Н.Г. КОНДРАШОВА
Н.Г. ЛАШУТИНА

# Х дильно-
# к пр- со ы-
# ны
# и установки

# Холодильно-машины и

6П2.28
УДК 621.56/59
К—64

**Рецензенты:**

**преподаватель Московского техникума мясной промышленности В. А. Свердлова, главный инженер Центрального конструкторского бюро холодильного машиностроения Р. В. Павлов.**

3—13—5
885—65

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник написан авторами на основе опыта преподавания дисциплины «Холодильно-компрессорные машины и установки» в Ленинградском техникуме холодильной промышленности по программе «Холодильные машины и установки». В первых главах изложены термодинамические основы холодильной техники и дана характеристика компрессоров; наряду с поршневыми компрессорами описаны конструкции ротационных и винтовых, а также турбокомпрессоров, внедряющихся в промышленности, и приведены их расчеты. Для подбора поршневых компрессоров даны их основные характеристики.

Так как в настоящее время на предприятиях имеются не только новые типы компрессоров, то в таблицах приведены данные о компрессорах новых и старых марок.

В последующих главах рассмотрены расчеты абсорбционных машин, вопросы проектирования холодильных сооружений, современные схемы холодильных машин.

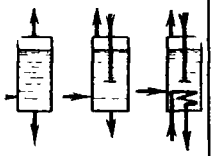
Все расчеты конструкций иллюстрированы примерами.

В учебнике не рассматриваются вопросы автоматизации и эксплуатации холодильных установок, так как они изучаются в соответствующих курсах, предусмотренных учебным планом для техникумов.

С 1 января 1963 г. в СССР введена Международная система единиц измерения СИ, принятая в октябре 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам в Париже. Поэтому в учебнике все расчеты приведены в единицах СИ и внесистемных единицах, допускаемых ГОСТом 8550—61 «Тепловые единицы». Так как таблицы параметров и диаграммы состояния холодильных агентов составлены без изменения, то расчеты даны во внесистемных единицах и в единицах системы СИ.

В учебнике материал между авторами распределен следующим образом: главы I — VIII написаны Н. Г. Лашутиной, главы IX—XXII — Н. Г. Кондрашовой.

Все критические замечания и пожелания по содержанию учебника просьба направлять по адресу: *Москва, И-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа»*.

| Наименование элемента | Условное обозначение | Наименование элемента | Условное обозначение |
|---|---|---|---|
| Компрессор поршиевой (КМ) |  | Переохладитель (ПО) |  |
| Компрессор центробежный (КМ) |  | Промежуточный сосуд (ПС) |  |
| Конденсатор (КД) |  | Отделнтель жидкости (ОЖ) |  |
| Испаритель (И) |  | Маслоотделитель (МО) |  |

# ВВЕДЕНИЕ

Холодильная техника, прежде чем достичь современного уровня, прошла длительный путь развития.

Еще первобытные люди сохраняли мясо животных в горных пещерах, заполненных снегом, а позднее люди устраивали для этого специальные погреба со льдом. В дальнейшем стало известно, что если прибавить ко льду соль, то можно получить более низкую температуру. До XIX в. люди пользовались только естественным ледяным или льдосоляным охлаждением. В XIX в. благодаря развитию машинной техники появилась возможность получать холод посредством специальных холодильных машин. Искусственное охлаждение начали применять при заготовке и транспортировании скоропортящихся продуктов. Первая установка для замораживания

Холодильная техника, прежде чем достичь современного уровня, прошла длительный путь развития.

Еще первобытные люди сохраняли мясо животных в горных пещерах, заполненных снегом, а позднее люди устраивали для этого специальные погреба со льдом. В дальнейшем стало известно, что если прибавить ко льду соль, то можно получить более низкую температуру. До XIX в. люди пользовались только естественным ледяным или льдосоляным охлаждением. В XIX в. благодаря развитию машинной техники появилась возможность получать холод посредством специальных холодильных машин. Искусственное охлаждение начали применять при заготовке и транспортировании скоропортящихся продуктов. Первая установка для замораживания мяса была построена в Сиднее в 1861 г. В 1876 г. впервые было перевезено мясо на судне-рефрижераторе с искусственным машинным охлаждением. Изотермические вагоны с ледяным охлаждением стали применяться в США в 1858 г. Первые холодильники были сооружены в Бостоне и Лондоне в 1881 г.

В России в 1888 г. впервые стал применяться искусственный холод на рыбных промыслах в Астрахани. В том же году на Волге появилась рефрижераторная баржа с воздушной холодильной машиной, положившая начало развитию в России рефрижераторного водного транспорта. В 1889 г. были построены стационарные холодильные установки на пивоваренных заводах и шоколадных фабриках. В 1895 г. в г. Белгороде построили первый заготовительный яично-птичный холодильник емкостью 250 *т*.

Перевозка грузов в вагонах-ледниках в России началась в 1860 г.

В дореволюционный период холодильное хозяйство в России развивалось крайне медленно. До 1914 г. было построено 29 холодильников общей емкостью 45 600 *т*. В годы первой мировой войны в связи с необходимостью снабжения русской армии продовольствием темп строительства холодильников несколько возрос, и с 1914 по 1917 г. холодильная емкость возросла до 57 300 *т*, а количество холодильников — до 58.

Холодильный транспорт к 1917 г. имел 6500 двухосных вагонов-ледников, одно рефрижераторное судно грузоподъемностью 185 *т* и восемь судов с холодильными установками служебного назначения.

За годы гражданской войны почти одна треть предприятий выбыла из строя, остальные находились в полуразрушенном состоянии. В 1925 г. были завершены восстановление и реконструкция старых предприятий и началось строительство новых холодильников в портовых городах: Ленинграде, Одессе, Севастополе, Новороссийске, а также в промышленных центрах: Баку, Ростове-на-Дону, Свердловске, Ташкенте и других городах.

В годы первой пятилетки началось оснащение холодом пищевой промышленности; к началу 1941 г. холодильная емкость возросла до 370,5 тыс. *т*, т. е. в 6,5 раз по сравнению с дореволюционным периодом. За годы Великой Отечественной войны холодильное хозяйство нашей страны сильно пострадало от немецко-фашистских оккупантов, которые разрушили 95 тыс. *т* холодильной емкости. В послевоенный период происходило восстановление холодильников, закончившееся в основном в 1947 г. Наиболее интенсивное строительство холодильников началось в 1949 г. Только за 1949 и 1950 гг. было введено в эксплуатацию более 250 тыс. *т* емкости (табл. 1).

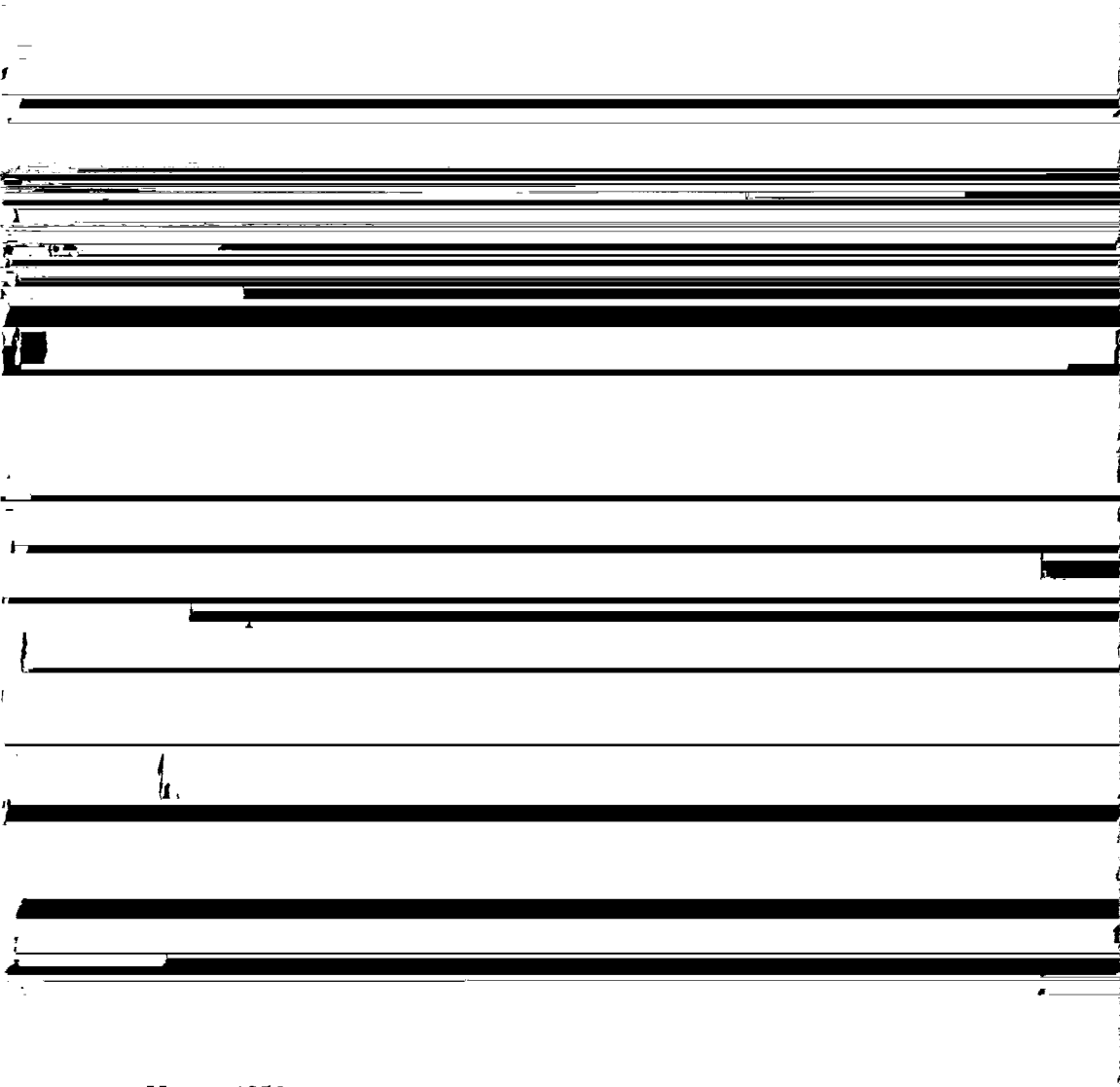
Таблица 1

***Рост емкости холодильников на 1 января***

| Годы | 1917 | 1929 | 1933 | 1941 | 1951 | 1958 | 1961 | 1966 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Емкость, тыс. *т* . . | 57,3 | 89,9 | 172,0 | 370,5 | 661,4 | 1135,8 | 1553 | 3600 |

Чтобы не нарушать непрерывности холодильной цепи, необходимо применять холод от момента изготовления продукта до его реализации. Поэтому в послевоенные годы началось оснащение предприятий торговли холодильными установками. В 1950 г. годовой выпуск шкафов, прилавков, сборных камер и витрин составлял 3 тыс. шт., в 1960 г.—53 тыс. шт., а в 1965 г. должно быть выпущено 185,5 тыс. шт.

Начиная с 1950 г. промышленность выпускает домашние холодильные шкафы, из года в год увеличивая их количество. Так, в 1956 г. было выпущено 224 тыс. шт., в 1960 г.— 529 тыс. шт., а в 1965 г. выпуск домашних холодильников составит 1,5 млн. шт. В настоящее время их производство организовано на предприятиях восьми союзных республик.

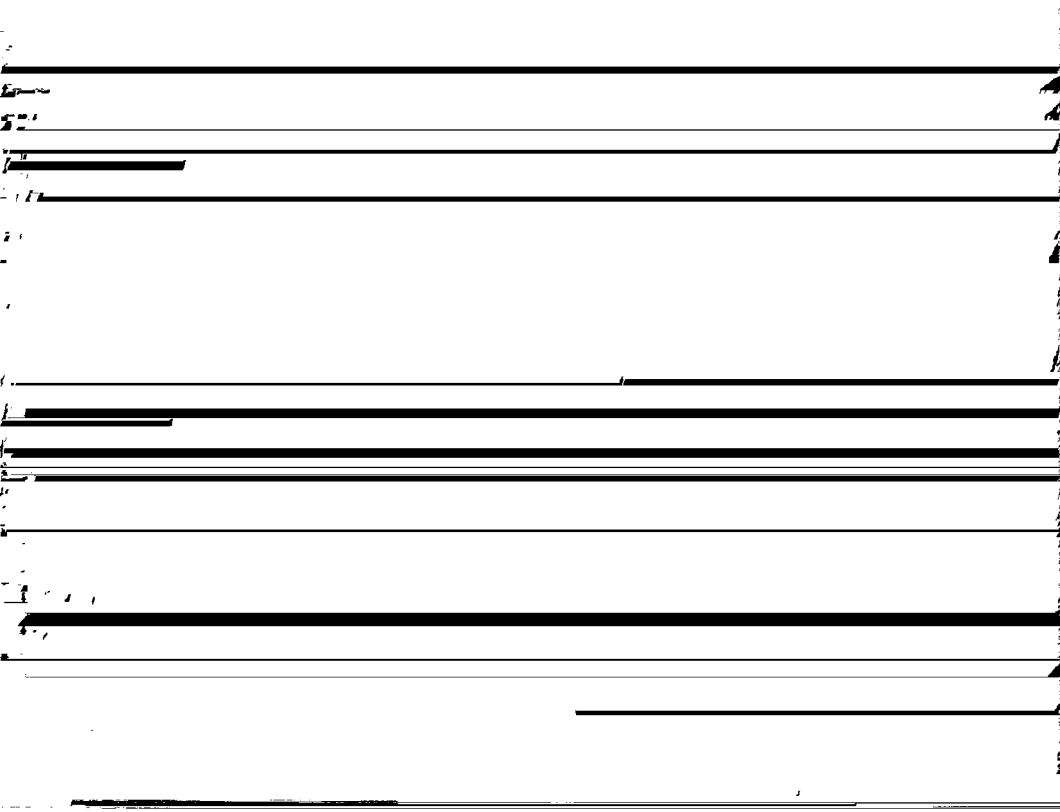


Уже в 1956 г. парк изотермических вагонов увеличился по сравнению с 1917 г. в 10 раз. С 1954 г. выпускаются не только вагоны-ледники, но и вагоны с машинным охлаждением. Создан морской и речной рефрижераторный флот. Рыбная промышленность получила большое количество крупных промысловых судов, оснащенных современными холодильными установками. Широкое применение искусственного холода базируется на развитии холодильного машиностроения. В царской России было всего два завода, производивших холодильные машины. В настоящее время в СССР существует семь заводов холодильного машиностроения, в том числе крупный завод «Компрессор». В 1965 г. основное холодильное оборудование будут выпускать 16 специализированных заводов. Общая холодопроизводительность компрессоров в 1917 г. составляла 23 млн. *вт* (20,3 млн. *норм. ккал/ч*), в 1957 г. — 600 млн. *вт* (519 млн. *норм. ккал/ч*), а к 1965 г. увеличится в 5,7 раза.

Искусственный холод получил самое широкое применение во всех отраслях народного хозяйства: пищевой промышленности, торговле и общественном питании, химической промышленности

Раздел первый

# Общие сведения о холодильно-компрессорных машинах



## Единицы измерения теплоты

В системе единиц СИ в качестве единой меры энергии всех видов, в том числе и тепловой, принят джоуль (*дж*). *Джоуль* — это работа силы в 1 ньютон на пути в 1 метр (при совпадении направлений силы и перемещения точки приложения силы). Более удобной величиной является килоджоуль (*кдж*), равный одной тысяче джоулей.

ГОСТ 8550—61 допускает для измерения теплоты временное применение внесистемной тепловой единицы — килокалории (*ккал*). *Килокалория* — это количество тепла, необходимого для нагревания 1 *кг* воды от +19,5 до +20,5° С при нормальном атмосферном давлении:

$$1\ ккал = 4186{,}8\ дж,\ \text{или}\ 4{,}1868\ кдж.$$

Для нагревания одинакового количества различных тел на одно и то же число градусов необходимо подвести различное количество тепла. Это объясняется различной теплоемкостью тел, зависящей от их физических свойств. *Удельной теплоемкостью* называется количество тепла, необходимого для нагревания или охлаждения 1 *кг* вещества на 1° С. Теплоемкость жидкостей и твердых тел зависит от их температуры. С понижением температуры теплоемкость в большинстве случаев уменьшается.

Обозначается теплоемкость буквой $c$ и измеряется в *ккал/кг·град*, причем

$$1\ ккал/кг \cdot град = 4186{,}8\ дж/кг \cdot град = 4{,}1868\ кдж/кг \cdot град.$$

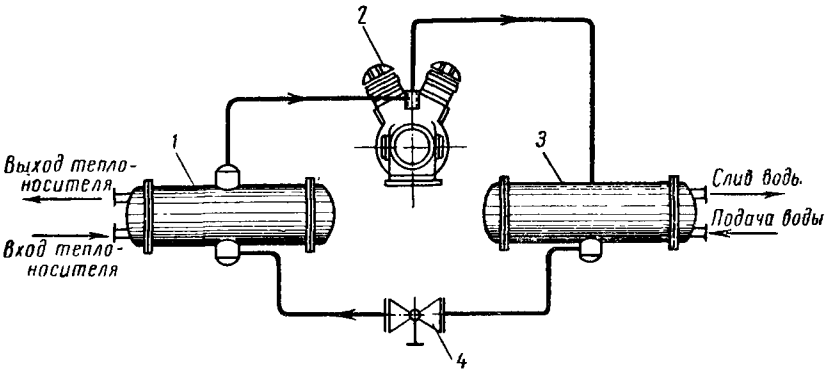



**Рис. 2. Принципиальная схема паровой холодильной машины:**
*1* — испаритель; *2* — компрессор; *3* — конденсатор; *4* — регулирующий вентиль

натрия $Na_2S_2O_3$ имеет температуру замерзания —11° С, водный раствор азотнокислого натрия $NaNO_3$ — минус 18,5° С.

Низкие температуры можно получить при смешении льда с разведенными кислотами. Например, смесь из равных количеств 66-процентной серной кислоты и снега или измельченного льда имеет температуру —37° С.

**Кипение.** Процесс парообразования чистого вещества протекает при постоянных температуре и давлении.

Количество тепла, необходимого для превращения 1 *кг* жидкости в пар, называется *теплотой парообразования*. Для охлаждения применяются жидкости, имеющие при атмосферном давлении низкую температуру кипения и большую теплоту парообразования. Температура кипения и теплота парообразования зависят от давления: с увеличением давления температура кипения повышается, а теплота парообразования уменьшается. Процесс кипения жидкости широко применяется в циклах паровых холодильных машин. Рабочее вещество, с помощью которого осуществляется холодильный цикл, называется *холодильным агентом*.

Принципиальная схема цикла паровой холодильной машины приведена на рис. 2. Жидкий холодильный агент кипит в испарителе, охлаждая помещение или какие-либо аппараты за счет теплоты парообразования. Образовавшиеся при этом пары отсасываются компрессором, поддерживающим в испарителе пониженное давление, а следовательно, и пониженную температуру кипения. Компрессор сжимает пары до давления, при котором их температура насыщения будет выше температуры окружающей среды (наружный

через регулирующий вентиль, в котором он дросселируется с давления конденсации до давления кипения.

Более подробный анализ работы паровой холодильной машины приведен ниже.

**Сублимация.** Процесс перехода тел из твердого состояния в парообразное, минуя промежуточное жидкое, называется *сублимацией*, или возгонкой. Для охлаждения применяется сублимирующая твердая углекислота, или «сухой лед». Температура сублимации «сухого льда» при атмосферном давлении —78,9° С, холодопроизводительность (теплота сублимации) —574 *кдж/кг*, или 137 *ккал/кг*; уменьшая давление ниже атмосферного, температуру сублимации «сухого льда» можно понизить до —100° С.

## § 3. ОХЛАЖДЕНИЕ ПУТЕМ РАСШИРЕНИЯ ГАЗОВ

В процессе расширения сжатого газа понижается температура, так как внешняя работа в этом случае совершается за счет внутренней энергии газа. Для идеального газа связь между температурами и давлением в адиабатическом процессе определяется формулой

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

где $\kappa$ — показатель адиабаты сжатия.

В адиабатическом процессе расширения отсутствует теплообмен с внешней средой и энтропия остается постоянной. Если воздух, сжатый до 9000 *кн/м²* при $T_1=25°$ С, будет адиабатически расширяться до 100 *кн/м²*, то при $K=1{,}4$ конечная температура

$$T_2 = T_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 298\left(\frac{100}{9000}\right)^{\frac{0{,}4}{1{,}4}} = 83{,}2° \text{ K},$$

или $t=83{,}2-273=-189{,}8°$ С.

Этот метод получения низких температур применяется в технике глубокого холода и в воздушных холодильных машинах.

## § 4. ОХЛАЖДЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ (ЭФФЕКТ ДЖОУЛЯ—ТОМСОНА)

*Дросселированием* называется снижение давления жидкости или газа при прохождении их через суженное отверстие (вентиль, кран). В этом процессе не происходит внешней работы и энтальпия остается постоянной. Внутренняя энергия газа расходуется на преодоление усиленного внутреннего трения при прохождении

через регулирующий вентиль, в котором он дросселируется с давления конденсации до давления кипения.

Более подробный анализ работы паровой холодильной машины приведен ниже.

**Сублимация.** Процесс перехода тел из твердого состояния в парообразное, минуя промежуточное жидкое, называется *сублимацией*, или возгонкой. Для охлаждения применяется сублимирующая твердая углекислота, или «сухой лед». Температура сублимации «сухого льда» при атмосферном давлении —78,9° С, холодопроизводительность (теплота сублимации) —574 *кдж/кг*, или 137 *ккал/кг*; уменьшая давление ниже атмосферного, температуру сублимации «сухого льда» можно понизить до —100° С.

## § 3. ОХЛАЖДЕНИЕ ПУТЕМ РАСШИРЕНИЯ ГАЗОВ

В процессе расширения сжатого газа понижается температура, так как внешняя работа в этом случае совершается за счет внутренней энергии газа. Для идеального газа связь между температурами и давлением в адиабатическом процессе определяется формулой

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

где $\kappa$ — показатель адиабаты сжатия.

В адиабатическом процессе расширения отсутствует теплообмен с внешней средой и энтропия остается постоянной. Если воздух, сжатый до 9000 *кн/м²* при $T_1=25°$ С, будет адиабатически расширяться до 100 *кн/м²*, то при $K=1{,}4$ конечная температура

$$T_2 = T_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 298\left(\frac{100}{9000}\right)^{\frac{0{,}4}{1{,}4}} = 83{,}2° \text{ K},$$

или $t=83{,}2-273=-189{,}8°$ С.

Этот метод получения низких температур применяется в технике глубокого холода и в воздушных холодильных машинах.

## § 4. ОХЛАЖДЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ (ЭФФЕКТ ДЖОУЛЯ—ТОМСОНА)

*Дросселированием* называется снижение давления жидкости или газа при прохождении их через суженное отверстие (вентиль, кран). В этом процессе не происходит внешней работы и энтальпия остается постоянной. Внутренняя энергия газа расходуется на преодоление усиленного внутреннего трения при прохождении