высокотемпературная обработка, применение лучистой энергии, токов высокой и сверхвысокой частот, антибиотиков, антисептиков и др.).

При выборе способа консервирования стремятся добиться максимальной сохраняемости продукта, а также экономичности процесса. Поэтому в практической деятельности часто способы консервирования комбинируют.

***Консервирование с помощью искусственного холода.*** Лучший способ консервирования тот, который позволяет длительное время хранить продукт с наименьшими потерями им пищевой ценности и массы. Этим требованиям в

наибольшей степени отвечает консервирование с помощью искусственного холода. Холод более экономичен по сравнению с тепловой обработкой по затратам энергии (кВт·ч/т):

Охлаждение.....	15
Замораживание.....	100
Пастеризация.....	130
Стерилизация.....	235
Сушка.....	660

В зависимости от решаемых задач продукты подвергаются разной глубине холодильной обработки (охлаждение, переохлаждение, подмораживание, замораживание, домораживание), а для восстановления натуральных свойств к ним подводят теплоту (отепление, размораживание).

**Охлаждением продуктов** называется процесс отвода теплоты от них с понижением их температуры не ниже криоскопической. На практике все более широко применяют предварительное охлаждение, предшествующее любому последующему этапу технологического цикла обработки холодом и существенно снижающее Потери при хранении.

*Переохлаждение* -это состояние продукта, вызванное понижением его температуры ниже криоскопической без возникновения кристаллов влаги. Оно бывает устойчивым или неустойчивым в зависимости от теплофизических свойств продукта и температурных режимов окружающей среды.

*Подмораживание* - процесс, сопровождающийся частичной кристаллизацией влаги в поверхностном слое, основная масса продукта находится в переохлажденном состоянии. Продолжительность хранения продуктов в подмороженном виде увеличивается в 2 -2,5 раза по сравнению с охлажденными.

*Замораживание* -отвод теплоты от продуктов с понижением температуры ниже криоскопической при кристаллизации большей части воды,

содержащейся в продуктах. Это предопределяет их сохранность при длительном холодильном хранении.

*Домораживание* -понижение температуры до заданного уровня при отводе теплоты от частично замороженного продукта.

*Отепление подвод* теплоты к охлажденным продуктам с повышением их температуры до температуры окружающей среды или несколько ниже.

*Размораживание* подвод теплоты к продуктам в целях декристаллизации содержащегося в них льда. В конце процесса температура в толще продукта составляет 0°C и выше, кристаллы льда плавятся, ткани поглощают влагу. Цель размораживания максимальное поглощение влаги тканями и полное восстановление первоначальных свойств продуктов.

Продолжительность холодильной обработки исчисляется минутами, часами, иногда сутками и влияет на качество и сохранность продуктов при последующем холодильном хранении.

Холодильное хранение это хранение продуктов после холодильной обработки при заданном режиме в камере.

Под режимом холодильной обработки и хранения понимают совокупность параметров и условий, влияющих на качество продуктов (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, состав среды, укладка, продолжительность процесса).

Особое значение при холодильном хранении, в первую очередь длительном, имеет сокращение потерь массы продуктов, что достигается строгим соблюдением режима и применением дополнительных методов.

Эффективное использование холодильного консервирования требует создания единой непрерывной холодильной цепи на протяжении всего пути продукта от производителя к потребителю.

### **§3.5.1. Влияние низких температур на рост и размножение микроорганизмов**

Различают три группы микроорганизмов по отношению к температурным условиям: термофилы, мезофилы и психрофилы.

*Термофилы* -микроорганизмы, развивающиеся при температурах 20 -80 °С, оптимально 50 -75 °С;

*мезофилы* живут при 5 – 57°С, а

*психрофилы* способны расти при относительно низких температурах -от +10 до -10°С.

Нас интересуют именно психрофилы, развивающиеся в условиях холодильного хранения пищевых продуктов. Различают факультативные психрофилы, условия жизни которых приближаются к режиму мезофилов, и облигатные, т.е. строгие психрофилы, способные размножаться только при низких температурах.

Психрофильные бактерии активно размножаются на продуктах с небольшой кислотностью мясе, рыбе, некислых молочных и овощных продуктах при -5... -8°С. Большинство плесеней психрофильные, они довольно активно развиваются на замороженных продуктах. Плесени, так же как и дрожжи, размножаются главным образом на кислых продуктах. Являясь аэробами, плесени растут вплоть до температуры -2...-3°С, при более низкой температуре их размножение прекращается. Но отдельные виды плесеней прекращают размножение лишь при -8...-10°С.

Рост и размножение могут происходить при разных температурах. Так, размножение бактерий *E. coli* прекращается при 7,3°С, в то время как их рост продолжается.

Рассмотрим восемь фаз роста микроорганизмов (рис. 17):

1) *лагфаза (a)* -стадия развития, которая характеризуется постоянством числа бактериальных клеток. Микроорганизмы привыкают к внешней среде, вследствие чего может произойти уменьшение их количества, особенно при пониженных температурах. Продолжительность лагфазы зависит от вида микроорганизмов, питательной среды и температуры;



Рис. 3.4. Кривая фаз роста бактерий

2) фаза ускорения роста (б), в которой происходит бурное размножение микроорганизмов;

3) логарифмическая фаза роста (в), в которой идет быстрое, с постоянной скоростью размножение бактериальных клеток;

4) фаза замедления роста (г);

5) фаза максимальной концентрации микроорганизмов, или максимальная стационарная фаза (д). На этой стадии концентрация микроорганизмов при определенных не меняющихся условиях внешней среды сравнительно постоянна. Их развитие и отмирание протекают с одинаковой интенсивностью. Опытные данные показывают, что в этой фазе максимальное число бактериальных клеток в 1 г продукта  $10^9-10^{10}$ ;

6) фаза ускорения гибели микроорганизмов (е), в которой создаются неблагоприятные условия для обмена веществ;

7) фаза гибели (ж), в течение которой микроорганизмы под влиянием собственных продуктов жизнедеятельности быстро отмирают;

8) конечная стационарная фаза (фаза адаптации) (з).

Изучение различных фаз роста микроорганизмов имеет большое практическое значение. Так, продолжительность фаз а и б сокращается, если количество исходных микроорганизмов велико, т.е. при большей начальной обсемененности пищевых продуктов скорее наступает логарифмическая фаза.

Наиболее существенно понижение температуры влияет на продолжительность лаг-фазы и характер логарифмической фазы. Чем ниже

температура, тем продолжительнее лагфаза и более пологи участки логарифмической фазы, т.е. микроорганизмы размножаются медленнее.

Микроорганизмы бывают чувствительными, умеренно устойчивыми и нечувствительными к отрицательной температуре. Особенно чувствительны к низким температурам вегетативные клетки плесневых грибов и дрожжей. При отрицательных температурах легко погибают грамотрицательные бактерии, принадлежащие к группе *E. coli*, бактерии группы *Pseudomonas-Achromobacter* и *Salmonella*. Более устойчивы к низким температурам грамположительные бактерии, в том числе *S. aureus*; наиболее устойчивы почвенные бактерии. Споры бацилл *Clostridium* нечувствительны к низким температурам, тогда как споры плесневых грибов проявляют умеренную устойчивость.

Устойчивость микроорганизмов к действию отрицательных температур зависит от трех факторов: температуры, скорости ее понижения и времени воздействия.

Действие отрицательных температур на микроорганизмы проявляется в изменении состояния воды в микробной клетке. Максимальное повреждающее действие оказывает внутриклеточное образование льда. Это приводит к повышению концентрации внутри- и внеклеточных растворов, что ведет к денатурации белков и нарушению барьеров проницаемости.

Однако повреждение микроорганизмов холодом может происходить и без образования льда. Гибель бактериальных клеток в результате холодового шока происходит при очень быстром охлаждении из-за низкого осмотического давления. При этом губительное действие низких температур связано с нарушением нуклеиновых кислот и целостности липидных мембран.

Устойчивость микроорганизмов к отрицательным температурам зависит и от продолжительности воздействия холода. В начале замораживания число бактериальных клеток быстро уменьшается, затем гибель микроорганизмов замедляется и, наконец, остаются устойчивые к низким температурам клетки,

количество которых зависит от условий замораживания, индивидуальной устойчивости вида микробов.

Необходимо иметь в виду, что развитие микроорганизмов при температуре выше  $-10^{\circ}\text{C}$  возможно и это может привести к снижению качества хранящегося продукта и даже к его порче. Так при длительном хранении мороженого мяса при температуре выше  $-8^{\circ}\text{C}$  могут развиваться плесневые грибы. Они растут отдельными колониями, которые впоследствии увеличиваются и уплотняются. Мицелий гриба проникает в толщу мяса, начинается спороношение. На поверхности продукта появляются белые, серые или черные пятна, в толще накапливаются продукты жизнедеятельности плесеней, появляется затхлый запах. Аналогичные процессы протекают при хранении мороженой рыбы и других продуктов.

В замороженных ягодах или фруктово-ягодных соках, хранящихся при температуре выше  $-8^{\circ}\text{C}$ , образуется продукт жизнедеятельности дрожжей - спирт.

### **§3.5.2. Воздействие низких температур на клетки, ткани и организмы**

Как правило, действие низких температур на клетки, ткани и организмы носит в большей или меньшей степени повреждающий характер. Это происходит, во-первых, вследствие глубокого нарушения обмена веществ при быстром понижении температуры, получившего название «температурный шок». Такое явление объясняется нарушением динамического равновесия биохимических процессов вследствие того, что активность разных ферментов при резком снижении температуры различна. В результате в клетках накапливаются промежуточные, зачастую токсичные продукты обмена веществ (метаболиты). Если процесс охлаждения проводится быстро, то может наступить гибель биологического объекта.

При постепенном снижении температуры организм может адаптироваться, т.е. приспособиться к изменяющимся условиям, и в этом случае выжить. Очень часто температурный шок сопровождается структурными

изменениями в клетках. Внезапное охлаждение может привести к значительному увеличению вязкости протоплазмы до гелеобразования с последующим отделением жидкой фазы.

При охлаждении биологических объектов ниже температур, при которых происходит превращение воды в лед, основную роль начинают играть повреждающие факторы процессов кристаллообразования льдообразование.

Процесс льдообразования при постепенном понижении температуры начинается после более или менее глубокого переохлаждения. Сначала кристаллы льда возникают в межклеточной жидкости, концентрация растворенных веществ которой вследствие вымерзания воды начинает увеличиваться. Разность между концентрациями растворов в межклеточном пространстве и внутри клеток приводит к перемещению влаги из клеток к кристаллам в межклеточном пространстве. Таким образом, увеличиваются кристаллы снаружи клеток, а сами клетки обезвоживаются. В дальнейшем процесс кристаллизации может начаться и в самих клетках. При оттаивании рассмотренные явления развиваются в обратной последовательности.

В случае быстрого понижения температуры биологических объектов кристаллизация может происходить одновременно внутри клеток и в окружающей их межклеточной жидкости.

В процессе хранения наблюдается миграционная перекристаллизация увеличение размеров крупных кристаллов вследствие исчезновения мелких.

Одна из причин повреждения клеток механическое действие кристаллов льда, которое приводит к их разрыву, проколам и порезам. Кроме того, из-за разрастания кристаллов льда в межклеточном пространстве уменьшаются размеры клетки, что вызывает сжатие и образование складок в оболочке, в результате чего может произойти механическое повреждение протоплазмы. При поступлении воды в клетку во время размораживания тесно соприкасающиеся слои протоплазмы начинают расходиться, при этом

протоплазма часто отрывается от оболочки, что приводит к повреждению структуры клетки.

Еще более сильным повреждающим фактором является денатурация протоплазматических белков, вызванная обезвоживанием клетки в результате вымораживания воды. Так, сближение молекул белка в результате обезвоживания приводит к тому, что сульфгидрильные группы (-SH-) отдельных белковых молекул вступают во взаимодействие и образуют дисульфидные связи. При оттаивании вода проникает в клетки и начинает раздвигать белковые молекулы. Однако вследствие того что энергия образовавшихся дисульфидных связей выше, чем энергия водородных связей в структуре самой молекулы, происходит разрыв не дисульфидных, а водородных связей, что вызывает развертывание макромолекул белка, т.е. их денатурацию.

В результате вымораживания воды обезвоживание клетки может достичь такой степени, что различные протоплазматические структуры придут в соприкосновение. При этом возможен перенос ряда активных структурных компонентов с одной поверхности на другую. Например, соприкосновение сложных мембран митохондрий, на которых расположены ферменты в строго установленной последовательности, может нарушить энергетические процессы и привести к гибели клетки.

Наконец, еще один фактор повреждающего действия повышение концентрации минеральных солей (электролитов) в незамерзшей клеточной жидкости при обезвоживании в процессе кристаллообразования. Под действием образующихся концентрированных солевых растворов белки денатурируют, причем развитие процесса зависит не только от концентрации солей, но и от pH среды. К повышению концентрации солей особенно чувствительны липопротеиды, из которых в основном состоят мембраны клеток.

Поскольку с повышением концентрации солевых растворов возрастает осмотическое давление, весь комплекс явлений, развивающихся при замораживании, получил название «осмотический шок».

Установлено, что многие органические вещества и некоторые биологические объекты лучше сохраняются при быстром и сверхбыстром замораживании. Например, диски концентрированного желатинового геля, быстро замороженные в жидком воздухе, не изменяются в результате кристаллообразования, а также под действием повреждающих факторов. Яичный желток утрачивает биологическую активность после замораживания до  $-6^{\circ}\text{C}$ , но не повреждается при замораживании в жидком азоте и быстром оттаивании в теплой ртути.

В ряде случаев активность ферментов в значительной степени сохраняется при быстром и сверхбыстром замораживании. При быстром замораживании остается меньше времени для воздействия солевых растворов на структуру белков молекул живых клеток. Микроскопические исследования биологических объектов показали также, что их структура сохраняется тем лучше, чем быстрее происходит замораживание.

Сохранение жизнеспособности биологических объектов при сверхбыстром замораживании обусловлено витрификацией (стеклообразованием) воды в протоплазме клеток и последующей девитрификацией (расстеклованием) при быстром оттаивании. В ходе этих процессов не происходит перегруппировки молекул воды, что способствует сохранению тонкой структуры протоплазмы клеток. Витрификация представляет собой глубокое переохлаждение жидкости, при котором в ней отсутствует кристаллическая решетка.

Исследования показали, что даже при охлаждении с максимальной скоростью биологические объекты всегда содержат наряду с аморфной стеклообразной массой затвердевшей жидкости мельчайшие кристаллы льда.

Степень повреждающего действия низких температур зависит от места образования кристаллов льда в клетках и тканях биологических объектов. Так, при внутриклеточной кристаллизации интенсивно разрушаются элементы протоплазмы. При замораживании растительных организмов образование льда внутри клеток всегда приводит к их гибели. Подавляющее большинство клеток Животного организма также не выдерживает внутриклеточного льдообразования.

Благодаря использованию защитных веществ (глицерин, сахарный сироп, полиэтиленоксид и др.) возможны очень высокие скорости замораживания.

### **Контрольные вопросы:**

1. На что основано сохранение пищевых продуктов?
2. Под каким влиянием портятся продукты?
3. Какие знаете способы консервирования?
4. Рост и размножение при каких температурах происходит?
5. При каких фаз происходит рост микроорганизмов?
6. Что наблюдается в процессе хранения?

## **§3.6. Холодильные склады для фруктов и овощей**

### **§3.6.1. Понятие «овощехранилище»**

Для людей, далеких от понимания современных технологий складирования, знакомое с детства понятие «овощехранилище» способно вызвать не слишком приятные зрительные и обонятельные ассоциации. Однако тем, кто «в теме», совершенно очевиден гигантский технологический скачок, который произошел в этой сфере за последние 20–30 лет. Современный склад для хранения овощей и фруктов оснащен целым комплексом инженерных систем, позволяющих превратить простую, на

первый взгляд, задачу максимально долгого сохранения урожая в высокотехнологичный управляемый процесс.

Чтобы оценить сложность этого процесса, нужно хотя бы кратко остановиться на том, какие, собственно, задачи приходится решать в процессе хранения с какими естественными процессами, происходящими со столь вожаделенной в холодное зимнее время плодоовощной продукцией приходится бороться.

В растительных продуктах, к которым относятся овощи и фрукты, содержится от 75 до 95% воды. С момента сбора урожая в плодах и овощах начинают происходить химические и микробиологические процессы, характер которых определяется биологическими функциями. Основным физиологическим процессом, продолжающимся в плодах и овощах после сбора, является дыхание. Интенсивность дыхания и связанных с ним обменных процессов зависит от температуры. В частности, для плодов и ягод характерно так называемое *послеуборочное созревание*, в процессе которого, за счет перехода питательных веществ из мякоти, формируются семена. Оно сопровождается снижением количества хлорофилла (постепенно исчезает зеленый цвет) и появлением других пигментов, накоплением этилена, уменьшается содержание витаминов и влаги. Таким образом, возможный срок хранения овощей и фруктов определяется в основном степенью их зрелости при сборе урожая.



*Рис. 3.5. Промышленные холодильные камеры*

На практике различают две степени зрелости съемную и потребительскую. Съемная зрелость определяется необходимостью последующей транспортировки и возможностями хранения, а потребительская – пригодностью для использования. С точки зрения потребителя одним из главных процессов, происходящих в плодах и овощах после сбора, является испарение влаги. Испарение приводит к снижению массы и увяданию. Заметное увядание плодов наступает при потере 4–6% влаги, а ягод и листовых овощей – при потере 1,5–2%.

Следовательно, главная задача при хранении сводится к торможению физиолого-биохимических процессов, предотвращению развития фитопатогенных микроорганизмов и уменьшению потерь влаги. Один из эффективных способов добиться этого результата – быстрое предварительное охлаждение. Скорость такого охлаждения зависит от вида плодов и овощей. Если съемная и потребительская зрелость совпадают, что характерно для ягод

(в т. ч. вишни, черешни) и огурцов, или наступает через сравнительно короткий период, как у абрикосов, персиков, слив и дынь, процесс охлаждения должен занимать не более 5 часов. А, например, у зимних сортов яблок и груш, которые достигают потребительской зрелости в процессе длительного хранения, процесс охлаждения может занимать и сутки.

То есть первая задача, которую необходимо решить вне зависимости от того, закладываются ли овощи и фрукты на хранение в непосредственной близости от места сбора либо транспортируются к месту хранения на значительные расстояния, это обеспечение возможности предварительного охлаждения. Его можно осуществлять в обычных камерах хранения при частоте воздухообмена 30–40 раз в час, в специальных камерах предварительного охлаждения с увеличенной до 60–100 раз в час частотой воздухообмена, в аппаратах интенсивного воздушного охлаждения, в том числе туннельного типа, а также холодной водой методом орошения или погружения.



### **§3.6.2. Хранения овощей и фруктов с использованием холодильной системы**

Решение задачи достаточно длительного хранения овощей и фруктов, таким образом, может развиваться двумя основными путями: хранение в непосредственной близости от места сбора урожая и хранение в регионе потребления. Регионами наиболее концентрированного потребления являются мегаполисы, где стоимость хранения достаточно велика за счет высоких ставок аренды складских площадей. Тем не менее этот вариант вполне может рассматриваться для импортируемых фруктов и овощей, закупаемых большими, в том числе судовыми, партиями.

Однако наиболее интересным с коммерческой точки зрения представляется вариант территориального объединения процесса выращивания, сбора урожая и последующего хранения. В этом случае склады для хранения овощей и фруктов могут возводиться по одной из относительно недорогих строительных технологий, в частности, с использованием облегченных металлоконструкций или по бескаркасной технологии. Каркасные хранилища выполняются из быстровозводимых облегченных металлоконструкций. Для создания теплоизоляционного контура, как правило, используются сэндвич-панели, для внешней обшивки применяется профилированный стальной лист. Такая конструкция относительно легко масштабируется, что позволяет увеличивать объем хранения.

Применение технологий бескаркасного строительства позволяет ускорить процесс возведения хранилищ за счет использования панелеформовочных машин. Созданные в результате применения такой технологии сооружения обладают высокой прочностью, устойчивостью к ветровым и снеговым нагрузкам. Их существенным преимуществом также

является отсутствие мощного фундамента. Возводимые бескаркасным методом склады могут быть одно- или двухслойными, с прослойкой утеплителя между слоями.

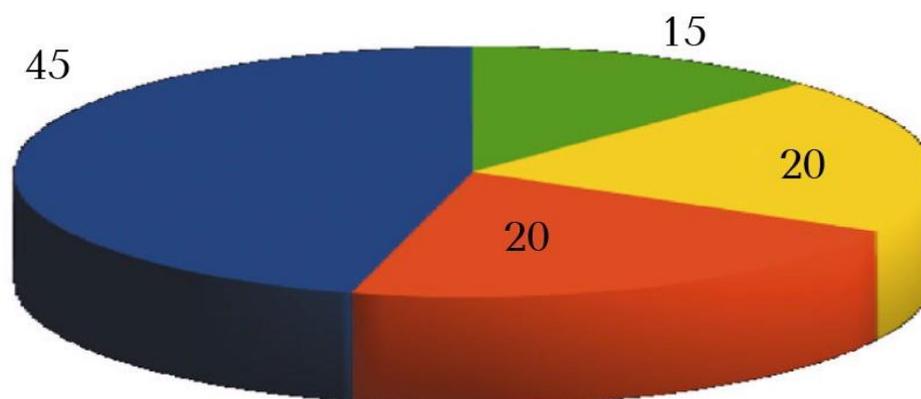


*Рис. 3.7. Промышленные холодильные камеры*

В дальнейшем, в соответствии с поставленной задачей, могут выбираться варианты различной степени технологической оснащённости. Это определяется видом хранимой продукции — однородной или в ассортименте, способом ее хранения — навалом или в упаковочной таре, предполагаемым сроком хранения. Соответственно, при долговременном хранении разнотипной продукции необходимо обеспечить температурное зонирование.

Наиболее практичен вариант хранения овощей и фруктов с использованием холодильной системы и системы вентиляции. Его проблематика достаточно подробно рассмотрена в большом числе публикаций, касающихся строительства и оснащения среднетемпературных холодильных складов. В то же время очень большой интерес вызывают специальные технические устройства, которыми оснащаются именно склады для хранения овощей и фруктов, в первую очередь оснащенные системами организации регулируемого микроклимата и контролируемой атмосферы.

Организация регулируемой атмосферы является технологией, которая позволяет значительно увеличить продолжительность хранения продукции и сохранить ее качество. Хранение фруктов и овощей в условиях регулируемой газовой среды происходит в специальных овощехранилищах, холодильных камерах, полимерных пленках, полиэтиленовых контейнерах.



- Затраты на строительство (фундамент, пол, металлоконструкции, кровля)
- Теплоизолирующий контур (теплоизоляционные панели, ворота)
- Холодильное оборудование
- Оборудование для создания регулируемой атмосферы

Склад & техника

Оценка структуры затрат на строительство склада для хранения овощей и фруктов полного цикла, %

В этой сфере существует также несколько уровней сложности. На первом уровне в основном достигается контролируемое содержание углекислого газа при поддержании необходимого температурного режима и влажности воздуха. В этом случае параметры контролируемой атмосферы примерно соответствуют содержанию кислорода в 3–4% и углекислого газа в 3–5%, при том, что содержание кислорода в обычной атмосфере составляет

порядка 21%, азота – 78%, углекислого газа 0,03%. Превышение содержания CO<sub>2</sub> приводит к довольно быстрой порче овощей и фруктов, при этом, в частности, может появляться неприятный вкус и запах, наблюдаться развитие некоторых грибковых образований, ухудшиться товарный вид сохраняемых овощей и фруктов. Задача поглощения избыточного углекислого газа решается использованием скрубберов (иногда называемых *газопромывателями*). С помощью скрубберов из холодильных камер удаляют углекислый газ и часть образующегося этилена. Способ удаления достаточно прост и основан на применении активированного угля, который адсорбирует молекулы газа. Воздух из холодильной камеры прокачивается через активированный уголь с помощью вентилятора низкого давления, который потребляет минимум электроэнергии, а затем возвращается обратно.

Более сложная система создания контролируемой атмосферы предусматривает снижение содержания кислорода до 2–5% и углекислого газа до 1–3%. Это достигается за счет вытеснения их азотом, для чего в систему интегрируется генератор, который производит его из окружающего воздуха. Генератор азота состоит из двух взаимозаменяемых баков с углеродными молекулярными ситами, которые могут на протяжении определенного времени адсорбировать молекулы кислорода. Когда один из баков насыщается, происходит автоматическое переключение на другой бак. В наполненном баке в это время осуществляется процесс регенерации.



*Рис. 3.8. Свеже собранные фрукты*

Третий, наиболее высокий с точки зрения технологической реализации, уровень создания регулируемой атмосферы предусматривает не только ультранизкую концентрацию кислорода (в пределах 1–1,5%) и углекислого газа (0–2%), но и снижение содержания выделяющегося в процессе созревания фруктов и овощей этилена. Данная схема требует применения еще одного класса устройств – каталитического конвертера этилена. Газ этилен выделяется овощами и фруктами и стимулирует их созревание, поэтому контроль над его содержанием дает возможность хранить их в течение длительного периода времени.

На рынке присутствуют каталитические конвертеры этилена от многих производителей. Общий принцип их действия основан на принудительной рециркуляции воздуха над слоем катализатора, хранимым при повышенной температуре. В процессе каталитического взаимодействия этилена с кислородом воздуха происходит его распад на углекислый газ и воду.

При помощи конвертера можно достичь соотношения этилена к общему объему воздуха в камере 1/109 без применения токсичных химических

реагентов. Таким образом, процесс очищения воздуха в холодильных камерах не оказывает негативного воздействия на окружающую среду. Не менее важным является малое количество энергии, необходимое для работы конвертора. Это обеспечивается за счет рекуперации тепла в закрытой системе конвертора и холодильной камеры.

Однако собственно организацией хранения процесс, как правило, не заканчивается.

### **§3.7. Техническая стадия технологии дозревание при хранение овощей и фруктов**

Необходимо еще предусмотреть техническую стадию придания овощам и фруктам товарных качеств, то есть организовать процесс дозревания непосредственно перед отправкой продуктов в торговые точки. Рассмотрим этот процесс на примере такого хорошо известного нам фрукта, как банан. Эти фрукты произрастают в тропиках и субтропиках, при этом промышленно выращиваются преимущественно в Южной и Центральной Америке. Бананы собирают в недозрелом виде, а в пути и по прибытии в пункты потребления они дозревают в складах. В республику бананы поставляются морским путем мощными рефрижераторными судами, холодильные установки которых позволяют сохранить фрукты в состоянии «съемной» зрелости в течение всего периода транспортировки. Срок хранения может варьироваться от 28 дней с момента сбора до 40–50 дней. Его увеличение достигается за счет использования при хранении регулируемой атмосферы.



*Рис. 3.9. Холодильник для бахчевых культур*

При подготовке к розничной торговле продукт доводится до определенной степени зрелости за счет выдерживания его в камерах газации. Процесс дозревания стимулируется этиленом (в противоположность стадии хранения, когда содержание этилена, наоборот, уменьшается). Обработка этиленом производится однократно.

Процесс доведения снятых незрелых плодов в хранилищах, складах или специально оборудованных камерах до состояния потребительской спелости называется **дозреванием**. Режим дозревания может быть ускоренным (до 4 дней), нормальным (5–6 дней) и медленным (8 дней). Более высокое качество плодов наблюдается при медленном дозревании бананов при пониженных температурах. Летом и зимой интервал температуры дозревания различается. Если в процессе дозревания допустить переохлаждение, в зеленых бананах появляются продольные прожилки коричневого цвета под верхним слоем кожуры, кожура становится серой. Результатом же повышения температуры за пределы оптимального интервала является размягчение мякоти, слабые ножки плодов, лопнувшая кожура и коричневые пятна на зеленовато желтой кожуре. Также значительно снижается срок последующего хранения.

В камере дозревания необходимо поддерживать высокий уровень влажности – 85–95% для поддержания товарного вида и предотвращения потери овощами и фруктами влаги. В ходе этого процесса контролируется как температура воздуха в камере, так и температура мякоти плода (поскольку в процессе дозревания плоды выделяют тепло). Температура окружающей среды, оптимальная для процесса дозревания: +15...+18 °С.



*Рис. 3.10. Холодильник для бахычевых культур*

Подытоживая сказанное выше, можно отметить, что в технологической схеме современного высокотехнологичного комплекса для долговременного хранения овощей и фруктов должна быть предусмотрена стадия ускоренного предварительного охлаждения (перед закладкой на хранение либо перед транспортировкой к месту хранения). В многопрофильном (для хранения различных видов овощей и фруктов) комплексе должны быть предусмотрены камеры хранения с автоматическим регулированием температуры в диапазоне от –2 до +7 °С с системой поддержания необходимого уровня влажности воздуха.

Если хранение осуществляется в условиях контролируемой атмосферы, то хранилище, наряду с необходимым комплексом холодильного и вентиляционного оборудования, может быть оборудовано скрубберами, генераторами азота и конвертерами этилена. Важное значение имеет

финальная стадия – придание продуктам товарного вида и перевода их из охлажденного состояния, в котором они хранились, в состояние, соответствующее условиям продажи. При этом на продуктах не должен образовываться конденсат. Эта операция производится в так называемых «камерах отепления». Кроме того, на этой стадии может реализовываться процесс дозревания фруктов и овощей, для чего хранилище оснащается камерами дозревания.

Все рассмотренные нами процессы требуют не только дорогостоящего оборудования, но и точного соблюдения всех параметров. Так что, перед тем, как насладиться вкусом и ароматом только что купленного «зимнего» яблока, не помешает вспомнить о том, что его появлению на нашем столе предшествовал сложный, весьма технологичный и такой важный процесс сохранения товарного вида и потребительских свойств.



*Рис. 3.11. Ягоды*

**Контрольные вопросы:**

1. Что являются основные физиологические процессы?
2. Что является главной задачей при хранении?
3. Каким образом, может развиваться долговременного хранения овощей и фруктов.
4. Как происходит хранение фруктов и овощей в условиях регулируемой газовой среды?
5. Что понимается под технической стадией?
6. Что такое дозревание?

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ ПО ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

### **Абсорбент**

*Абсорбент* - вещество, способное поглощать другие вещества, с которыми находится в контакте, образуя с поглощённым веществом твёрдый или жидкий раствор.

### **Абсорбер**

*Абсорбер* - аппарат для поглощения газов, паров, для разделения газовой смеси на составные части растворением одного или нескольких компонентов этой смеси в жидкости, называемой *абсорбентом*.

### **Абсорбция**

*Абсорбция* - поглощение веществ из газовой смеси жидкостями. Обычно пользуются для извлечения из газовой смеси какого-либо компонента. Абсорбция является объемным процессом, при этом абсорбируемое вещество полностью проникает в абсорбент.

### **Абсорбционная холодильная машина**

*Абсорбционная холодильная машина* - холодильная пароконденсационная машина, в которой пары хладагента абсорбируются твердым или жидким абсорбентом, из которого они впоследствии испаряются при нагреве.

Абсорбционная холодильная машина состоит из кипятильника, конденсатора, испарителя, абсорбера, насоса и терморегулирующего вентиля.

Рабочим веществом в абсорбционных холодильных машинах служат бинарные растворы.

### **Адсорбент**

*Адсорбент* - твердое или жидкое вещество, на поверхности которого происходит адсорбция.

### **Адсорбция**

*Адсорбция* - поглощение какого-либо вещества из газообразной среды или раствора поверхностным слоем жидкости или твёрдого тела.

### **Азеотропный**

*Азеотропный* - понятие, используемое для смеси однородной жидкой, которая при перегонке не разделяется на фракции. Температура кипения смеси постоянна.

### **Вакуум**

*Вакуум* - состояние газа при давлениях значительно ниже атмосферного.

### **Вакуумный насос**

*Вакуумный насос* - устройство для удаления газов и паров из замкнутого объёма с целью получения в нём вакуума.

### **Вихревая труба**

*Вихревая труба* - аппарат для разделения потока газа с помощью эффекта Ранка на горячую и холодную части.

### **Воздухоохладитель**

*Воздухоохладитель* - аппарат для охлаждения подаваемого воздуха, или отвода тепла от машин, печей и тепловыделяющих устройств.

## **Водоохлаждающая установка**

*Водоохлаждающая установка* - парокompрессионный чиллер (водоохлаждающая машина, водоохладитель, холодильная машина), промышленная холодильная установка предназначена для отбора и удаления избыточного тепла и поддержания заданного оптимального температурного и теплового режимов при работе различного рода производственного оборудования, технологических устройств, инструмента, оснастки, а также технологических процессов, связанных с повышенными тепловыми нагрузками и тепловыделениями.

## **Воздухоохладитель с принудительной циркуляцией воздуха**

*Воздухоохладитель с принудительной циркуляцией воздуха* - охладитель, в котором используется вентилятор или иное воздуходувное устройство для быстрого охлаждения.

## **Вторичный хладагент**

*Вторичный хладагент* - вспомогательный хладагент, используемый в жидкой фазе и в паровой фазе в системе охлаждения с промежуточным теплоносителем. Вторичный хладагент не участвует в холодильном цикле.

## **Градирня**

*Градирня* - предназначена для отвода в окружающую среду теплоты от различных производственных процессов, за счет испарения части проходящей через неё воды. Доля испаренной воды, обычно, не превышает 1% от общего объема циркулирующей.

## **Давление**

*Давление* - это физическая величина, характеризующая интенсивность нормальных (перпендикулярных к поверхности) сил, с которыми одно тело действует на поверхность другого; это статическое давление жидкостей и газов, измеренное в сосудах, трубопроводах относительно атмосферного давления (Па, мбар, бар). Различают:

- статическое давление - это давление неподвижной жидкости. Статическое давление = уровень выше соответствующей точки измерения + начальное давление в расширительном баке.
- динамическое давление - это давление движущегося потока жидкости.
- давление нагнетания насоса - это давление на выходе центробежного насоса во время его работы.
- перепад давления - это давление, развиваемое центробежным насосом для преодоления общего сопротивления системы. Оно измеряется между входом и выходом центробежного насоса.
- рабочее давление - это давление, имеющееся в системе при работе насоса.

### **Десорбция**

*Десорбция* - удаление адсорбированного вещества с поверхности адсорбента.

### **Дефлегматор**

Дефлегматор - предназначен для перегонки и разделения смесей с компонентами, обладающими близкими точками кипения, состоит из системы стеклянных, соединенных между собой шариков, имеющих трубочки для стока сконденсированной жидкости.

### **Десорбер**

*Десорбер* - элемент абсорбционной холодильной машины, в котором хладагент нагревается для образования пара.

### **Диатермический**

*Диатермический* - понятие, характеризующий среду, которая проводит через себя тепло, особенно излучаемое.

### **Дефлегматор**

*Дефлегматор* - небольшая колонка для частичной конденсации в абсорбционных холодильных машинах. Дефлегматор устанавливается между десорбером и конденсатором.

### **Диффузионный обменный аппарат**

*Диффузионный обменный аппарат* - аппарат обменного типа, дающий возможность за счет того, что подвижность растворителя больше подвижности растворённых веществ, обмениваться углекислым газом и кислородом с внешней атмосферой.

### **Дросселирующее устройство**

*Дроссельные устройство* - служит для регулирования расхода жидкости на отдельных участках магистрали, а также для изменения скорости исполнительных механизмов. Дроссели бывают регулируемые и нерегулируемые. Нерегулируемый дроссель - может быть в простейшем виде представлен в виде шайбы, имеющей калибровальное отверстие. В дросселях этого типа потери энергии связаны с отрывом потока и вихреобразованием. Сопротивление этого типа дросселей мало зависит от вязкости и, следовательно, температуры масла. Недостатком этих дросселей является трудность подборки.

### **Испарение**

*Испарение* - преобразование воды в пар представляет собой важный энергетический переход в непрекращающемся круговороте воды в природе. Этот процесс происходит почти непрерывно в результате испарения со всех водных поверхностей и влажной почвы и транспирации растениями. Количественная оценка испарения обычно выполняется косвенным путем.

### **Испаритель**

*Испаритель* - один из основных компонентов холодильной машины, служащий для охлаждения рабочей среды. В качестве рабочей среды холодильной машины используется либо воздух, либо вода или жидкости, содержащие антифриз.

### **Испаритель кожухозмеевиковый**

*Испаритель кожухозмеевиковый* - испаритель, состоящий из одного или более спиральных гладкотрубных змеевиков, размещенных в стальном

корпусе. Такие испарители обычно используются как змеевиковые устройства с хладагентом в трубах и жидкостью в корпусе.

### **Испаритель кожухотрубный**

*Испаритель кожухотрубный* - представляет собой стальной цилиндр, с обоих концов цилиндра установлены стальные решетки, к которым крепятся головки с патрубками для подключения к системе водяного охлаждения.

### **Испаритель пластинчатый**

*Испаритель пластинчатый* - состоит из рядов стальных пластин, расположенных "елочкой". Внутри теплообменника хладагент и вода движутся навстречу друг другу по независимым контурам циркуляции.

### **Испаритель рециркуляционный**

*Испаритель рециркуляционный* - испаритель, содержащий жидкостный насос, который гонит жидкий хладагент по трубам испарителя. Насос накачивает жидкий хладагент из нижней части накопителя. Данный компонент служит емкостью для хладагента, который поступает из регулятора расхода и возвращается из испарителя.

### **Компрессор**

*Компрессор* - (от лат. compressio - сжатие) - энергетическая машина для повышения давления и перемещения газа или жидкостей (масла, хладагента и т.п.). Основы теории центробежных машин были заложены Л. Эйлером, теория осевых компрессоров и вентиляторов создавалась благодаря трудам Н. Е. Жуковского, С. А. Чаплыгина и других учёных.

По принципу действия и основным конструктивным особенностям различают компрессоры:

- поршневые;
- ротационные;
- центробежные;
- осевые
- струйные.

Компрессоры также подразделяют по роду сжимаемого газа (воздушные, кислородные и др.), по создаваемому давлению  $P_h$  (низкого давления - от 0,3 до 1 Мн/м<sup>2</sup>, среднего - до 10 Мн/м<sup>2</sup> и высокого - выше 10 Мн/м<sup>2</sup>), по производительности, то есть объёму всасываемого  $V_{вс}$  (или сжатого) газа в единицу времени (обычно в м<sup>3</sup>/мин) и другим признакам. Компрессоры также характеризуются частотой оборотов  $n$  и потребляемой мощностью  $N$ .

### **Компрессор винтовой**

*Компрессор винтовой* - предназначен для круглосуточной работы с длительными промежутками между техническим обслуживанием. Сжатие среды в нем достигается с помощью двух сцепленных между собой роторов с винтовыми зубьями.

### **Компрессор герметичный**

*Компрессор герметичный* - компрессионный агрегат подобного компрессора непроницаемым для хладагента, внутри которого находятся ротор и обмотка электродвигателя, а их производительность регулируется во всём диапазоне специальными частотными регуляторами.

### **Компрессор герметичный разъемный**

*Компрессор герметичный разъемный (или полугерметичный)* - предназначен для промышленных холодильных установок. Современные ротационные компрессоры применяются в различных областях благодаря особенно высокой эффективности и надёжности, компактности и малого веса.

### **Компрессор поршневой**

*Компрессор поршневой* - компрессоры объемного действия, в которых процесс сжатия и перемещения паров хладагента происходит в замкнутом пространстве цилиндра с помощью поршня.

### **Компрессор холодильный**

*Компрессор холодильный* - устройство, обеспечивающее циркуляцию хладагента в системе холодильного агрегата.

### **Компрессор центробежный**

*Компрессор центробежный* - компрессор, в котором основное движение потока сжимаемого воздуха (газа) происходит в радиальном направлении.

### **Компрессорный агрегат**

*Компрессорный агрегат* - представляет собой систему, которая включает в себя компрессор и привод.

### **Кондиционер**

*Кондиционер* - (от лат. *conditio* - условие, состояние) - агрегат для обработки и перемещения воздуха в системах кондиционирования воздуха. Различают:

- автономные, со встроенными холодильными машинами и электрическими воздухонагревателями;
- неавтономные, снабжаемые холодом и теплом от внешних источников;
- кондиционеры-доводчики, снабжаемые воздухом от центрального кондиционера, а теплом и холодом - от внешних источников, например от центральных, тепловых и холодильных станций.

### **Конденсатор**

*Конденсатор* – это теплообменный аппарат, в котором хладагент переходит из парообразного состояния в жидкое. Сжатые пары хладагента, поступая в конденсатор, охлаждаются и конденсируются, - это и есть переход в жидкое состояние.

### **Конденсатор атмосферный**

*Конденсатор атмосферный* - конденсатор, в котором вода, охлаждающая трубы с хладагентом, протекает в естественной воздушной атмосфере.

### **Конденсатор водяной**

*Конденсатор водяной* -это конденсатор, в котором сжатые пары хладагента, охлаждаются водой, а затем, конденсируясь, выделяют тепло, которое поступает во внешнюю среду.

### **Конденсатор воздушный**

*Конденсатор воздушный* - это конденсатор, в котором сжатые пары хладагента, охлаждаются воздухом, а затем конденсируются, при этом происходит выделение тепла, поступающего во внешнюю среду.

### **Конденсатор-испаритель**

*Конденсатор-испаритель* - теплообменное устройство, в котором конденсация хладагента в каскаде с низкой температурой достигается путем испарения хладагента в каскаде с высокой температурой.

### **Конденсатор кожухотрубный**

*Конденсатор кожухотрубный* - стальной цилиндр, с обоих концов которого установлены стальные решетки, к которым крепятся головки с патрубками для подключения к системе водяного охлаждения. В эти решетки запрессованы медные трубки, по которым протекает вода.

### **Конденсатор погружной**

*Конденсатор погружной* - конденсатор, в котором трубы для охлаждения помещены в резервуар с водой.

### **Конденсатором с принудительным испарением**

*Конденсатором с принудительным испарением* - конденсатор, в котором происходит принудительное охлаждение вентилятором системы охлаждения, и тепло снимается путем испарения воды.

### **Конденсатор со змеевиком**

*Конденсатор со змеевиком* - конденсатор, в котором охлаждение происходит при прохождении хладагента через змеевик, в котором циркулирует охладитель.

### **Конденсатор труба в трубе**

*Конденсатор труба в трубе* - конденсатор, представляющий собой две концентрические трубы, в котором охладитель находится в центральной трубе, а хладагент циркулирует в кольцевом зазоре.

## **Конденсация**

*Конденсация* - (позднелатинское *condensatio* -сгущение, от латинского *condenso* уплотняю, сгущаю) - переход вещества из газообразного состояния в жидкое или твёрдое вследствие его охлаждения или сжатия. Конденсация пара возможна только при температурах ниже критической для данного вещества. Конденсация, как и обратный процесс - испарение, является примером фазовых превращений вещества (фазовых переходов 1-го рода). При конденсации выделяется то же количество теплоты, которое было затрачено на испарение сконденсировавшегося вещества. Дождь, снег, роса, иней - все эти явления природы представляют собой следствие конденсации водяного пара в атмосфере.

## **Морозильник**

*Морозильник* - составная часть холодильника, предназначенная для замораживания продуктов с целью их сохранности на протяжении некоторого временного интервала.

## **Отделитель жидкости**

*Отделитель жидкости* - предназначен для работы в составе аммиачной холодильной установки, служит для отделения паров от увлекаемых из испарительной системы частиц жидкого хладагента. Используется в качестве устройства, обеспечивающего защиту компрессорного оборудования от "влажного" хода и устанавливаются на стороне всасывания перед компрессором.

## **Отделитель масла**

*Отделитель масла* - устройство для отделения масла от паров хладагента.

## **Охлаждение**

*Охлаждение* - это такое снижение температуры предмета, при котором не наблюдается изменение его агрегатного состояния.

## **Рассол**

*Рассол* - водные растворы различных солей с низкой температурой замерзания, применяемые в качестве теплоносителей, обеспечивающих перенос теплоты от охлаждаемого объекта к холодильной машине.

## **Ректификатор**

*Ректификатор* - теплообменный аппарат абсорбционной холодильной машины для разделения паров холодильного агента и абсорбента путем непосредственного контакта с крепким раствором.

## **Ресивер**

*Ресивер* - устройство для осуществления процесса автоматического оттаивания морозильной емкости.

## **Сорбция**

*Сорбция* – это способность поглощать твердым телом различные вещества из окружающей среды.

## **Сублимационная сушка**

*Сублимационная сушка* – технология, при которой замораживание и сушка в вакууме происходит при давлениях ниже давления тройной точки воды. При этом удаление влаги происходит путем сублимации замороженных кристаллов льда, что обеспечивает сохранность формы, размера, цвета, запаха и других свойств объекта высушивания.

## **Тепловой насос**

*Тепловой насос* - устройство, которое предназначено для переноса тепла от тела с низкой температурой к телу с более высокой.

## **Теплота**

*Теплота* - энергия, передаваемая от более нагретого тела менее нагретому при непосредственном соприкосновении или излучением.

Мерой интенсивности движения молекул является температура.

Теплота невесома и ее можно получать в любых количествах за счет механического движения. Теплота сама по себе не является веществом — это всего лишь энергия движения его атомов или молекул.

### **Теплообменник**

*Теплообменник* - устройство, предназначенный для передачи тепла от более нагретого теплоносителя к менее нагретому.

### **Теплообменник кожухотрубный**

*Теплообменник кожухотрубный* - теплообменник, состоящий из кожуха и приваренных к нему трубных решеток, в которых закреплены трубы. Один теплоноситель движется внутри труб, другой - в межтрубном пространстве кожуха. В кожухотрубных теплообменниках можно осуществлять процессы нагревания, охлаждения и конденсации.

### **Теплообменник многотрубный**

*Теплообменник многотрубный* - теплообменник, который представляет собой пучок трубок, помещенных в цилиндрическую камеру (кожух); таким образом, внутренность камеры является межтрубным пространством. Трубки ввальцованы в трубные решетки, ограничивающие камеру со всех сторон. К трубным решеткам крепятся распределительные коробки с патрубками для впуска рабочей жидкости, протекающей внутри трубок.

### **Теплообменник многоходовой**

*Теплообменник многоходовой* - многоходовое устройство с различными типами патрубков, которые могут располагаться в заданных местах, при этом жидкости, циркулируя в системе изолированных между собой каналов, обмениваются теплом.

### **Теплообменник пластинчатый**

*Теплообменник пластинчатый* - предназначен для проведения теплопередачи без изменения агрегатного состояния (нагреватели, холодильники) и с изменением агрегатного состояния (испарители, конденсаторы).

### **Теплообменник противоточный**

*Теплообменник противоточный* - теплообменник, работа которого основана на циркуляции различных параллельных потоков жидкости в противоположных направлениях.

### **Теплообменник прямоточный**

*Теплообменник прямоточный* - теплообменник, работа которого основана на циркуляции различных параллельных потоков жидкости в одном направлении.

### **Термодинамика**

*Термодинамика* - раздел физики или теплотехники, в котором исследуется превращение движения в теплоту и обратно.

### **Терморегулирующий клапан**

*Терморегулирующий клапан* - регулятор, используемый в холодильном производстве, который регулирует расход хладагента в пароконденсационной холодильной машине, а также расширяет жидкий хладагент и управляет его расходом.

### **Терморегулирующий клапан постоянного давления**

*Терморегулирующий клапан постоянного давления* - регулирует подачу хладагента от конденсатора к испарителю таким образом, чтобы при изменении условий работы давление испарения и перегрев в испарителе холодильной машины оставались постоянными.

### **Терморегулирующий клапан термостатический**

*Терморегулирующий клапан термостатический* - регулирует расход жидкого хладагента, который поступает в испаритель, и поддерживает постоянный перегрев выходящего из испарителя газа.

### **Термоэлектрическая холодильная машина**

*Термоэлектрическая холодильная машина* - холодильная машина, использующая термоэлектрический эффект (эффект Пельтье) различных материалов.

## **Техника кондиционирования воздуха**

*Техника кондиционирования воздуха* – совокупность методов, направленных на создание и автоматическое поддержание в помещении параметров воздушной среды (чистоты, температуры, влажности, состава, подвижности и давления воздуха), наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, независимо от изменения параметров наружного воздуха.

### **Турбокомпрессор**

*Турбокомпрессор* - представляет собой более мощный компрессор, в котором непрерывно текущий хладагент сжимается в устройстве, состоящем из ротора с лопатками, вращающимися в определенном направлении.

### **Удельная холодопроизводительность**

*Удельная холодопроизводительность* - это количество передачи тепловой энергии в испарителе на единицу массы при определенных условиях.

### **Фильтр - осушитель**

*Фильтр - осушитель* - элемент контура компрессионного холодильного агрегата. Фильтр-осушитель служит для удаления влаги из хладагента, а также защищает капиллярную трубку от засорения твердыми частицами. Устанавливается между конденсатором и капиллярной трубкой.

### **Фреоны**

*Фреоны* - хладоны, фторсодержащие насыщенные углеводороды (главным образом производные метана и этана), используемые как хладагенты в холодильных машинах. Кроме атомов фтора, в молекулах фреона. содержатся обычно атомы хлора, реже - брома. Известно более 40 различных фреонов; большинство из них выпускается промышленностью.

### **Хладагент**

*Хладагент* - жидкость, которая участвует в холодильном цикле, которая при кипении и в процессе адиабатического расширения отнимает теплоту от охлаждаемого объекта и затем после сжатия передаёт её охлаждающей среде.

### **Хладагент вторичный**

*Хладагент вторичный* - хладагент, который используется как в жидкой фазе, так и в паровой фазе в системе охлаждения с промежуточным теплоносителем.

### **Хладагент первичный**

*Хладагент первичный* - хладагент, непосредственно участвующий в холодильном цикле.

### **Хладоноситель**

*Хладоноситель* - промежуточное вещество (вода, растворы, суспензии и эмульсии на основе воды), предназначенное для отвода теплоты от охлаждаемых объектов и передачи ее рабочему веществу (хладагенту) холодильной машины.

### **Холод**

*Холод* - это относительное понятие, возникающее из чисто субъективных наблюдений, и означает, что тело в результате контакта с внешней средой теряет теплоту.

### **Холодильная камера**

*Холодильная камера* - теплоизолированный контейнер, поддерживающий низкую температуру для хранения скоропортящихся продуктов питания и других веществ. Внутри холодильные камеры оборудуются полками и вешалками для размещения продуктов. Охлаждение осуществляется малыми холодильными машинами с отдельно стоящими или встроенными холодильными агрегатами. В зависимости от температуры в охлаждаемом объеме холодильные камеры бывают:

- среднетемпературными (0-8°C) и
- низкотемпературными (исполнение I - не выше -13 °C, а исполнение II - не выше -18°C).

Номинальный охлаждаемый объем отечественной холодильной камеры составляет 6-18 м<sup>3</sup>.

### **Холодильная машина**

*Холодильная машина* - устройство, служащее для отвода теплоты от охлаждаемого тела при температуре более низкой, чем температура окружающей среды.

### **Холодильная машина абсорбционная**

*Холодильная машина абсорбционная* - машина, в которой пары хладагента абсорбируются твердым или жидким абсорбентом, из которого они, имея более высокое парциальное давление, легко испаряются при нагревании.

### **Холодильная машина компрессионная**

*Холодильная машина компрессионная* - холодильная пароконденсационная машина, в которой с помощью объемных компрессоров достигается сжатие хладагента.

### **Холодильная производительность НЕТТО**

*Холодильная производительность НЕТТО* - количество энергии, расходуемое на поглощение тепла хладагентом от хладоносителя за единицу времени.

### **Холодильная производительность объемная**

*Холодильная производительность объемная* - количество теплоты, необходимое для испарения 1 кг хладагента в единицу времени при заданных термодинамическом цикле и температурах кипения и конденсации хладагента.

### **Холодильная производительность рабочая**

*Холодильная производительность рабочая* - количество теплоты, необходимое для испарения 1 кг хладагента в единицу времени при рабочих условиях.

### **Холодильная система**

*Холодильная система* – представляет собой такую установку, которая переносит тепло от холодного тела к более горячему телу благодаря сообщению ей соответствующей энергии.

### **Холодильная станция**

*Холодильная станция* - система, включающая устройства высокого давления холодильной системы, которая обслуживает несколько испарителей.

### **Холодильная техника**

*Холодильная техника* - раздел техники, охватывает вопросы отвода тепла от объектов или объемов, которые требуется поддерживать при температурах ниже температуры окружающей среды. Теплота, по определению, - это энергия, перенос которой обусловлен разностью температур; следовательно, для обеспечения охлаждения объекта (объема) необходимо создать из него сток тепла и поддерживать его при температуре ниже температуры окружающей среды. Существует много способов, позволяющих сделать это; некоторые из них заключаются всего лишь в перемещении объекта во времени и пространстве, как, например, при сохранении зимнего льда для последующего использования летом. В других методах могут использоваться естественные источники холода, такие, как колодезная вода, охлаждение воздуха при испарении и холодный воздух из глубоких карстовых пещер или с ледников. В большинстве случаев, однако, источником холода являются механические или химические процессы. Все механические холодильные машины представляют собой не что иное, как тепловые насосы.

### **Холодильная технология**

*Холодильная технология* - это специальные методы, которые позволяют эффективно эксплуатировать и применять холодильные машины.

### **Холодильная установка**

*Холодильная установка* - это холодильная машина, состоящая из компрессора, конденсатора, хладагента, системы труб для равномерного распределения холода по камере.

### **Холодильная установка автономная**

*Холодильная установка автономная* - полностью рабочая установка, укомплектованная, собранная, заправленная и испытанная на заводе, включая подходящий корпус.

### **Холодильная установка каскадная**

*Холодильная установка каскадная* - холодильная установка, которая может состоять из нескольких цепей, при этом испаритель одной цепи охлаждает конденсатор следующей цепи.

### **Холодильная установка многоступенчатая**

*Холодильная установка многоступенчатая* - холодильная установка, использующая такой метод повышения эффективности холодильных циклов, который заключается в применении многоступенчатого сжатия с частичным охлаждением сжатого пара между ступенями. При получении сухого льда обычно используются три ступени сжатия с промежуточным водяным охлаждением. Смысл такой операции состоит в уменьшении работы цикла до значения, близкого к затратам при изотермическом сжатии, по сравнению с одноступенчатым.

### **Холодильная установка промышленная**

*Холодильная установка промышленная* - установка, функционирующая как самостоятельное предприятие, может включать: охлаждаемый склад с транспортными платформами, машинное и конденсаторное отделения холодильной установки, градирню, резервуары и насосную станцию обратного водоснабжения.

### **Холодильник**

*Холодильник* - сооружение, предназначенное для охлаждения, замораживания и хранения скоропортящихся пищевых и других продуктов при низких температурах.

## **Холодильные установки для торговых предприятий**

*Холодильные установки для торговых предприятий* - установки, созданные специально для использования в торговых предприятиях.

### **Холодильный агент**

*Холодильный агент* - хладагент, рабочее вещество холодильной машины, которое при кипении или в процессе расширения отнимает теплоту от охлаждаемого объекта и затем после сжатия передаёт её охлаждающей среде (воде, воздуху и т. п.)

### **Холодильный агрегат**

*Холодильный агрегат* - основная единица холодильной машины, включающая в себя автономное устройство для производства холода, компрессор. Агрегат собирается на заводе и является цельным устройством. По типу охлаждения конденсата, агрегат бывает воздушным или водяным.

### **Холодильный шкаф**

*Холодильный шкаф* - контейнер, в котором хранят охлажденные продукты и напитки. Разные виды шкафов имеют разное количество полок, и соответственно разный объём. Двери могут быть как раздвижными, так и распашными. Современные модели оборудованы функцией принудительной авторазморозки.

### **Холодильщик**

*Холодильщик* - специалист по работе холодильных машин, основная деятельность которого заключается в создании таких условий, при которых бы работа холодильной машины была бы непрерывной и производительной.

### **Холодильная камера**

*Холодильная камера* - камера, температура которой ниже температуры окружающей среды, и позволяющая хранить продукты без ущерба их целостности некоторое время.

## **Холодильное оборудование**

*Холодильное оборудование* - оборудование с хладагентом, входящее в состав холодильной установки и предназначенное для выработки холода.

### **Цикл Карно**

*Цикл Карно* - обратимый круговой процесс, в котором совершается превращение теплоты в работу или работы в теплоту. Состоит из последовательно чередующихся двух изотермических и двух адиабатных процессов.

### **Цикл Термодинамический**

*Цикл Термодинамический* - термодинамический процесс, начальное и конечное состояние которого совпадает.

## **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Большаков С.А. Холодильная техника и технология продуктов питания. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 304 с.
2. Курылев Е.С., Оносовский В.В., Румянцев Ю.Д. Холодильные установки. – СПб. Политехника, 2002. – 576 с.
3. Луканин В.Н. Теплотехника. – М.: Высшая школа, 2003.
4. Щербинин В.В., Павленко В.В. Теплотехника: Учебное-методическое пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2007. – 40
5. Хазен М.М., Матвеев Г.А., Грицевский Теплотехника: Учеб. пособие
6. Голянд М.М., Малеванный Б.Н. Холодильное технологическое оборудование. -М.:

7. Теплотехника: Учебник для вузов/ Под общ. ред. А.М.Архарова, В.Н. Афанасьева. – М., 2004. – 712 с.
8. В.Н. Луканин., М.Г. Шатров, Г.М. Камфер. Теплотехника – М.: Высшая школа, 2000. – 671 с.
9. Круглов Г.А., Булгакова Р.И., Круглова Е.С. Теплотехника. – СПб.: Лань, 2010.– 208 с.
10. Драганов Б.Х., Кузнецов А.В., Рудобашта С.П. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. Учебник для вузов по инженерным специальностям сельского хозяйства. М.: Агропромиздат, 1990 г., - 463 с.
11. Теплотехника. /Под общей редакцией Крутова В.И. - М.: Машиностроение, 1986 г., - 432 с.
12. Цуранов О.А., Крысин А.Г. Холодильная техника и технология / Под ред. проф. В.А. Гуляева. - СПб.: Лидер, 2004. - 448 с.
13. Парфентьева Т.Р., Миронова А.А. Оборудование торговых предприятий.- М.: Академия, 2002.- 128 с.
14. Шаров В.М. Основы холодильной техники и технологии. – ДеЛи принт, 2004. - 272 с.
15. Шаров В.М. Основы холодильной техники и технологии. – ДеЛи, 2002. - 126 с.
16. Шаробайко В.И. Биохимия продуктов холодильного консервирования. -М.: Агропромиздат, 1991.
17. Алямовский И.Г. Технология производства потребителей искусственного холода. -Л.: Издательство Ленинградского университета, 1984.
18. Бабакин Б.С, Тихонов Б.С, Юрчинский Ю.М. Совершенствование холодильной техники и технологии. -М.: Галактика-ИГМ, 1992.
19. Каландаров П.И. Матьякубова П.М., Газиева Р.Т. Сушка зерна и зернистых материалов. Ташкент. ТИИИМСХ. 2020. 142 с.

20. Каландаров П.И., Логунова О.С., Андреев С.М. Научные основы влагометрии. / Каландаров П.И., Логунова О.С., Андреев С.М. Ташкент. ТИИМСХ. 2021. 174 с.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Теплотехника. Учебник для вузов. /Под редакцией Баскакова А.П. 2-е издание, переработанное. М.: Энергоатомиздат., 1991 г., - 224 с.
2. Леонова В. Ф. Термодинамика. М., 1968. 158 с.
3. Чижов Г.Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии. -М.: Пищевая промышленность, 1979.
4. Ильясов В.С., Полушкин В.И., Васильева Н.Л. Холодильная технология продуктов в мясной и молочной промышленности. -М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.
5. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена /Под ред. В.И. Крутова и Г.В. Петражицкого. – СПб.: 2011. – 384 с.
6. Панкратов Г.П. Сборник задач по теплотехнике. – М.: 2009. – 252 с.
7. Синявский Ю.В. Сборник задач по «Теплотехнике». – М.: 2010. – 128 с 18. Холодильная техника и технология: Учебник / Под ред. А.В. Руцкого. - М.: ИНФРА-М, 2000.
8. Куцакова В.Е. и др. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. – М.: Колосс, 2003. – 240 с.
9. Аверин Г.Д. Примеры расчетов по курсу холодильная техника / Г.Д. Аверин, А.М. Брашников, А.И. Васильев. - М.: Феникс, 2003, - 183с.
10. Чесноков Б.П. Сборник примеров и задач по термодинамическим процессам холодильной техники: Учебное пособие. Саратов: Сарат.Гос. С.-Х. Академия, 1996 - 129с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

№	Наименование	Стр.
<b>Введение .....</b>		
<b>РАЗДЕЛ I ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ И ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ</b>		
<b>Раздел I</b>	<b>Основные понятия и определения теплотехники</b>	3
§ 1.1.	Основные понятия и определения теплотехники.....	4
§ 1.2.	Первый и второй закон термодинамики .....	13
§ 1.2.1	Первый и второй закон термодинамики.....	13
§ 1.3	Цикл и теорема Карно.....	21
§ 1.4	Основы теплопереноса.....	28
§ 1.5	Получение искусственного холода с помощью охладителей.....	38
§ 1.6	Термодинамические основы холодильных машин	44
<b>РАЗДЕЛ II. ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА</b>		
<b>Раздел II</b>	<b>Холодильная техника</b>	48
§ 2.1	Основы теории холодильной техники .....	48
§ 2.2	Типы холодильных машин .....	56
§ 2.2.1	Газовые и вихревые холодильные машины.....	56
§ 2.2.2	Компрессионная холодильная машина.....	60
§ 2.2.3	Компрессионные паровые холодильные машины ...	63
§ 2.2.4	Абсорбционные и сорбционные холодильные машины .....	64
§ 2.2.5	Пароэжекторные холодильные машины .....	67
§ 2.3.	Термоэлектрические холодильные приборы.....	71
§ 2.4.	Классификация холодильников .....	76
§ 2.4.1	Классификация холодильников для пищевых продуктов	76
§ 2.4.2	Классификация холодильников по назначению .....	77
§ 2.4.3	Классификация холодильников по грузовместимости	82
§ 2.5.	Аммиачные холодильные машины .....	89
§ 2.6.	Фреоновые холодильные машины.....	91
§ 2.7.	Холодильная машина с экономайзером.....	94
§ 2.8.	Автоматизация, холодильных машин и установок...	97
§ 2.9.	Автоматическое регулирование и управление.....	101
§ 2.10.	Агрегаты холодильных машин и установок.....	104

§ 2.11	Классификация и маркировка компрессоров .....	107
§ 2.12.	Объемные и энергетические потери в компрессоре	109
§ 2.13	Холодопроизводительность компрессора .....	111
§ 2.14	Автоматизация холодильных установок .....	113
§ 2.15	Вспомогательное оборудование применяемые при холодильной обработке и хранении .....	117
§ 2.15.1	Конденсаторы .....	117
§ 2.15.2	Испарители.....	123
§ 2.15.3	Охлаждающие приборы.....	125
§ 2.15.4	Вспомогательное оборудование.....	128
<b>РАЗДЕЛ III. ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ</b>		
<b>Раздел III</b>	<b>Холодильная технология</b>	141
§ 3.1.	Организация работы холодильных складов для обеспечения сохранности сельхозпродукции .....	141
§ 3.1.1.	Организация работы холодильных складов	141
§ 3.1.2.	Классификация холодильников систем хладоснабжения с их классификацией по температурным диапазонам	143
§ 3.2.	Эффективным комплексный подход для хранения сельхозпродукции .....	147
§ 3.3.	Основы сохранения и физические химические свойства продуктов.....	151
§ 3.3.1	Условия доставки скоропортящихся пищевых продуктов.....	151
§ 3.3.2	Причины и проявления порчи продуктов	155
§ 3.4.	Основы изменения происходящие в продуктах растительного происхождения при охлаждение и замораживание.....	159
§ 3.4.1.	Охлаждение продуктов растительного происхождения.....	159
§ 3.4.2.	Изменение состава и свойств плодов и овощей .....	170
§ 3.5.	Принципы сохранения пищевых продуктов	192
§ 3.5.1.	Влияние низких температур на рост и размножение микроорганизмов .....	197
§ 3.5.2.	Воздействие низких температур на клетки, ткани и организмы.....	201

§ 3.6.	Холодильные склады для фруктов и овощей	205
§ 3.6.1.	Понятие “овощехранилище”.....	205
§ 3.6.2.	Хранения овощей и фруктов с использованием холодильной системы.....	208
§ 3.7.	Техническая стадия технологии дозревание при хранение овощей и фруктов.....	213
Словарь терминов по холодильной технике.....		218
Литература .....		237

**КАЛАНДАРОВ ПАЛВАН ИСКАНДАРОВИЧ**

**Доктор технических наук, профессор**

**МУКИМОВ ЗИЁВИДДИН МАЪМУРОВИЧ**

**«ТЕПЛО И ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА»**

**Учебник**

Редактор

Жамалов И.О.

Корректор

Исламова Н.С.

Технический редактор

Гулямов А.Т.

---

Адрес редакции: г.Ташкент, ул.Навои. 30.

E-mail: [pachaxznovich@mai.ru](mailto:pachaxznovich@mai.ru) +998933764407

Подписано в печать 01.04.2022 г.

Формат 60 x 84 1/8. Усл.печ.листов 16. Тираж 250 экз. Заказ № 1.

“Fan va talim poligraf” г.Ташкент, ул. Дурмон йўл, 24.