

62157
С 82

СМОЦИК

НБ
УДУНТ
(ДНТ)

НАСОСО-КОМПРЕССОРНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ Н. К. Т. П.

1984

Учебники и учебные пособия
для ФЗУ и курсовой сети
по повышению квалификации

Инж. СТОЦИК Л. И.

Х о л о д и л ь н ы е м а ш и н ы

ИЗДАТЕЛЬСТВО
И. С. Т. П.
И. С. Т. П.

ОНТИ НКТП СССР
ГОСМАШМЕТИЗДАТ

32272

Редактор И. С. Берлин Техн. редактор Н. А. Парамонова

Сдано в набор 25/II, подпис. к печ. 15/VII

издат. № 927, тираж 16300, колич. л. 101 $\frac{1}{4}$

кол. знак. в л. 48960, форм. бум. 62×93 $\frac{1}{16}$

Уполн. Главл. № Б—21239.

Заказ № 4863.

Фабрика книги «Красный пролетарий». Москва, Краснопролетарская, 16.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие	7
Сокращения, встречающиеся в книге	8
Глава I. Основные сведения о теплоте, и применение их в холодильной технике	
1 Понятие о теплоте	9
2 Изменение состояния тела под влиянием теплоты	10
3 Температура и термометр	10
4 Градуировка термометра в градусах Реомюра, Цельсия и Фаренгейта	10
5 Перевод показаний шкал градусников	12
6 Абсолютная температура	13
7 Измерение теплоты и калория как единица измерения	13
8 Теплоемкость	15
9 Температура и скрытая теплота плавления	16
10 Температура кипения и скрытая теплота парообразования	18
11 Ожижение, или конденсация, и испарение	19
12 Критическая температура и давление	19
13 Влажность	20
14 Теплопроводность и теплопередача	22
15 Эквивалентность теплоты и механической работы	24
16 Контрольные вопросы и задачи	25
Глава II. Общие сведения о холодильных машинах и физических свойствах хладагентов	
1 Разница между силовыми и холодильными машинами	26
2 Холодильная машина абсорбционной системы	27
3 Холодильная машина компрессионной системы	30
4 Зависимость холодопроизводительности компрессионной машины от температуры испарения и конденсации	33
5 Обозначение холодопроизводительности компрессора	34
6 Зависимость расхода двигательной силы на компрессор от температур испарения и конденсации	36
7 Общая закономерность зависимости холодопроизводительности компрессионных машин всех употребительных систем от температуры испарения и конденсации хладагентов	37
8 Перерасчет мощности компрессора, заданной при одних температурах испарения и конденсации для работы с другими температурами испарения и конденсации	38
9 Соотношение между размерами цилиндров аммиачных, углекислотных и сернокислотных компрессоров	40
10 Способ вычисления размеров цилиндра компрессора холодильной машины	43
11 Увеличение холодопроизводительности компрессора с увеличением числа его оборотов	45
12 Индикаторная диаграмма и индикаторная работа компрессора	46
13 Способ расчета индикаторной работы компрессора	48
14 Расчет поверхности конденсатора и испарителя	50
15 Контрольные вопросы и задачи	51

I. КОМПРЕССОР, МАНОМЕТР, РЕГУЛИРУЮЩИЙ ВЕНТИЛЬ, СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

1	Общее описание компрессора	52
2	Типы компрессоров	56
3	Станина, цилиндр и поршень компрессора	58
4	Всасывающие и нагнетательные клапаны	60
5	Сальник штока поршня	63
6	Предохранительный клапан	67
7	Регулятор холодопроизводительности у компрессоров	70
8	Крейцкопф, направляющие и шатун	70
9	Вертикальные многоцилиндровые компрессоры	71
10	Приводы	72
11	Маслоотделитель	72
12	Возвратный клапан	75
13	Грязеуловитель	75
14	Манометры	76
15	Индикатор	77
16	Регулирующий вентиль	78
17	Запорные вентили	79
18	Соединительные трубопроводы	80

II. КОНДЕНСАТОР

1	Типы конденсаторов	80
2	Погружной конденсатор	82
3	Оросительный конденсатор	84
4	вухтрубный противоточный конденсатор	86
5	Оросительные конденсаторы с промежуточным отводом для жидкости хладагента	87
6	Элементные или многотрубчатые конденсаторы	90
7	Трубчато-кожуховый конденсатор	92
8	Переохладитель	92
9	Градирия	94

III. ИСПАРИТЕЛЬ, ИЛИ РЕФРИЖЕРАТОР

1	Батареи для непосредственного испарения	94
2	Рассолы как промежуточные хладагенты в испарителях	95
3	Рассольные испарители со спиральными змеевиками и цилиндрическим баком	96
4	Рассольные испарители с плоскими змеевиками и бак	96
5	Рассольные двухтрубные испарители	99
6	Рассольные испарители интенсивного действия новей ших систем	100
7	Рассольные батареи	102
8	Перегреватель, или отделитель жидкости	104
9	Контроллер мощности холодильной машины	104

IV. ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ НЕБОЛЬШОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Контрольные вопросы и задачи	106
------------------------------	-----

Глава IV. Воздухоохладители и аппараты для охлаждения жидкостей

1	Области применения холодильной техники	107
2	Воздушное охлаждение	107
3	Воздухоохладители	108
4	Приборы для измерения влажности	110
5	Мокрые воздухоохладители	110
6	Аппаратура для охлаждения жидкостей	113
	Контрольные вопросы и задачи	114

Глава V. Расчеты холодильных установок

1	Расчет как основа решения технических заданий	116
2	Расчет теплоотдачи через стены, полы и потолки	116
3	Расчет теплоты на охлаждение продуктов	118
4	Расчет теплоты на замораживание продуктов	119
5	Расчет теплоты при переходе тела из жидкого в твердое состояние	121
6	Расчет теплоты на вентиляцию	122
	Контрольные вопросы и задачи	124

Глава VI. Монтаж холодильной машины и уход за нею

I. МОНТАЖ

1	Общие указания по производству монтажа	125
2	Притирка и пришибровка клапанов компрессора	126
3	Уплотнение сальников	127
4	Пригонка вкладышей подшипников	128
5	Сборка аппаратуры и трубопроводов	129
6	Опробование холодильной машины после сборки	129
7	Наполнение машины хладагентом	130
8	Приготовление рассола	130

II. ПУСК В ХОД ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ, РЕГУЛИРОВКА ЕЕ И ОСТАНОВКА

1	Пуск в ход холодильной машины	131
2	Остановка холодильной машины	133
3	Регулирование холодильной машины	133
4	Анализ работы компрессора по индикаторной диаграмме	155

III. УХОД ЗА ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНОЙ 136

IV. МАТЕРИАЛЫ, ПОТРЕБНЫЕ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

1	Аммиак	140
2	Углекислота	140
3	Сернистая кислота	140
4	Смазочные масла	140
5	Разные материалы	141

V. ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

1	Мелкий ремонт	141
2	Работы по текущему ремонту	141
3	Опорожнение компрессора при ремонтах	141
4	Опорожнение конденсатора при ремонтах	142
5	Опорожнение испарителя при ремонтах	142

VI. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ 142

VII. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ МАСКИ 144

	Контрольные вопросы и задачи	144
	Ответы на задачи	145

Справочник

1	Таблица квадратов, кубов, квадратных корней и кубических корней из чисел от 1 до 100	148
2	Таблица теоретической холодопроизводительности 1 м ³ паров аммиака	150
3	Таблица теоретической холодопроизводительности 1 м ³ паров сернистой кислоты	150
4	Таблица теоретической холодопроизводительности 1 м ³ паров углекислоты	151
5	Таблица весов 1 м ³ воздуха и содержание влаги при разных температурах (таблица абсолютной влажности)	152
6	Таблица для определения относительной влажности по психрометру	153
7	Таблица рассолов из поваренной соли	153
8	Таблица для производства расчета при добавлении соли с частичным возобновлением рассола из поваренной соли.	154
9	Таблица рассолов из хлористого кальция	155
10	Таблица для производства расчета при добавлении соли с частичным обновлением рассола из хлористого кальция	156
11	Таблица рассолов из хлористой магнезии	157
12	Таблица для производства расчетов при добавлении соли с частичным обновлением рассола из хлористой магнезии	158
13	Таблица содержания влаги в продуктах, теплоты затвердевания и теплоемкостей	159
14	Таблица норм убыли в процентах пищевых продуктов при замораживании и холодном хранении	159
15	Таблица наиболее благоприятных температур для хранения пищевых продуктов, в камерах холодильников, потребной влажности и вентиляции воздуха	160
16	Нормы загрузок на 1 м ² площади камер холодильника и способ упаковки	161
17	Таблица соотношений между давлением нагнетания хладагентов и температурой отходящей воды из конденсатора	161

НЕ
УДУНТ
(ДИТ)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Холодильная техника в условиях гигантского роста производственных сил нашего Союза в настоящее время приобретает огромное значение. Искусственное охлаждение проникло во многие отрасли промышленности: пищевую, химическую, текстильную, горное дело, металлургию, шелководство, цветоводство и т. п. Кроме того искусственное охлаждение имеет немаловажное значение для исследовательских лабораторий, медицины, кондиционирования воздуха в общественных местах и т. д.

Еще более важное место холодильная техника должна у нас занять в ближайшие годы, благодаря дальнейшему росту и развитию всех без исключения видов промышленности и увеличению культурного обслуживания рабочих масс и постройке новых зданий для общественных и увеселительных собраний.

Поэтому следует считать своевременным дать рабочим, занятым в различных областях, где «холод» находит применение, или занятым производством холодильных машин, книгу для усвоения основ холодильной техники.

Настоящая книга вместе с тем может служить пособием для цеховых школ и ФЗУ тех отраслей промышленности, в которых применяется искусственное охлаждение.

В этой книге в связи с ее предназначением автор должен был обойти высшую математику, на которой базируется термодинамика, требующая от читателя значительной теоретической подготовки. Пришлось для пояснения основ работы прибегнуть к таблицам свойств хладагентов и по ним шаг за шагом вводить читателя в сложный процесс, разыгрывающийся в холодильной машине.

Там, где уровень математических знаний широкого круга читателей это позволял, автор старался, используя эти знания, простыми методами ввести читателя в круг понятий и выводов, обычно составляющих удел квалифицированных техников. Последнее относится например к индикаторной диаграмме машин, к объяснению соотношений между величинами цилиндров холодильных машин, работающих с разными хладагентами.

Этими простыми методами книга ставит себе целью в осуществление лозунга «техника в массы» дать производственным рабочим определенный цикл знаний, которые должны обеспечить им возможность самостоятельного решения многих вопросов, имеющих большое значение в практике, а, главное, возможность подойти к холодильной машине с пониманием технологического процесса ее действия.

Автор.

Сокращения, встречающиеся в книге:

<i>кг</i>	—	означает килограмм
<i>г</i>	—	» грамм
<i>л</i>	—	» литр
<i>м</i>	—	» метр
<i>м²</i>	—	квадратный метр
<i>м³</i>	—	кубический метр
<i>дм</i>	—	дециметр
<i>дм³</i>	—	кубический дециметр
<i>см</i>	—	сантиметр
<i>см²</i>	—	квадратный сантиметр
<i>мм</i>	—	миллиметр
<i>ат</i>	—	атмосферу
<i>ата</i>	—	абсолютную атмосферу
<i>кал</i>	—	калорию
<i>т</i>	—	тонну
<i>л. с.</i>	—	лошадиную силу
<i>л. с. час</i>	—	лошадиную силу-час
<i>кгм</i>	—	килограммометр
к. п. д.	—	коэффициент полезного действия
<i>кал/кг</i>	—	число калорий, приходящихся на 1 кг вещества
<i>°Ц</i>	—	градусы Цельсия
<i>°Бе</i>	—	градусы Боме

НЕ
УДУНТ
(ДИТ)

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛОТЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ.

1. Понятие о теплоте

Ощущение холода и тепла мы воспринимаем посредством нашей нервной системы, и понятие о холоде или теплоте является врожденным понятием у каждого человека.

Однако для физиков и техников значение имеет не само ощущение, а причина, его вызывающая, и явления, претерпеваемые телами под влиянием изменения их температурного состояния.

Так как явления холода и тепла вызываются одной и той же причиной, то физика знает только одно учение о теплоте; только техника для простоты, для отличия процессов, происходящих или производимых при низких температурах, сохранила термины холод, охлаждение, а область техники, которая дает возможность получения низких температур, приобрела название холодильной техники.

Теплота есть один из видов или форм энергии, существующих в природе, и этот вид энергии сопровождает часто другие виды ее, например электричество: когда электричество течет по проводу, то провод согревается, почему требуется для определенного количества тока соответствующее сечение провода.

Теплота как энергия есть по существу энергия движения молекул тела—мельчайших частиц его, которые физически неделимы. Движение молекул, или колебания их внутри тела, носит беспорядочный характер; молекулы непрерывно сталкиваются друг с другом, ударяются друг о друга и расходятся, удерживаемые однако, как их называют, силами сцепления в определенных рамках.

Когда телу сообщают извне больше тепловой энергии, т. е. когда его нагревают, то скорость колебания молекул увеличивается; когда у тела отнимают теплоту,—когда его охлаждают,—интенсивность колебаний молекул уменьшается.

Тепловая энергия, или теплота, передается от одного тела другому как при прикосновении их друг к другу, так и на расстоянии через среду, в которой тела находятся, например через воздух. При этом происходит уравнивание температур этих тел, как и самой среды: тела более нагретые охлаждаются, а тела менее нагретые подогреваются—и это явление продолжается до тех пор, пока их температуры не сравняются.

2. Изменение состояния тела под влиянием теплоты.

Согревание или охлаждение тел отмечается изменением их физического состояния. Все тела от нагревания увеличиваются в своем объеме, или, как привыкли выражаться, расширяются; наоборот, при охлаждении тела уменьшаются в своем объеме. Это явление свойственно всем телам, находящимся при существующих обычных температурных условиях воздуха в твердом, жидком или газообразном состоянии. При согревании или охлаждении многих тел до определенных свойственных им температур состояние тел может измениться до того, что твердое тело перейдет в жидкое состояние или, наоборот, жидкое тело перейдет в твердое состояние, замерзнет, или жидкое тело перейдет в газообразное состояние, и наоборот. Возможность этого перехода природа подсказала человеку, поместив перед его глазами воду, лед и водяные пары, составляющие одно физическое тело в трех состояниях: жидком, твердом и газообразном.

3. Температура и термометр.

Для сравнения степени нагрева тел физики Реомюр, Цельсий, Фаренгейт изобрели прибор, известный под названием **термометр**, измеритель температуры. Они воспользовались при этом вышеуказанным свойством тел при нагревании расширяться, а при охлаждении сжиматься. Для своего прибора—термометра—они избрали ртуть—металл, находящийся в обыкновенных температурных условиях воздуха в жидком состоянии. Термометр состоит из стеклянной трубочки, имеющей очень маленький внутренний диаметр (волосяной трубочки, как иногда выражаются), со стеклянным полым шариком на одном конце, наполненным ртутью; другой конец трубочки запаян. На самой трубочке или на шкале, к которой трубочка прикрепляется, нанесены деления—градусы, а при делениях, для отсчета, через определенные промежутки поставлены числа градусов.

4. Градуировка термометра в градусах Реомюра, Цельсия и Фаренгейта.

Для нанесения делений, градусов, т. е. для составления шкалы, поступают следующим образом: когда трубочка еще не запаяна, шарик наполняют ртутью и опускают в кипящую воду; ртуть в шарике, увеличиваясь в объеме благодаря теплоте, заполнит трубочку и остановится в ней на известной высоте. На этой высоте ртуть все время будет оставаться, пока будет кипеть вода (почему это так бывает, будет сказано дальше). На этой высоте, называемой точкой кипения воды, делается отметка, и трубочка, из которой воздух удален, запаивается. После этого шарик трубочки погружают в сосуд с тающим льдом или снегом; ртуть начнет тогда спускаться из трубочки в шарик и, достигнув в трубочке известной высоты, опять остановится, и это будет продолжаться до тех пор, пока лед или снег будет таять (почему это так происходит—тоже будет пояснено дальше). На этой вто-

рой высоте, называемой точкой таяния льда, делается вторая отметка. Расстояние между первой и второй отметкой, между точками кипения воды и таяния льда, Реомюр делит на 80 равных частей, Цельсий на 100 равных частей, а Фаренгейт на 180 равных частей. Эти части называются градусами. Так как длина этих частей, как это явствует из сказанного, будет разная, то различают градусы по Реомюру, Цельсию и Фаренгейту. Ниже таяния льда наносятся на трубочке во всех трех случаях соответствующие деления, причем по Цельсию можно нанести 40 делений-градусов, после чего дальнейшее нанесение делений бесполезно, так как ртуть после сорокового деления замерзает, превращается в твердое состояние.

При точке таяния льда Реомюр и Цельсий поставили 0° (значок сверху цифры нуль означает градусы); от 0° до точки кипения по Реомюру будет отсчитываться 80° тепла, а от 0° книзу, по направлению к шарiku, будут отсчитываться градусы холода. Это потому, что принято считать температуру, при которой происходит замерзание воды, холодной. Фаренгейт, не считаясь с общепринятым понятием о холоде, за начальную точку для отсчитывания градусов принял 32-е деление книзу, после точки таяния льда, и поставил в этом месте 0° на своей шкале; таким образом при точке кипения воды у Фаренгейта проставлено $180 + 32 = 212^{\circ}$, т. е., другими словами, кипение воды по шкале Фаренгейта происходит при температуре 212 градусов Фаренгейта.

Чтобы показать, в какой шкале проставлены градусы, пишут:

$^{\circ}\text{Р}$ — что означает градусы по Реомюру.

$^{\circ}\text{Ц}$ — что означает градусы по Цельсию.

$^{\circ}\text{Ф}$ — что означает градусы по Фаренгейту.

Так 27°Ц читается: двадцать семь градусов Цельсия; 45°Р читается: сорок пять градусов по Реомюру; 60°Ф читается: шестьдесят градусов по Фаренгейту.

Для того чтобы можно было различить деления-градусы, нанесенные на шкале сверху от нуля (выше нуля), от делений-градусов, проставленных на шкале книзу (ниже нуля), в первом случае ставят знак $+$ (плюс), во втором случае знак $-$ (минус).

Знак $+$ часто опускают. Так -10°Ц означают: минус 10 градусов Цельсия; $+5^{\circ}\text{Р}$ означают: плюс пять градусов по Реомюру ¹.

В СССР, как и в большинстве государств Западной Европы принято измерять температуру термометром Цельсия и температуры выше нуля, со знаком $+$ (плюс), означают тепло, а температуры ниже нуля, со знаком $-$ (минус), означают холод.

Но в Англии и САСШ имеет распространение термометр Фаренгейта. По этому термометру температуры до 32°Ф следует считать холодными температурами.

¹ Часто в книгах, написанных на русском языке, при обозначении шкалы градусов применяют латинские буквы. Так $^{\circ}\text{Ц} = ^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{Р} = ^{\circ}\text{R}$, $^{\circ}\text{Ф} = ^{\circ}\text{F}$.

5. Перевод показаний шкал градусников Реомюра Цельсия и Фаренгейта

Пересчет количества градусов по указанным трем шкалам очень легко произвести, если принять во внимание, как это явствует из вышесказанного, что:

$$\begin{aligned} & 1^{\circ}\text{Р} = \frac{100}{80} = \frac{5}{4}^{\circ}\text{Ц} \\ \text{или наоборот} \quad & 1^{\circ}\text{Ц} = \frac{80}{100} = \frac{4}{5}^{\circ}\text{Р} \\ & 1^{\circ}\text{Р} = \frac{180}{80} = \frac{9}{4}^{\circ}\text{Ф} \\ \text{или наоборот} \quad & 1^{\circ}\text{Ц} = \frac{80}{180} = \frac{4}{9}^{\circ}\text{Р}; \quad 1^{\circ}\text{Ф} = \frac{100}{180} = \frac{5}{9}^{\circ}\text{Ц} \end{aligned}$$

Пример 1. Так для примера, чтобы 40°Ц пересчитать в градусы Реомюра, надо число 40 помножить на дробь $\frac{4}{5}$;

$$40 \cdot \frac{4}{5} = 32^{\circ}\text{Р.}$$

Пример 2. Чтобы 32°Р обратить в градусы Цельсия, надо число 32 помножить на дробь $\frac{5}{4}$; $32 \times \frac{5}{4} = 40^{\circ}\text{Ц}$.

Пример 3. Чтобы те же 40°Ц пересчитать в градусы Фаренгейта, следует число 40 помножить на дробь $\frac{9}{5}$ и к полученному произведению прибавить число 32; получим:

$$40 \cdot \frac{9}{5} + 32 = 72 + 32 = 104^{\circ}\text{Ф.}$$

Пример 4. Чтобы превратить 104°Ф в градусы Цельсия, надо сделать обратное действие, а именно: надо сначала из числа 104 вычесть число 32 и полученную разность помножить на $\frac{5}{9}$:

$$(104 - 32) \cdot \frac{5}{9} = \frac{72 \cdot 5}{9} = 40^{\circ}\text{Ц.}$$

Пример 5. Возьмем другой пример:

Пусть задана производительность компрессора при температуре испарения 5°Ф и температуре конденсации 86°Ф (о том, что такое температура испарения и температура конденсации, речь будет впоследствии, равно как впоследствии, в дальнейшем изложении, будет дано представление о компрессоре, о его работе и роли в холодильной установке). Требуется перевести указанные температурные характеристики компрессора в температурные характеристики, принятые в СССР, т. е. пересчитать данные числовые температуры по Фаренгейту в градусы по Цельсию.

Так как нулевая температура по Цельсию соответствует 32°Ф , то, чтобы пересчитать данную температуру испарения 5°Ф в градусы Цельсия, мы должны из числа 32 вычесть число пять и полученную разность помножить на дробь $\frac{5}{9}$, получим: $(32 - 5) \times \frac{5}{9} = 15$, а так как эта темпера-

тура ниже нулевой по Цельсию, то мы должны ее взять со знаком минус (-15° Ц).

Для наглядности производимых действий можно себе вообразить термометр с двумя шкалами: Цельсия и Фаренгейта. Пятое деление—пятый градус—шкалы Фаренгейта будет лежать ниже нуля по шкале Цельсия и до нулевого показания Цельсия останется $32-5=27$ делений-градусов Фаренгейта, каковое число 27° будет совпадать по шкале Цельсия с числом $(27 \times \frac{5}{9}) = -15^{\circ}$.

Данную температуру конденсации 86° пересчитаем в градусы Цельсия таким же образом. Из числа 86 вычтем число 32 и полученную разность помножим на дробь $\frac{5}{9}$:

$$(86 - 32) \cdot \frac{5}{9} = 54 \cdot \frac{5}{9} = 30,$$

т. е. температура конденсации будет $+30^{\circ}$ Ц.

Ртутный термометр годится для измерения температур между -40° Ц и $+350^{\circ}$. Для измерения температур ниже -40° Ц применяют спиртные термометры, дающие возможность измерять температуры от -100° до $+78^{\circ}$. Для измерения температур выше $+400^{\circ}$ Ц применяют пирометры (металлические термометры).

6. Абсолютная температура.

В части науки о теплоте, называемой термодинамикой, как и в физике, введена особая температурная шкала, дающая возможность математически оперировать при изучении некоторых законов природы газов и паров. Эта шкала отличается от шкалы Цельсия, тем что нулевая точка шкалы Цельсия перенесена книзу от точки таяния льда на 273 деления $= 273^{\circ}$ Цельсия. Это означает, что когда термометр Цельсия показывает 0° , то абсолютная температура в воображаемом термометре будет 273° Ц. Ясно, что по этой шкале не будет обозначений градусов температур со знаком минус. Температура 0° будет в этой шкале 273° температура -10° Ц будет равна $273-10=263^{\circ}$ абсолютной температуры; температура $+15^{\circ}$ Ц будет соответствовать $273+15=288^{\circ}$ Ц абсолютных.

Число 273 взялось вот откуда. Газы при постоянном давлении увеличиваются в своем объеме на $\frac{1}{273}$ часть, если их температуру увеличить на 1° Ц. Если их охлаждать при постоянном давлении, то они будут убывать в объеме на $\frac{1}{273}$ часть при понижении их температуры на каждый градус. Если бы это понижение температуры можно было бы произвести до -273° Ц, то газ сжался бы настолько, что он не занимал бы места, его объем равнялся бы нулю. Эту температуру -273° Ц принято считать самой низкой возможной температурой в природе, абсолютным температурным нулем, почему вышеназванную шкалу принято считать шкалой абсолютных температур.

7. Измерение теплоты и калория как единица измерения.

Имея мерник для сравнения степени нагрева тел—термометр, можно установить путем опыта целый ряд весьма интересных яв-

лений, имеющих очень большое значение в теплотехнике вообще и в холодильном деле в частности. Так, если взять например 1 л воды,—что все равно, что сказать 1 кг воды, так как 1 л воды весит 1 кг,—при температуре 5° Ц и смешать ее с 1 кг воды, имеющей температуру 1° Ц, и измерить температуру полученной смеси воды в 2 кг, то увидим, что температура этой смеси будет 3° Ц, т. е. $\frac{5+1}{2}$ другими словами, средняя арифметическая обеих температур.

То же самое получится, если смешать например 5 кг воды при температуре 5° Ц с 5 кг воды при температуре 1° Ц; общая температура смеси будет 3° Ц. Такой результат опыта мог получиться только оттого, что каждый из смешанных килограммов воды содержит на 1° нагрева одно и то же количество теплоты, тепловой энергии. Если количество теплоты, содержащейся в каждом килограмме воды на каждый градус, или,—что все равно,—количество теплоты, требующейся для подогрева 1 кг воды на 1° Ц, примем за единицу—единицу измерения, которую назовем, как это принято, калорией, то полученные результаты измерений при наших опытах можно заранее подсчитать арифметическим путем.

Так, в первом случае мы взяли 1 кг воды при 1° Ц, содержащий в себе 1 кал теплоты, и смешали с 1 кг воды при 5° Ц. Вторым килограмм воды содержал в себе 5 кал теплоты. Всего в обоих килограммах воды было в сумме $5+1=6$ кал теплоты, и на каждый килограмм смеси приходилось $6:2=3$ кал теплоты.

Так как каждая калория на 1 кг воды соответствует ее нагреву на 1° Ц, то следовательно 1 кг воды, содержащей 3 кал теплоты, будет нагрет на 3° Ц.

Во втором примере мы имели 5 кг воды при температуре 5° Ц ($5 \times 5 = 25$ кал) и смешали с 5 кг воды при температуре 1° Ц ($5 \times 1 = 5$ кал), т. е. всего имели 10 кг воды содержащих вместе $25+5=30$ кал; следовательно на 1 кг воды приходилось $30:10=3$ кал, что соответствует опять-таки 3° Ц.

Вообще если смешать два количества воды, имеющих разные температуры, и пожелать рассчитать, какова будет температура смеси, то следует числа килограммов смешиваемых количеств воды помножить на числа, показывающие их температуры, оба произведения сложить и полученную сумму разделить на общий вес (в кг) смешанных количеств.

Пример 6. В бак, содержащий 3 м³ воды (1 м³ воды = 1 000 л, весит 1 000 кг) с температурой 20° Ц, подкачали 2 м³ воды с температурой 10° Ц. Какова должна быть температура получившейся смеси, если не считать потерь теплоты?

Ответ:

$$\frac{3 \cdot 1\,000 \cdot 20 + 2 \cdot 1\,000 \cdot 10}{3 \cdot 1\,000 + 2 \cdot 1\,000} = 16^\circ \text{ Ц.}$$

Итак повторяем: калория—это единица, масштаб для измерения количества теплоты, причем под этой единицей подразумевается то количество теплоты, которое требуется для подогрева 1 кг воды на 1° Ц.

В холодильной технике расчет и обозначение производитель-

ности основных частей холодильной машины (компрессора и аппаратуры) всегда ведется в калориях и надо хорошо усвоить, что под словом «калория» подразумевается.

8. Теплоемкость.

То явление, которое мы наблюдали у воды, а именно, что для подогрева каждого килограмма воды требуется определенное количество теплоты, наблюдается также у всех других веществ, будь то жидкость, твердое тело или газы; только каждое вещество весом из 1 кг требует для своего подогрева на 1°Ц определенное одно и то же количество теплоты, свойственное данному веществу, т. е. определенное количество калорий. Так например для подогрева 1 кг железа на 1°Ц требуется 0,115 кал; 1 кг алкоголя 0,58 кал; 1 кг серебра 0,056 кал; 1 кг льда 0,5 кал; 1 кг воздуха 0,24 кал. То количество теплоты, которое требуется для подогрева 1 кг вещества на 1°Ц , называется теплоемкостью данного вещества. Теплоемкость железа, как явствует из сказанного, будет 0,115, теплоемкость серебра 0,056, теплоемкость алкоголя 0,58, теплоемкость льда 0,5 кал, теплоемкость воздуха 0,24 кал. То же самое количество калорий надо отнять у 1 кг данного вещества, если хотим его температуру понизить на 1°Ц . Следовательно название, термин «теплоемкость» одинаково применяется при нагревании или охлаждении вещества с той разницей, что при нагревании вещество приобретает новое количество теплоты, а при охлаждении вещество отдает имеющуюся у него теплоту.

Вместо термина «теплоемкость» употребляют иногда термин «удельная теплота», по аналогии с термином «удельный вес», который обозначает, сколько килограммов весит 1 дм^3 данного вещества.

Зная теплоемкость тел, их веса (или их удельные веса) и их начальные и конечные температуры, можно легко определить количества теплоты, приобретенные телами или отданные, отнятые у них.

Пример 7. Возьмем пример из холодильной техники. В баке весом 1 т (1000 кг) имеется соляной раствор (рассол) в 8000 л удельного веса 1,15 при температуре 0° , теплоемкость рассола равна 0,83. Сколько калорий должна затратить холодильная машина, чтобы понизить температуру рассола до -6°Ц ? При этом не будет принимать в расчет потери от теплоизлучения бака. Мы видели выше, что теплоемкость железа равна 0,115 кал.

Решение. 1) Чтобы охладить бак на 6°Ц , потребуется $1000 (\text{кг}) \times 0,115 (\text{кал}) \times 6 (\text{град.}) = 690 \text{ кал.}$ 2) Чтобы охладить рассол на 6°Ц , требуется: $8000 (\text{л}) \times 1,15 \times 0,83 (\text{кал}) \times 6 (\text{град.}) = 45816 \text{ кал.}$

Всего будет затрачено:

$690 \text{ кал} + 45816 \text{ кал} = 46506 \text{ кал}$, или для круглого счета 46500 кал.

У газов следует различать теплоемкость при двух состояниях их. Если мы не меняем объема газа и нагреваем его, то у него будет одна теплоемкость. Давление газа, замкнутого герметически в определенном объеме, при подогреве его будет возрастать.

Если будем подогревать газ, не меняя его давления, то теплоемкость у него будет другая. Объем его при этом вследствие нагрева будет увеличиваться.

Так например теплоемкость (на 1 кг) аммиака—аммиак обозначают химической формулой NH_3 —при постоянном объеме будет 0,41 кал, а при постоянном давлении 0,56 кал. Теплоемкость воздуха при постоянном объеме будет 0,17 кал, а при постоянном давлении 0,24 кал (это число мы уже встретили выше). Теплоемкость углекислоты—химическая формула ее CO_2 —при постоянном объеме будет 0,16 кал, а при постоянном давлении 0,21 кал.

9. Температура и скрытая теплота плавления.

Когда мы говорили о градуировке термометра, мы указали, что лед тает при температуре 0°C , причем ртуть в трубочке термометра все время остается на нулевом показании. А между тем, чтобы лед таял, требовалось сообщение ему извне, например из воздуха, теплоты. Наоборот, чтобы заморозить воду, требуется отнять у нее теплоту. Пока вода, охлажденная сначала до 0°C , не замерзнет, ее нулевая температура останется неизменной. Это обуславливается тем, что при плавлении или затвердевании любого вещества, переходящего из жидкого состояния в твердое, или, наоборот, из твердого состояния в жидкое, происходит при плавлении поглощение определенного количества теплоты, а при затвердевании выделение такого же количества теплоты, совершенно определенного для каждого килограмма данного вещества. Эта теплота не обнаруживается термометром, показывающим при плавлении или затвердевании вещества все время одну и ту же температуру.

Не обнаруживаемая термометром при плавлении теплота, требующаяся для расплавки, называется скрытой теплотой плавления или таяния. Таяние это не что иное, как плавление. Оно имеет место, когда температура окружающей среды выше температуры плавления данного вещества. Так как температура плавления (таяния) льда равна 0°C , то он будет таять на воздухе, когда температура воздуха выше 0° , выше температуры плавления льда. Скрытая теплота плавления тоже измеряется калориями. То количество калорий, которое требуется, чтобы расплавить 1 кг вещества, когда оно доведено до свойственной ему температуры плавления, и будет численным выражением скрытой теплоты плавления (или затвердевания). Скрытая теплота плавления льда будет 80. Это означает, что 80 кал теплоты потребуется, чтобы растопить 1 кг льда, когда его температура доведена до 0° . Те же 80 кал нужно будет отнять у 1 кг воды, доведенной до температуры 0°C , чтобы заморозить ее. Скрытая теплота парафина, плавящегося при температуре $+50^\circ \text{C}$, будет 35 (т. е. 35 кал на 1 кг); скрытая теплота плавления олова, плавящегося при температуре $+231,8^\circ \text{C}$, будет 14 (14 кал).

Говоря о скрытой теплоте плавления льда, парафина, олова, мы указали температуру, при которой то или другое из названных веществ плавится.

Вот это определенная, свойственная каждому веществу особая температура, при которой оно плавится (или затвердевает), называется температурой плавления данного вещества. При расчетах затраченной теплоты на плавление или затвердевание надо обязательно знать температуру плавления данного вещества. При этом для расплавки вещества теплота расходуется источником извне на подогрев этого вещества. При затвердевании теплота расходуется самим веществом; оно выделяет из себя теплоту.

Когда известна температура плавления, скрытая теплота плавления, теплоемкость тела в твердом состоянии и теплоемкость его в жидком состоянии, то очень легко определить расход теплоты на переход тела из твердого состояния в жидкое и обратно.

При этом расчете определяют расход затраченной теплоты до плавления, самое плавление и на поддержание вещества в расплавленном виде при определенной температуре. При обратном процессе определяют расход теплоты до затвердевания, на затвердевание и на поддержание вещества в твердом состоянии при определенной температуре.

Пример 8. Возьмем для пояснения пример из холодильной техники. Какой мощности потребуется холодильная машина, т. е. какой холодопроизводительности в час, для производства 3 т льда в сутки (24 час.).

Пусть начальная температура воды будет 15°Ц , конечная температура льда— 5°Ц . Теплоемкость льда нам известна, она равна 0,5 кал; скрытая теплота плавления льда нам тоже известна, она равна 80 кал. Ежечасно будем производить:

$$3 \cdot 1\,000 \quad 24(\text{часа}) = 125 \text{ кг.}$$

На охлаждение 1 кг воды с $+15^{\circ}$ до 0°Ц потребуется 15 кал, или, как иногда выражаются, фригорий, т. е. «холодных» калорий. Лучше привыкнуть к правильному термину «калория», так как наука, как выше уже было указано, не делает разницы между холодом и теплом, а имеет дело с тепловой энергией, с теплотой. На превращение этого килограмма воды, охлажденной уже до 0°Ц , в лед с температурой 0°Ц потребуется 80 кал, а на охлаждение полученного килограмма льда с 0°Ц до -5°Ц потребуется:

$$0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ кал.}$$

всего теоретически потребуется:

$$15 + 80 + 2,5 = 97,5 \text{ кал.}$$

Для получения 125 кг льда потребуется:

$$97,5 \cdot 125 = 12\,187,5 \text{ кал.}$$

Таким образом мы получим что теоретически потребуется около 121 850 кал в 1 час.

По принятому способу изображения полученный нами результат вычисления следует написать: $12\,150 \text{ кал/час}$. Слово «калория» в числителе и слово «час» в знаменателе означает, что данное число калорий относится к 1 часу.

Практически полученное нами здесь число калорий надо увеличить на 40—45% для учета потерь холода на лучеиспускание через стенки ледогенератора, благодаря чему происходит охлаждение окружающего воздуха; на оттаивание форм и пр. О ледогенераторе и формах для льда будем говорить в четвертой главе. Таким образом фактически потребуется холодильная машина производительностью:

$$12\,150 \cdot 1,4 \cong 17\,000 \text{ кал/час.}$$

10. Температура и скрытая теплота парообразования.

Вернемся опять к рассмотренному нами вначале термометру. Мы видели, что ртуть в трубке его, пока вода кипела, оставалась на одной высоте; уровень ртути стоял на высоте, показывавшей 100°Ц . Что происходило во время кипения воды? Парообразование—из кипящей воды выделялся пар. Теплота, которую мы сообщали подогреваемой кипящей воде, вся уходила на образование этого пара, на превращение воды в пар, вследствие чего ртуть в термометре не получала дальнейшего подогрева, стояла все время на одной и той же высоте. Теплота эта была как бы скрыта от термометра. Эту скрытую для термометра теплоту (по аналогии со скрытой теплотой плавления) называют скрытой теплотой парообразования.

Всякое жидкое вещество, для того чтобы оно превратилось в пар, требует, чтобы ему было сообщено извне определенное количество теплоты; другими словами, для испарения каждого килограмма жидкого вещества требуется определенное количество, особое, ему, одному свойственное, калорий теплоты, в процессе поглощения которого температура вещества не повышается, не обнаруживается термометром.

Число, показывающее сколько калорий требуется для превращения 1 кг вещества при температуре его кипения в пар той же температуры, и принято называть скрытой теплотой парообразования данного вещества, а температура кипения, или—что то же—парообразования, называется температурой кипения или парообразования.

Температура кипения, а следовательно парообразования, меняется у каждого вещества в зависимости от давления, под которым парообразование происходит. По этой причине вода на высоких горах, где давление воздуха меньше, закипает, как известно, при более низкой температуре нежели 100° .

Так, температуры кипения или парообразования при обычном атмосферном давлении,—давлении, которое производит воздух на все тела земного шара,—и скрытая теплота парообразования будут: для воды 100°Ц и 539 кал , для алкоголя 78°Ц и 210 кал ; для ртути 357°Ц и 68 кал (вот почему ртутный термометр, как

мы видели выше, не может быть изготовлен для температур выше 350°C , так как ртуть при 357°C уже начинает кипеть и испаряться).

11. Ожижение или конденсация, и испарение.

Когда пар какого-либо вещества обращается в жидкость, то говорят, что пар этой жидкости ожижается, конденсируется. Ожижение, или конденсация—это обратный парообразованию процесс, сопровождающийся выделением скрытой теплоты, которая требовалась при парообразовании, причем температура конденсации при этом же давлении будет та же, что и температура парообразования, т. е. температура парообразования и температура конденсации при одном и том же давлении совпадают, одинаковы.

При кипении жидкости процесс парообразования протекает быстро и бурно; но выделение пара из жидкости бывает и медленное; тогда говорят, что жидкость испаряется. Испарение происходит с поверхности жидкости, т. е. на поверхности жидкости происходит разделение и отделение от нее молекул. Это разделение и отделение происходит тем быстрее, чем выше температура соприкасающейся с поверхностью среды и чем больше сама поверхность. Испарение может происходить и при более низких температурах, чем температура кипения. При этом теплота испарения будет меняться в зависимости от температуры и давления, но количество теплоты, которое потребуется для испарения определенной жидкости при определенной температуре и давлении, будет все же постоянное. Так например теплота парообразования аммиачных паров при температуре -40°C и давлении $0,72\text{ кг на }1\text{ см}^2$ будет $332,7\text{ кал}$; при температуре -10°C и давлении $2,92\text{ кг на }1\text{ см}^2$ она будет равна $322,3\text{ кал}$.

Мы тут употребили выражение «теплота парообразования». При парообразовании часть теплоты расходуется на преодоление давления окружающей среды. Таким образом теплота парообразования представляет собой сумму собственно «скрытой теплоты» и теплоты, израсходованной на преодоление давления окружающей среды. При расчетах приходится иметь дело с полной теплотой, именно с теплотой парообразования или испарения. Так, теплота испарения воды при обычных температурах воздуха будет больше вышеуказанной скрытой теплоты в $539\text{ кал на }1\text{ кг}$, а именно около 610 кал .

Усвоение понятия о теплоте парообразования имеет большое значение для каждого, кто хочет знать холодильную технику, так как холодильная машина в своей основе есть такая машина, в которой жидкости, имеющие низкую температуру кипения, испаряются, поглощая теплоту для своего парообразования из окружающей среды. Но об этом подробно будет речь во второй главе.

12. Критическая температура и критическое давление

Для того чтобы пар или газ превратить в жидкость, нужно их подвергнуть давлению, сильно сжать, и понизить одновременно их температуру, отнявши у них теплоту U каждого газа су-

ществует определенная температура, называемая критической, и определенное давление, также называемое критическим, которые являются границами для их ожижения: увеличивая несколько давление выше критического и понижая несколько температуру ниже критической, удастся любой газ ожижить. Техника давно добилась ожижения таких газов, как кислород, воздух, который представляет собой смесь кислорода и азота, гелий и другие газы.

Для холодильных машин, в которых происходит непрерывный процесс испарения (и ожижения) какой-либо жидкости, приходится выбирать такие жидкости, критическая температура которых значительно выше обычных температур, с которыми имеем дело в холодильной технике. Жидкости, применяемые в холодильных машинах, называют хладагентами. В качестве хладагентов в холодильной технике применяют аммиак (NH_3), углекислоту (CO_2) и сернистую кислоту (SO_2); в скобках показаны химические формулы этих веществ.

У NH_3 критическая температура $132,9^\circ \text{Ц}$, а критическое давление $116,2 \text{ кг на } 1 \text{ см}^2$; у CO_2 соответственная температура и давление будут: $31,35^\circ \text{Ц}$ и $75,3 \text{ кг на } 1 \text{ см}^2$; у SO_2 156°Ц и $81,5 \text{ кг на } 1 \text{ см}^2$. Пары аммиака при давлении $7,7 \text{ ат}$ конденсируются уже при температуре $+15^\circ \text{Ц}$. При этой же температуре ожижаются пары углекислоты под давлением $51,6 \text{ ат}$, а пары сернистой кислоты под давлением $2,81 \text{ ат}$. Указанные давления и температуры конденсации суть примерно те давления и температуры конденсации, при которых работают компрессоры с указанными хладагентами.

13. Влажность.

Выделяющиеся при кипении пары влажны; они содержат мельчайшие частицы испаряющейся жидкости. И стоит например водяным парам, выделяющимся из кипящей воды, коснуться холодной поверхности, как они моментально оседают на эту поверхность в виде росы. Пары жидкостей, кипящих при низких температурах, а именно пары хладагентов, оседают в виде росы при своем соприкосновении с более теплыми поверхностями. Такое оседание прекратится, если пары перегреть, соответственно переохладить (последнее относится к парам хладагентов). Тогда пар получается, как говорят, сухой, в отличие от влажного. Если пар, заполняющий какое-либо пространство, находится во влажном состоянии, то говорят, что он насыщает пространство, что пар насыщенный. Если пар, находящийся в каком-либо пространстве, перегрет, то говорят, что он не насыщает пространства, что пар ненасыщенный. Состояние ненасыщенного пара устойчивое; неустойчивость, т. е. выделение из пара жидкости, наступает, когда меняется соответствующим образом его температура или давление или когда меняют его объем.

Так, известно, что в воздухе всегда находится некоторое количество водяных паров; при этом определенному давлению воздуха и определенной температуре соответствует определенное количество влаги, которое воздух может содержать в насыщенном виде. Например 1 м^3 воздуха при обычном атмосферном давлении может содержать при температуре $+20^\circ \text{Ц}$ $17,22 \text{ г}$ влаги;

тогда как при том же давлении, но при температуре -5°C в 1 м^3 воздуха может содержаться в насыщенном виде $3,37\text{ г}$ влаги (см. табл. 5 в справочнике, помещенном в конце книги). А то количество влаги, которое он содержит в ненасыщенном виде, называют относительной влажностью. Относительную влажность выражают обычно в процентах к тому количеству влаги, которое воздух может содержать при данной температуре и данном давлении в насыщенном виде.

Для измерения степени влажности воздуха имеются приборы, известные под названием гигрометров, психрометров и полиметров.

Описание психрометра и способ пользования им мы даем в главе четвертой (см. оглавление).

Слово «относительная» часто опускают: говорят просто: «влажность воздуха», но никоим образом нельзя, говоря о влажности воздуха, опустить указание на его температуру.

Если говорят например, что влажность воздуха при температуре в 20°C будет 70% , то это означает, что в воздухе содержится в ненасыщенном виде $0,70$ частей того количества влаги, сколько могло бы содержаться в нем при указанной температуре в насыщенном виде.

Уясним на примере, как в холодильном деле обращаются при расчетах с величинами теплоемкости, парообразования, относительной влажности. При этом будем пользоваться цифровыми данными, встречавшимися выше.

Вообще же при расчетах приходится в холодильном деле пользоваться справочниками.

В конце книги помещены некоторые справочного характера материалы в виде таблиц, к которым читателю можно рекомендовать обращаться при производстве расчетов.

Пример 9. Сколько потребуется калорий на охлаждение и осушение воздуха в холодильной камере длиной 10 , шириной 8 , высотой $3,5\text{ м}$, если желаем, чтобы температура воздуха в камере была -5°C , при двукратном обмене его в течение суток и влажности в 70% , когда температура наружного воздуха будет $+20^{\circ}\text{C}$, а влажность его 80% . При этом предполагаем, что стены, пол и потлок соответствующим образом изолированы.

Расчет можно вести следующим образом: кубатура камеры составит: $10 \times 8 \times 3,5 = 280\text{ м}^3$, т. е. мы имеем 280 м^3 воздуха.

Вес 1 м^3 воздуха при 0°C составляет $1,293\text{ кг}^1$, а теплоемкость 1 кг воздуха, как мы видели выше, $0,24\text{ кал}$, следовательно на однократное охлаждение воздуха в камере потребуется $0,24 \times 1,293 \times 280 \times 25 = 2322,24\text{ кал}$, где число 25 есть разность температур в камере и наружного воздуха.

Содержание влаги в 1 м^3 наружного воздуха при температуре $+20^{\circ}\text{C}$, как мы видели, будет $17,22\text{ г}$; если его

¹ См. таблицу 5 в справочнике настоящей книги.

относительная влажность составляет 80%, то в 1 м³ содержится влаги:

$$17,22 \cdot 0,80 = 13,776 \text{ г.}$$

При температуре воздуха в камере —5° и влажности в 70% в воздухе должно содержаться:

$$3,37 \cdot 0,70 = 2,359 \text{ г,}$$

откуда следует, что в виде росы должно быть выделено из наружного воздуха:

$$13,776 - 2,359 = 11,417 \text{ г.}$$

На парообразование, как мы видели, требуется 610 кал на 1 кг, т. е. на 1 г требуется 0,61 кал; следовательно на выделение 11,417 г, содержащихся в 1 м³, потребуется $0,61 \times 11,417$ кал; а так как у нас имеется 280 м³ воздуха, то надо еще величину $0,61 \times 11,417$ помножить на 280; получим:

$$0,61 \cdot 11,417 \cdot 280 = 1950,02 \text{ кал.}$$

Таким образом при однократном обмене воздуха всего потребуется:

$$2322,24 + 1950,02 = 4272,26 \text{ кал,}$$

а при двукратном обмене воздуха в сутки потребуется:
 $4272,26 \cdot 2 = 8544,52$ или круглым счетом около 8550 кал.

В главе пятой о расчетах холодильных установок мы приведем некоторые формулы (алгебраические выражения действий) для легкости запоминания действий при производстве расчетов.

14. Теплопроводность и теплопередача.

В самом начале мы говорили, что тепловая энергия или теплота передается от одного тела к другому как при прикосновении их друг к другу, так и на расстоянии через среду, в которой тела находятся. Передача теплоты, короче говоря теплопередача, происходит от более нагретого тела к менее нагретому, т. е. от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой. Среда, через которую происходит передача тепла, будет являться проводником теплоты. Каждое вещество в большей или меньшей степени может служить проводником теплоты, причем одни вещества имеют свойство хорошо проводить теплоту, другие же плохо проводят теплоту. Плохие проводники теплоты, как и плохие проводники электричества, называют изоляторами, и те материалы, которые применяются в холодильной технике для воспрепятствования передачи тепла, называются изоляционными материалами.

Свойство веществ (материалов, тел) проводить тепло называется теплопроводностью, а свойство тел отдавать тепло со своей поверхности называют лучеиспусканием, по аналогии с лучеиспусканием при световых явлениях.

То количество калорий, которое может пройти через 1 м^2 поверхности тела в 1 час при толщине его в 1 м и при разности температуры в 1°Ц по одну и другую сторону тела, называют коэффициентом теплопроводности.

А то количество калорий, которое тело при определенной толщине может передать в 1 час через 1 м^2 своей поверхности при разности температуры в 1°Ц по ту и другую сторону тела, называется коэффициентом теплопередачи.

Так например коэффициент теплопроводности мелкозернистой пробковой плиты будет $0,04 \text{ кал/час}$, а коэффициент теплопередачи массивной кирпичной стены толщиной в 0,6 м равняется $0,95 \text{ кал/час}$. Если взять массивную кирпичную стену в 0,3 м толщиной, то ее коэффициент теплопередачи будет равен $1,6 \text{ кал/час}$.

Чтобы уменьшить потери теплоты через стены холодильников, их отделывают изоляционными материалами, у которых коэффициент теплопроводности небольшой. К таким материалам относится пробка (пробковые плиты), шлак, опилки.

Как вы могли заметить по самому определению, коэффициент теплопроводности отличается от коэффициента теплопередачи, так как величина последнего зависит от теплопроводности, лучеиспускания и других условий.

Способность газов передавать тепло через стенки сосудов, например труб, через которые они протекают, принято называть теплоотдачей; теплоотдача тоже измеряется в калориях. Теплоотдача газов через стенки труб будет зависеть от свойства газов, их давления, температуры, скорости протекания через трубы, диаметра труб, теплопроводности газа и других условий.

Практически нас будут интересовать те количества теплоты, которые в холодильных установках передаются через 1 м^2 конденсатора, рефрижератора, рассольных батарей, батарей непосредственного испарения, о чем будет речь в третьей главе.

При знании коэффициента теплопередачи через стенки того или другого вещества можно производить расчеты передаваемой теплоты, если известна поверхность стенки.

Пример 10. Подсчитаем для примера то количество теплоты, которое в сутки будет теряться через стенки холодильной камеры длиной 10, шириной 8, высотой 3,55 м, при температуре в камере -5°Ц и температуре наружного воздуха $+20^\circ \text{Ц}$, для которой мы выше подсчитывали (в примере 9) потребность холода на охлаждение и осушение воздуха. При этом допустим, что выбрали для стен такую изоляцию, чтобы теплопередача через стены была 0,4, а для потолка и пола мы выбрали изоляцию, чтобы потолок имел коэффициент теплопередачи 0,35, а пол 0,6.

Поверхность стен будет, если мы сложим общую длину и помножим на высоту $(10+8) \times 2 \times 3,5 = 126 \text{ м}^2$; поверхности пола и потолка будут одинаковы: $10 \times 8 = 80 \text{ м}^2$.

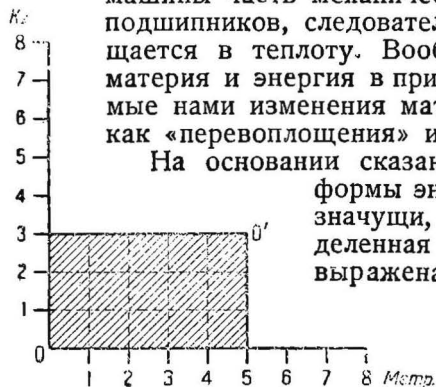
Теплота, которая будет уходить из камеры через стены и потолок, составит: $0,4 \times 126 + 0,35 \times 80 + 0,6 \times 80 = 126,4 \text{ кал}$ в 1 час, а сутки: $126,4 \times 24 = 3033,6 \text{ кал}$, или круглым счетом 3033 кал.

Мы видели раньше, что на охлаждение и на осушение воздуха при двукратном обмене его в камере потребовалось 8550 кал; если к этому прибавим вычисленную нами потерю теплоты через стены, то получим, что для поддержания температуры -5°C в камере потребуется в сутки расходовать:

$$8550 + 3033 = 11583 \text{ кал.}$$

15. Эквивалентность теплоты и механической работы.

Мы уже говорили вначале, что теплота есть один из видов, форм энергии, существующих в природе. Из повседневных наблюдений над работой машин можно легко прийти к тому заключению, что все виды энергии взаимно обратимы, т. е. что один вид энергии можно использовать для получения другого вида энергии или что один вид энергии превращается в другой вид энергии. Например силу падения воды водопада можно использовать для вращения турбины; механическую работу турбины можно использовать для вращения динамомашин в целях получения электрической энергии. При вращении вала какой-нибудь машины часть механической энергии тратится на подогрев подшипников, следовательно механическая работа превращается в теплоту. Вообще существует положение, что материя и энергия в природе не уничтожаются; наблюдаемые нами изменения материи и энергии суть не что иное, как «перевосложения» их.



Фиг. 1.

На основании сказанного можно заключить, что все формы энергии эквивалентны — равнозначущи, что между ними существует определенная зависимость, которая может быть выражена в числовых отношениях.

Эквивалентность между теплотой и работой была установлена около 90 лет тому назад. Было найдено, что на получение 1 кал теплоты нужно затратить 427 кгм механической работы.

Килограммометр есть единица для измерения работы. Она равна той работе, которую нужно затратить, чтобы поднять груз весом в 1 кг на высоту 1 м.

Графически работу можно изобразить следующим образом.

Если мы возьмем какой-нибудь масштаб и от какой-нибудь точки на бумаге (фиг. 1) отложим по вертикали вес в кг тела, а по горизонтали от той же точки отложим высоту, на которую мы подняли тело (фиг. 1), то площадь прямоугольника, у которого одна сторона изображает высоту в м, а другая число кг веса тела, будет по своей величине равна количеству килограммометров затраченной работы.

Так, например, на подъем тела весом 3 кг на высоту 5 м затрачено $3 \times 5 = 15$ кгм. На фиг. 1 заштрихованная площадь по

своей величине равняется $3 \times 5 = 15$ кв. единиц (15 квадратиков) выбранного нами масштаба для обозначения, с одной стороны, пройденного телом количества метров пути, с другой—для обозначения веса тела в кг.

Такое графическое изображение работы в виде площади, окруженной замкнутой линией (на фиг. 1 эта линия есть 0—3—0—5) находит свое применение при съемке индикаторных диаграмм машин, в том числе и компрессоров холодильных машин о чем речь будет во второй главе.

Обычно употребляемое определение мощности машин—или определение расхода двигательной силы для приведения в движение машин—в лошадиных силах есть только вкоренившееся в практике сравнение всякой работы с работой лошади. Между прочим надо заметить, что мощность живой лошади не соответствует «механической лошади». Механическая лошадиная сила равна 75 кгм в 1 секунду.

Так как в холодильной технике часто приходится перечислять работу, затрачиваемую на приведение в действие компрессора холодильной машины, в теплоту, то рассчитаем, чему равняется работа 1 л. с. в 1 час, если эту работу выразить в кал:

$$1 \text{ час} = 60 \cdot 60 = 3600 \text{ сек};$$

$$1 \text{ л. с.} = 75 \text{ кгм в 1 сек.}$$

Помножая $75 \times 3600 = 270\,000$ кгм и деля на вышеуказанное количество кгм, составляющих 1 кал, получим:
 $270\,000 : 427 = 632$ кал, что означает, что 1 л. с./час = 632 кал/час.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое теплота?
2. Какие изменения в состоянии тела могут произойти под влиянием теплоты?
3. Какие термометры вам известны и чем они отличаются друг от друга?
4. При какой температуре кипит вода?
5. При какой температуре вода замерзает?
6. Какая разница между шкалой абсолютных температур и шкалой по термометру Цельсия?
7. Что такое калория?
8. Как обозначается в калориях теплоемкость тел?
9. Изменяется ли температура жидкости во время кипения?
10. Что происходит при кипении жидкости?
11. Что происходит при плавлении тела?
12. Что означает число калорий, которое требуется, чтобы испарить 1 кг вещества?
13. Что означает число калорий, потребное для ожидения 1 кг паров вещества?
14. Какую зависимость между температурой кипения или парообразования и давлением вы знаете?
15. Какие хладагенты, применяемые в холодильной технике, вы знаете?
16. Устойчиво ли состояние пара, насыщающего пространство?
17. В каком состоянии находится пар, не насыщающий пространства?
18. Что означает относительная влажность?
19. Что означает количество калорий, которое тело при определенной толщине может передать в 1 час через 1 м² своей поверхности при разности температур в 1°Ц?

20. Сколько килограммометров работы составляет 1 *кал*?

21. Сколько *кдж* составляет 1 *л. с.* в 1 сек.?

22. Как графически можно себе представить работу?

ЗАДАЧИ

1. Сколько градусов по Цельсию содержится в 104° Ф?

2. Сколько градусов по Цельсию содержится в 14° Ф?

3. Сколько градусов по Цельсию равняется 268° абсолютной температуры?

4. Какова будет температура смеси 1000 *л* воды при 15° Ц и 2000 *л* воды при 30° Ц?

5. На охлаждение конденсатора холодильной машины требуется 2000 *л* воды в 1 час. Начальная ее температура 10° Ц, конечная температура 16° Ц. Сколько калорий отнимается у конденсатора водой в 1 час?

6. Сколько калорий расходуется холодильной машиной на охлаждение 3000 *л* молока при его охлаждении с 20 до 5° Ц, если известно, что удельный вес молока равен 1,03 *кг*, а теплоемкость молока 0,92 *кал*?

7. Сколько калорий потребуется, чтобы расплавить 5 *кг* парафина, имеющего температуру 15° Ц, если известно, что теплоемкость парафина равна 0,48 *кал*, температура плавления 50° Ц, а скрытая теплота плавления 35 *кал*?

8. Сколько калорий в час требуется на производство 2 *т* льда в 16 час. из воды с температурой 15° Ц, если конечная температура льда будет 5° Ц (пример 8)?

9. Сколько калорий требуется на выпарку 10 *кг* воды при температуре кипения воды, если известно, что скрытая теплота парообразования равна 539 *кал*?

10. Сколько калорий в сутки должна расходовать холодильная машина на потери через стены, пол и потолки камеры длиной 12 шириной 10 и высотой 4 *м*, если наружная температура равна 15° , температура в камере равна -5° а коэффициент теплопередачи при выбранной изоляции равен 0,4 *кал* (пример 10).

11. На приведение в действие компрессора холодильной машины расходуется 30 *л. с.* Сколько калорий в час это составляет? (См. отдел «Эквивалентность теплоты и механической работы».)

ГЛАВА ВТОРАЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИНАХ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ХЛАДАГЕНТОВ.

1. Разница между силовыми и холодильными машинами.

С приобретенными нами сведениями о теплоте перейдем теперь к рассмотрению и изучению холодильных машин, т. е. машин при помощи которых можно понизить температуру той или другой среды, например воздуха, жидкости, замораживать воду, превращая ее в лед, охлаждать или замораживать продукты и т. п.

Известно, что большинство машин, применяемых для производства механической работы, например паровые машины, двигатели внутреннего сгорания, водяные турбины, электродвигатели, превращают один вид энергии в другой вид ее. Они питаются какой-либо энергией, приводящей в движение их части, а движение этих частей используется для производства механической энергии. Динамомшины, поглощая для своего движения механическую энергию, превращают ее в электрическую энергию, могущую в свою очередь быть превращенной в другие виды энергии: на механическую работу, освещение, отопление. Получая энергию извне, все названные машины расходуют ее частично на

себя, например на преодоление сопротивления трущихся друг о друга частей машины, но большую часть энергии они тут же возвращают в переработанном виде. Они как бы пропускают через себя полученную ими энергию и за большим или меньшим вычетом ее возвращают в новом виде. Например, если водная турбина использует силу падения воды, то она за известным вычетом отдает примерно столько же сил, сколько она получила; паровая машина, используя силу упругости водяных паров, опять-таки за известным вычетом полученной энергии или работы, возвращает ее в другой форме.

Заметим, что отношение энергии, возвращаемой машиной к энергии, получаемой ею, или, другими словами, отношение работы, которую машина отдает к той работе, которая на нее тратится, называется коэффициентом полезного действия машины (к. п. д.). К. п. д. всегда составляет некоторое дробное число, характеризующее экономичность машины.

Не то мы видим в холодильных машинах. В употребительнейших системах этих машин: абсорбционной, называемой так потому, что машина работает по принципу поглощения, и компрессионной, работающей по принципу сжатия, разыгрывается процесс постоянного испарения летучей жидкости (холодильного агента) в испарителе и обратного ожижения ее в конденсаторе. Самый процесс ожижения и испарения холодильного агента происходит не за счет механической работы участвующих в машинах обеих систем специальных насосов, а за счет теплоты парообразования, свойственной данному хладагенту, каковая теплота то у него отнимается, поглощается, путем охлаждения трубчатой части конденсатора водой, то вновь возвращается к нему через испаритель из окружающей среды, подлежащей охлаждению. Механическая работа движущегося элемента холодильной машины, ее насоса, называемого в холодильных машинах компрессионной системы компрессором, в конечном итоге полученного холода не фигурирует, хотя участвует в общем тепловом балансе холодильной машины.

2. Холодильная машина абсорбционной системы.

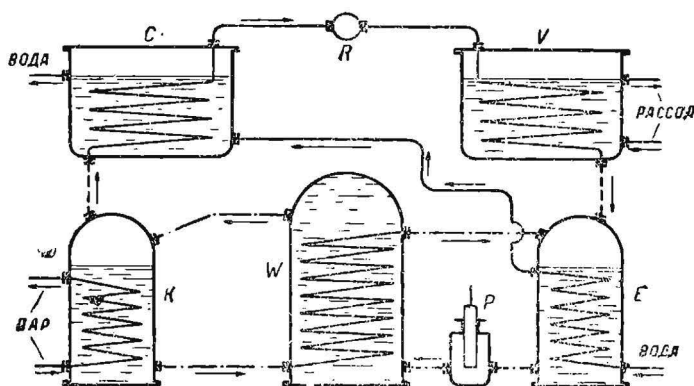
Всем известно свойство нашатырного спирта быстро испаряться. Испарение всякой жидкости происходит за счет теплоты в количествах, соответствующих теплоте парообразования при данной температуре и давлении. Нашатырный спирт представляет собой раствор в воде аммиака (NH_3). Испарение аммиака из нашатырного спирта происходит под влиянием обыкновенной атмосферной температуры, а под влиянием более усиленного подогрева выделение аммиака происходит очень интенсивно. С другой стороны, вода имеет свойство поглощать, растворять в себе аммиак. Эти свойства аммиака используются в абсорбционной холодильной машине, называемой так потому, что она основана на свойстве абсорбирования, поглощения, водой аммиака.

Абсорбционная холодильная машина, или холодильная машина абсорбционной системы, представленная схематически на фиг. 2, состоит в основном из следующих основных частей, а

именно: кипятильника, конденсатора, испарителя, регулятора, абсорбера, теплообменника и насоса.

1. Кипятильник K (фиг. 2) представляет собой куполообразный железный замкнутый резервуар, наполненный примерно на $\frac{2}{3}$ наштаырным спиртом удельного веса 0,88.

Как уже было указано в первой главе, удельный вес какого-либо вещества—это вес в кг 1 dm^3 этого вещества, что для жидкостей означает не что иное, как вес в кг 1 л жидкости. Наштаырный спирт подогревается в кипятильнике посредством водяного пара, циркулирующего через змеевик, помещенный внутри кипятильника. Пар подается извне к змеевику от парового котла; лучше всего использовать отработанный пар паровой установки, если имеется таковая; этим достигается экономия.



Фиг. 2. Схема абсорбционной холодильной машины.

- пары аммиака,
- жидкий аммиак,
- · — · — · наштаырный спирт,
- ~~~~~ охлаждающая вода.

2. Конденсатор C (фиг. 2) состоит из трубчатого змеевика, соединенного с кипятильником K , помещенного в баке с проточной водой. Когда подогревают наштаырный спирт в кипятильнике, аммиак наштаыря испаряется и собирается в куполообразной части кипятильника. При некотором давлении, приобретенном собравшимися парами аммиака, последние устремляются в змеевик конденсатора. Здесь они под действием охлаждающей воды, находящейся в баке конденсатора, ожижаются, отдавая свою теплоту парообразования воде.

3. Испаритель V (фиг. 2) состоит аналогично конденсатору из трубчатой системы (змеевика), соединенной трубопроводом со змеевиком конденсатора. Змеевик испарителя помещается в баке с рассолом (раствором поваренной соли ($NaCl$) или раствором хлористого кальция ($CaCl_2$) или хлористой магнезии ($MgCl_2$).

4. Регулятор, или регулирующий вентиль R (фиг. 2), установленный в соединительном трубопроводе между конденсатором и испарителем, регулирует постепенную подачу охлажденного аммиака в змеевик испарителя. Ожиженный аммиак, поступающий в испаритель, отнимает теплоту у рассола, благодаря чему он испаряется, черпая у рассола утраченную им ранее при конденсации теплоту парообразования. Рассол при этом сильно охлаждается и может быть использован для охлаждения помещений, производства льда и других целей.

5. Абсорбер E (фиг. 2) состоит из замкнутого резервуара, внутри которого помещен змеевик. Резервуар абсорбера соединен трубопроводом со змеевиком испарителя, и холодные пары аммиака из испарителя поступают в названный резервуар, где они поглощаются находящимся в нем неконцентрированным раствором нашатырного спирта. Через змеевик абсорбера протекает вода, идущая в конденсатор; вода в змеевике абсорбера охлаждается благодаря пониженной температуре поступивших в него паров аммиака.

6. Теплообменник W (фиг. 2) тоже представляет собой бак со змеевиком внутри него. Змеевик этого бака соединен с одной стороны трубопроводом с резервуаром кипятильника, с другой — с баком абсорбера. Кроме того бак теплообменника соединен трубопроводом с резервуаром кипятильника. Во время нагревания в кипятильнике нашатырного спирта из последнего, как сказано выше, выделяются пары аммиака. Вследствие этого утратившая свой аммиак часть нашатырного спирта становится более тяжелой и опускается книзу. Благодаря образовавшемуся давлению в кипятильнике эта обедневшая часть нашатырного спирта проталкивается, поступает через змеевик теплообменника в бак абсорбера. В абсорбере она вновь обогащается, поглощая пары аммиака, поступившие из испарителя. Теплообменник имеет большое значение, так как он повышает к. п. д. машины.

7. Насос P (фиг. 2), соединенный с одной стороны трубопроводом с баком абсорбера, с другой — с баком теплообменника, перекачивает через бак теплообменника обогащенный аммиаком нашатырный спирт из абсорбера в резервуар кипятильника, соединенный, как уже сказано выше, с баком теплообменника. В баке теплообменника подогретая в кипятильнике обедневшая часть нашатырного спирта, поступившая в змеевик теплообменника, отдает свою теплоту охлажденному нашатырному спирту, накаченному насосом. В теплообменнике таким образом происходит выравнивание температур нашатырного спирта, идущего из кипятильника в абсорбер и из абсорбера в кипятильник; но при этом не происходит смешения уже обогащенного аммиаком нашатырного спирта с обедневшей, утратившей свой аммиак частью нашатырного спирта. На фиг. 2 стрелками показаны направления течения аммиачных паров, охлажденного аммиака, нашатырного спирта, водяного пара для подогрева и охлаждающей воды.

Аппаратура — кипятильник, конденсатор, испаритель, абсорбер и теплообменник — разными заводами выполняется различно. Указанная основная аппаратура абсорбционной машины дополняется аппаратом для осушки аммиачных паров, т. е. для выде-

ления из них частиц воды, унесенных парами аммиака из кипяtilьника при своем испарении. Эти частицы воды, при отсутствии аппарата для их выделения, могут осесть внутри змеевика испарителя заморзнуть. Такое явление следует обязательно избежать, почему конструкторы абсорбционных машин, борясь с этим злом, ввели аппараты для осушки аммиачных паров.

Насос у абсорбционной машины бывает обыкновенно вертикального типа одинарного действия, т. е. всасывание у него происходит по одну сторону поршня, а нагнетание—по другую сторону.

Абсорбционные машины снабжаются соответствующей арматурой и измерительными приборами для контроля работы насоса и аппаратов. На фиг. 3 представлен снимок небольшой абсорбционной машины.

Абсорбционные холодильные установки являются выгодными, когда они комбинируются с производствами, имеющими много мятого, отработавшего пара, отходящих горячих газов, отходящей горячей воды. Они пока не нашли широкого распространения вследствие громоздкости аппаратуры абсорбционной холодильной машины и большого расхода воды на охлаждение. Она расходует в 2,5—3 раза больше воды, чем холодильная машина компрессионной системы. Производительность 1 м² поверхности конденсатора у абсорбционной машины исчисляется в 1 000 кал/час, а 1 м² испарителя в 1 200 кал/час.

В СССР редко встречаются холодильные установки с абсорбционными машинами, почему мы дальше на них останавливаться не будем, а перейдем к холодильным машинам компрессионной системы, завоевавшим прочное место в холодильной технике в СССР¹.

3. Холодильная машина компрессионной системы.

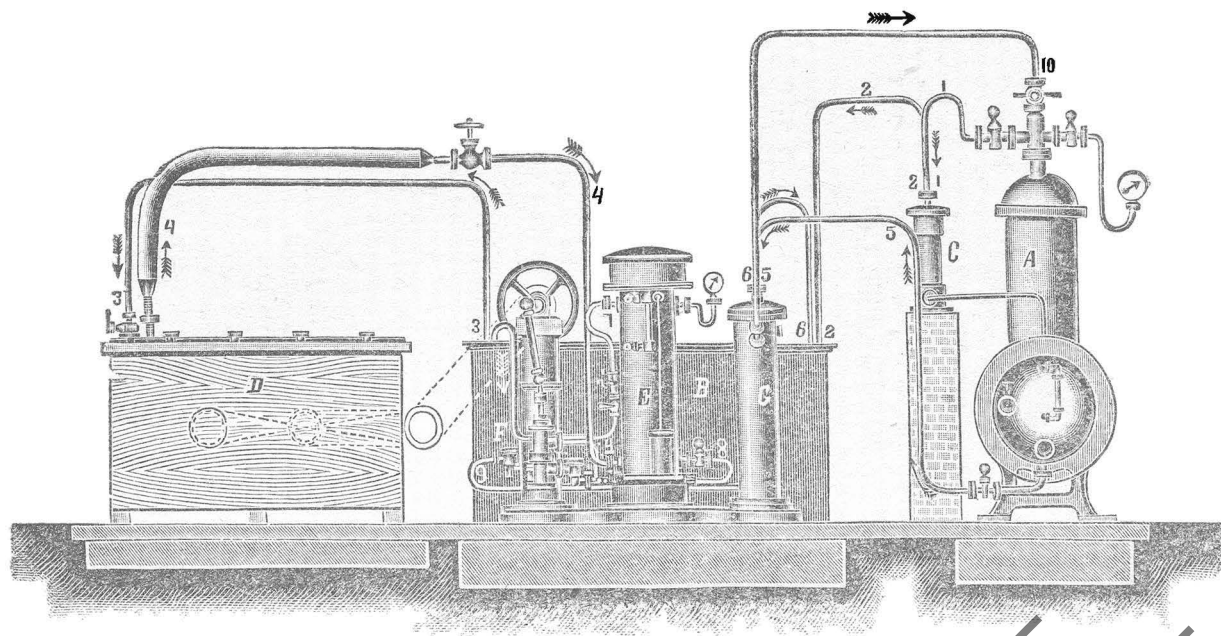
Компрессионная холодильная машина использует в качестве хладагентов холодные пары жидкостей, температура кипения которых ниже 0° Ц. Эти пары должны обладать свойством оживать под относительно небольшими давлениями, причем давления паров хладагентов и температуры их оживания должны быть в условиях работы холодильных машин далеки от критических точек: критической температуры и критического давления, при которых газообразное состояние вещества является вполне устойчивым.

В качестве хладагентов в компрессионных холодильных машинах применяются по преимуществу, о чем было сказано в первой главе, NH₃, CO₂ и SO₂, причем аммиак благодаря своим свойствам занимает преобладающее место.

Холодильная машина компрессионной системы изображена схематически на фиг. 4 и состоит в основном из следующих частей: компрессора, конденсатора, регулирующего вентиля и испарителя, называемого также рефрижератором.

1. Компрессор представляет собой специальный насос,

¹ В последние годы техника сделала известные успехи в деле построения абсорбционных холодильных машин и интерес к ним снова возрос.



A — Кипятильник.
 B — Конденсатор.
 C — Газоосушитель.

Фиг. 3.

D — Испаритель.
 E — Абсорбер.
 F — Насос для нашатырного спирта.

G — Теплообменник.

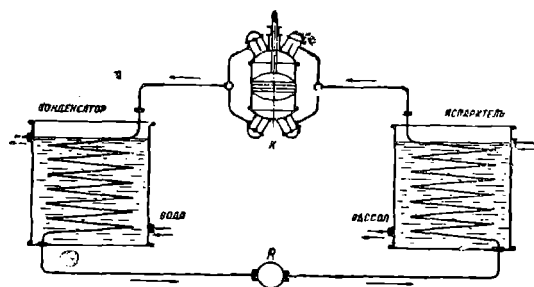
НЕ
УДУНТ
(ДІІТ)

в большинстве случаев двойного действия, который всасывает отработавшие в испарителе, т. е. охлажденные до известной температуры, пары хладагента, и нагнетает их в змеевик или трубчатую систему конденсатора. Змеевик конденсатора погружают в бак с проточной холодной водой, как это изображено в схеме (фиг. 4), или устанавливают на открытом воздухе. В последнем случае змеевик орошается водой извне. При нагнетании пары хладагента приобретают известную упругость и, раньше холодные, они благодаря сжатию становятся нагретыми до определенной температуры.

2. Конденсатор в простейшей своей конструкции представляет собой змеевик, помещенный в бак с холодной проточной водой. Нагнетенные компрессором в змеевик конденсатора пары хладагента, будучи сильно нагретыми, находятся в состоянии ненасыщения. Протекающая через бак конденсатора холодная вода отнимает у паров хладагента приобретенную ими вследствие сжатия теплоту. По этой причине пары, понижаясь в температуре, переходят из ненасыщенного состояния в насыщенное, и при до-

статочном охлаждении начинают выделять из себя влагу, т. е. ожижаются.

3. Испаритель в простейшей своей форме также представляет собой трубчатую систему (змеевик), погруженную в среду, которую желают охладить, например рассол, находящийся в баке. Трубчатая система испарителя соединена с трубчатой системой конденсатора посредством трубопровода, в котором устано-



Фиг. 4. Схема компрессионной холодильной машины.

K — компрессор, R — регулирующий вентиль.

влен регулирующий вентиль. При известной отрегулировке этого вентилia ожиженный хладагент постепенно подается в змеевик испарителя. Здесь он опять испаряется, черпая теплоту, необходимую для парообразования, у среды (например у рассола), в которую помещен змеевик испарителя, благодаря чему эта среда охлаждается. Из испарителя охлажденные пары опять всасываются компрессором и вновь нагнетаются в конденсатор. Таков цикл (крутооборот) работы холодильной машины компрессионной системы. Он значительно проще, чем цикл работы абсорбционной машины: из него выпали кипятыльник, абсорбер и теплообменник; остался только насос специальной конструкции, называемый компрессором, конденсатор, испаритель и регулирующий вентиль. Отпадение это сделалось возможным потому, что холодильные машины компрессионной системы работают с безводными хладагентами. У абсорбционной же машины такие аппараты, как кипятыльник, абсорбер и теплообменник, составляют приборы для фабрикации хладагента (NH_3) из нашатырного спирта и регенерации, восстановления последнего. Зато на ком-

прессор требуется во много раз больше силы для приведения его в действие, чем на насос, применяемый для перекачивания нашатырного спирта из абсорбера в кипятильник через теплообменник.

4. Зависимость холодопроизводительности компрессионной холодильной машины от температуры испарения и конденсации.

Три температуры хладагента имеют решающее значение для характеристики работы холодильной машины компрессионной системы.

Первая—это температура, при которой происходит ожижение паров хладагента в конденсаторе, т. е. температура конденсации.

Вторая—это температура хладагента в жидком виде в момент его поступления в регулирующий вентиль, или, как принято говорить, температура переохлаждения или температура перед регулирующим вентилем. Последняя бывает несколько ниже температуры конденсации. Состояние ожиженного хладагента при температуре конденсации крайне неустойчиво. Для придания устойчивости жидкий хладагент охлаждают на несколько градусов ниже температуры конденсации. Для этого между конденсатором и регулирующим вентилем часто устанавливают особый аппарат, называемый переохладителем, о котором будет речь в третьей главе.

Третья—это температура испарения, т. е. температура хладагента за регулирующим вентилем в момент наибольшего расширения паров хладагента в испарителе.

Эти три температуры определяют условия работы холодильной машины и холодопроизводительность компрессора при данных условиях. Объясним почему.

Возьмем например хладагент NH_3 . Представим в нижеследующей таблице существующую зависимость между объемом, давлением, теплотой парообразования или испарения при изменении температуры паров аммиака в насыщенном их состоянии от -50 до $+50^\circ \text{C}$ с промежутками в 10° (стр. 34 табл. I).

Из таблицы мы видим:

1. Теплота, требующаяся для превращения 1 кг хладагента в парообразное состояние (пятый столбец), повышается с понижением температуры.

Это значит, что для образования 1 кг аммиачных паров в змеевике испарителя холодильной машины потребуется отнять у окружающей змеевик испарителя среды (например у рассола) тем больше теплоты, чем ниже мы захотим держать температуру в испарителе, т. е. чем больше мы захотим охладить эту среду.

2. Объем, который должен будет занять в змеевике испарителя испарившийся 1 кг хладагента (второй столбец), будет тем больше, чем ниже будет температура испарения хладагента. Это означает, что поскольку внутренний объем змеевика испарителя данной холодильной машины будет постоянный (змеевик испарителя машины строится раз навсегда), то для достижения более низких температур придется испарять в рефрижераторы (испарители) меньшие

Таблица 1

Физические свойства насыщенных паров аммиака (NH_3)

Температура паров в °C	Объем, занимаемый 1 кг паров аммиака (удельный объем) в м ³	Теплосодержание 1 кг жидкого аммиака при указанных темпер. кал/кг	Скрытая теплота паро- образования на 1 кг пара в калориях.	Теплота испарения или теплота, потребная на образование из жид- кого аммиака при дан- ной темп. 1 кг паров в кал/кг	Теплота испарения, по- требная на образова- ние 1 м ³ паров аммиака кал/м ³	Давление паров амми- ака, производимое на 1 см ² поверхности в кг/см ²
1	2	3	4	5	6	7
— 50	2,617	— 53,83	284,14	337,97	129 ¹	0,42
— 40	1,550	— 43,24	288,10	331,34	214	0,73
— 30	0,963	— 32,58	291,91	324,49	337	1,22
— 20	0,624	— 21,83	295,46	317,24	508	1,94
— 10	0,418	— 10,97	298,67	309,62	741	2,97
0	0,290	0	301,52	301,59	1 039	4,38
+ 10	0,206	+ 11,11	303,95	292,34	1 421	6,27
+ 20	0,149	+ 22,38	305,93	283,55	1 902	8,74
+ 30	0,111	+ 33,84	307,43	273,59	2 464	11,89
+ 40	0,083	+ 45,52	308,37	262,85	3 167	15,85
+ 50	0,064	+ 57,40	308,69	251,29	3 987	20,73

количества хладагента. Пары хладагента в этом случае будут сильно разрежены: они будут в испарителе тем более разрежены, чем ниже будем держать в нем температуру. Отсюда следует, что компрессор холодильной машины будет засасывать из испарителя тем более разреженные пары хладагента, чем ниже будет температура испарения, при которой он должен работать. Другими словами, компрессор, имеющий определенный объем цилиндра и делающий определенное количество оборотов в минуту, будет при более низких температурах засасывать меньшее количество паров хладагента за каждый оборот и следовательно в 1 час.

5. Обозначение холодопроизводительности компрессора.

То обстоятельство, что при более низких температурах компрессор будет засасывать, перерабатывать меньше килограммов хладагента в 1 час, ведет вот к чему.

Поршень компрессора, представляющего собой, как выше было указано, поршневой специальный насос, при каждом обороте описывает определенный объем, и компрессор в 1 час в состоянии засосать лишь столько кубических метров, сколько позволяет его конструкция. Из шестого столбца таблицы мы видим, что количество калорий на каждый кубический метр паров хладагента

¹ Числа, проставленные в этом столбце, получают при разделении чисел пятого столбца на соответственные числа второго столбца. Это явствует из следующего. Если на испарение 1 кг аммиака при температуре 50°C, как показано в пятом столбце, требуется 337,97 кал, а объем, занимаемый испаренным килограммом аммиака, как это показано в столбце втором, составляет 2,617 м³, то теплота, приходящаяся на 1 м³ аммиака при этой температуре будет: 337,97 кал : 2,617 = 129 кал.

падает с понижением температуры этих паров. Отсюда следует, что при одном и том же количестве кубических метров паров хладагента, которое компрессор в состоянии засосать в 1 час при данной его конструкции, он произведет тем меньшее количество калорий, чем ниже температура испарения, при которой должна работать холодильная машина. Таким образом холодопроизводительность компрессора, выражающаяся в количестве калорий в 1 час (*кал/час*), падает с понижением температуры испарения, при которой будет работать холодильная машина в целом. И если бы существовали «теплые калории» и «холодные калории», то можно было бы сказать, что один и тот же компрессор может дать больше «теплых» калорий, нежели «холодных» калорий.

Рассмотрим теперь, что говорят данные третьего столбца таблицы. В этом столбце мы видим, что жидкий аммиак, как и всякая жидкость, например вода, при определенных температурах содержит в себе определенное количество теплоты. Мы в первой главе определили теплоемкость вещества как то количество калорий, которое надо сообщить 1 кг вещества или тела, чтобы подогреть его на 1° . При понижении температуры 1 кг вещества на 1° , вещество или тело должно выделить из себя обратно такое же количество теплоты. Если для хладагентов условимся исчислять тепло-содержание их жидкости при разных температурах, начиная с их нулевой температуры, то, как видим из третьего столбца таблицы, 1 кг жидкого аммиака при $+10^{\circ}$ будет содержать в себе 11,11 *кал* теплоты. При температуре -10° у 1 кг жидкого аммиака придется отнять 10,97 *кал*. Знак минус, поставленный в третьем столбце перед числом 10,97, означает как раз, что это количество калорий надо у аммиака отнять, чтобы он оставался в жидком виде при температуре -10° . Читая числа третьего столбца вверх и вниз от нулевой температуры, мы увидим, что условное тепло-содержание жидкого аммиака при 0° будет нуль, а в ту и другую сторону от нуля, числа, обозначающие тепло-содержание, будут почти равны при температурах -10 и $+10^{\circ}$, -20 и $+20^{\circ}$ и т. д. Это совершенно естественно: числа температур одинаковы; только в одном случае они обозначают холодное температурное состояние аммиака, в другом случае теплое температурное состояние аммиака.

Ожижая пары аммиака в конденсаторе при температуре $+10^{\circ}$, в каждом килограмме жидкого аммиака останется теплоты, не отнятой охлаждающей водой, 11,11 *кал*; ожижая эти же пары при температуре конденсации $+20^{\circ}$, в каждом килограмме жидкого аммиака, останется не отнятой охлаждающей водой теплоты 22,38 *кал*. Эта теплота должна быть отнята в испарителе до того, как жидкий, аммиак закипит, до того, как он начнет испаряться. Это теплота не пойдет в счет холодопроизводительности установки; не пойдет в счет холодопроизводительности компрессора. Холодо-производительность компрессора при одинаковой температуре испарения будет тем меньше, чем боль-

ше будет температура конденсации в конденсаторе. Температура же конденсатора зависит от температуры охлаждающей воды. Отсюда следует, что для лучшего эффекта работы компрессора надо, чтобы охлаждающая вода была по возможности наиболее холодной.

Итак, при обозначении холодопроизводительности компрессора, т. е. количества калорий, которое он в состоянии дать, надо всегда указать температуру испарения и температуру конденсации хладагента, при которых холодильная машина в целом будет работать. При этом часто еще указывают температуру хладагента перед регулирующим вентилем, т. е. температуру переохлаждения жидкого хладагента. Обычно принято обозначать холодопроизводительность компрессора при температуре испарения -10°C , температуре конденсации $+25^{\circ}\text{C}$ и температуре переохлаждения $+15^{\circ}\text{C}$. Калории компрессора считаются в этом случае нормальными калориями, в отличие от калорий при других температурных условиях конденсации и испарения.

6. Зависимость расхода двигательной силы на компрессор от температуры испарения и конденсации.

Возвращаясь к таблице I, посмотрим что нам подсказывают числа седьмого столбца. Из этого столбца мы видим, что упругость паров аммиака, их давление, производимое на каждый см^2 поверхности, возрастает при увеличении их температуры. Из этого следует, что когда компрессор работает при более высокой температуре конденсации, то поршень его должен производить более сильное нагнетание, а на это будет расходоваться больше двигательной силы.

Из изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Расход двигательной силы компрессором, т. е. двигательной силы, которая требуется для приведения в движение компрессора, будет при одинаковой температуре испарения тем больше, чем больше будет температура конденсации или чем выше будет температура охлаждающей воды (чем она будет теплее) при одинаковом ее расходовании—при одинаковом количестве ее, подаваемом на конденсатор.

2. Расход двигательной силы компрессором при одинаковой температуре конденсации будет тем меньше, чем ниже будет температура испарения в рефрижераторе.

Мы уже видели выше, что количество калорий, которое производит компрессор,—его холодопроизводительность—понижается с понижением температуры испарения. Теперь мы узнали, что расход силы у него также падает. Он, работая при более низких температурах испарения, меньше получает механической энергии, так как меньше нуждается в ней на сжатие более разреженных при сильном охлаждении паров хладагента.

7. Общая закономерность зависимости холодопроизводительности компрессионных машин всех употребительных систем от температуры испарения и конденсации хладагентов.

То, что мы сказали об аммиаке, как о хладагенте, верно и для других обычно применяемых хладагентов: углекислоты (CO_2) и сернистой кислоты (SO_2), как можно убедиться из таблицы II и III. Также верны те выводы, которые мы сделали в отношении аммиачного компрессора, и для компрессоров углекислотного и серноокислотного.

Так называются компрессоры в зависимости от того, для работы с каким хладагентом они предназначены. Их конструкция обуславливается давлениями, свойственными хладагентам, при принятых температурах конденсации.

Таблица II

Физические свойства насыщенных паров углекислоты (CO_2)

Температура паров в °C	Объем, занимаемый 1 кг паров углекислоты (удельный объем) в м³	Теплоемкость 1 кг жидкой углекислоты при указанных температу- рах кал/кг	Скрытая теплота паро- образования на 1 кг пара в калориях кал/кг	Теплота испарения или теплота, потребляемая на образование из жид- кой углекислоты при данной температур. 1 кг паров кал/кг	Теплота испарения, по- требная на образова- ние 1 м³ паров углекис- лоты кал/м³	Давление паров угле- кислоты, производимое на 1 см² поверхности кг/см²
1	2	3	4	5	6	7
— 50	0,056	— 26,79	55,09	81,88	1	6,96
— 40	0,038	— 21,51	55,65	77,16		10,28
— 30	0,027	— 16,35	55,97	72,32		14,60
— 20	0,019	— 11,18	56,02	67,20		20,09
— 10	0,014	— 5,78	55,76	61,54		26,94
0	0,010	0	55,03	55,03		35,39
+ 10	0,007	+ 6,19	53,23	47,65		45,69
+ 20	0,005	+ 13,72	49,92	36,20		58,15
+ 30 ²	0,003	+ 25,22	40,56	15,34		73,09

¹ Столбец этот оставляется незаполненным. Вычислите на основании сказанного в примечании к табл. I теплоту испарения на 1 м³ при указанных температурах и проставьте полученные результаты вычисления.

² Критическая температура углекислоты + 31,35° C; критическое давление 75,31 кг.

Физические свойства паров сернистой кислоты (SO_2).

Температура паров в °C	Объем, занимаемый 1 кг паров сернистой кислоты (удельн. объ. ем) в м ³	Теплосодержание 1 кг жидкой сернистой кис- лоты при указанных температурах кал/кг	Скрытая теплота паро- образования на 1 кг па- ра в калориях кал/кг	Теплота испарения или теплота, потребляемая на образование из жид- кой сернистой кислоты при данной темпера- туре 1 кг паров кал/кг	Теплота испарения, по- требная на образова- ние 1 кг паров серни- стой кислоты кал/м ³	Давление паров сер- нистой кислоты, про- изводимое на 1 см ² поверхн. в кг/см ²
1	2	3	4	5	6	7
— 40	1,350	— 13,0	86,2	93,20	1	0,22
— 30	0,822	— 9,05	88,72	97,77		0,49
— 20	0,513	— 6,15	89,79	95,92		0,65
— 10	0,330	— 3,14	90,46	93,60		1,04
0	0,223	0	91,32	90,82		1,58
+ 10	0,151	+ 3,25	90,81	87,56		2,38
+ 20	0,107	+ 6,62	90,47	83,85		3,35
+ 30	0,076	+ 10,11	89,78	79,67		4,67
+ 40	0,055	+ 13,71	88,74	75,03		6,35

8. Перерасчет мощности компрессора, заданной при одних температурах испарения и конденсации для работы с другими температурами испарения и конденсации.

Выше было указано, что холодопроизводительность компрессора меняется с изменением температуры испарения и конденсации. Пользуясь данными, приведенными в табл. I, II и III, можно произвести перерасчет мощности компрессора, заданной при одной температуре испарения и конденсации, которую для простоты расчета приравняем температуре перед регулирующим вентилем для условий работы его при других температурах испарения и конденсации.

При этом вспомним, о чем мы уже выше говорили, что теплосодержание жидкого хладагента не идет в расчет холодопроизводительности компрессора.

Покажем на примере, как сделать такой пересчет.

Возьмем случай с аммиачным компрессором холодопроизводительностью 100 000 кал/час при температуре испарения -10° и температуре конденсации $+10^\circ$. Требуется определить, сколько калорий дает компрессор при температуре испарения -20° и температуре конденсации $+20^\circ$.

Для этого обратимся к табл. I.

Из нее мы видим, что теплота испарения при -10° составляет 309,64 кал; теплосодержание жидкости (жидкого аммиака) $-10,97$ кал, а удельный объем 0,418.

¹ Столбец этот оставляется незаполненным. Вычислите на основании сказанного в примечании к табл. I теплоту испарения на 1 м³ при указанных температурах и проставьте полученные результаты вычисления.

Из этой же таблицы мы видим, что теплосодержание жидкости при $+10^\circ$ (температура конденсации) составляет 11,11 *кал.* Абсолютная сумма теплосодержания при переходе жидкого аммиака из конденсатора в испаритель составляет: $10,97 + 11,11 = 22,08$ *кал.* На это количество калорий уменьшается указанная теплота испарения; количество калорий на 1 кг аммиачных паров при температуре испарения -10° и температуре конденсации $+10^\circ$ таким образом составит:

$$309,64 - 22,08 = 287,56 \text{ кал.}$$

Так как удельный объем паров в испарителе при температуре -10° мы нашли равным 0,418, то теоретическая холодопроизводительность 1 м^3 этих паров составит: $287,56 : 0,418 = 687,2$ *кал.*

Следуя по указанному пути, найдем, что теоретическая холодопроизводительность 1 кг аммиачных паров при температуре испарения -20° и температуре конденсации $+20^\circ$ будет:

$$\text{теплосодержание жидкости при } -20^\circ = -21,83 \text{ кал.}$$

$$\text{» » » } +20^\circ = 22,38 \text{ »}$$

$$\text{абсолютная сумма} = 44,21 \text{ »}$$

$$\text{Теплота испарения при } -20^\circ = 317,29 \text{ »}$$

За вычетом теплосодержания жидкости 44,21 *кал* получим, что холодопроизводительность 1 кг паров аммиака при температуре испарения -20° и температуре конденсации $+20^\circ$ составит:

$$273,08 \text{ кал.}$$

Так как удельный объем паров при температуре $-20^\circ = 0,624$ м^3 , то теоретическая холодопроизводительность 1 м^3 паров аммиака при температуре испарения -20° и температуре конденсации $+20^\circ$ будет: $273,08 : 0,624 = 437,9$ *кал.*

Так как объем, описываемый поршнем компрессора в 1 час, при одном и том же числе оборотов остается один и тот же, то холодопроизводительность компрессора при новых условиях работы (температуре испарения -20° и температуре конденсации $+20^\circ$) изменится по отношению к его производительности — 100 000 *кал* — при прежних условиях работы (температуре испарения -10° и температуре конденсации $+10^\circ$) в отношении $437,9 : 687,2$, т. е. надо

$$100\,000 \cdot \frac{437,9}{687,2} \cong 63\,700 \text{ кал.}$$

Пользуясь этим способом расчета, можно составить себе раз навсегда таблицы теоретической холодопроизводительности для разных температур испарения и конденсации 1 м^3 паров того или другого хладагента на основании основных таблиц, содержащих данные о физических свойствах хладагентов. Таблицами¹

¹ В конце книги в справочнике помещены таблицы теоретической холодопроизводительности для NH_3 , CO_2 и SO_2 .

теоретической холодопроизводительности пользуются для перерасчетов холодопроизводительности компрессоров той или другой холодильной системы при различных температурах испарения и конденсации по следующему правилу:

Для получения искомой холодопроизводительности следует данную холодопроизводительность помножить на теоретическую холодопроизводительность 1 м^3 парев хладагента при новых условиях, и полученное произведение разделить на теоретическую холодопроизводительность 1 м^3 паров хладагента при старых условиях, которых соответствует данная холодопроизводительность.

9. Соотношение между размерами цилиндров аммиачных углекислотных и сернокислотных компрессоров.

Пользуясь табл. I, II и III физических свойств хладагентов: аммиака, углекислоты и сернистой кислоты, решим вопрос о том, каково должно быть соотношение объемов цилиндров аммиачных, углекислотных и сернокислотных компрессоров. Размеры цилиндров и давлений, на которые они должны быть рассчитаны, дают известное представление о размерах машин.

Для этого предположим, что холодопроизводительность компрессоров всех трех систем,—аммиачной, углекислотной и сернокислотной,—будет $100\,000 \text{ кал/час}$ при температуре испарения 10° Ц и температуре перед регулирующим вентилем $+10^\circ \text{ Ц}$.

Сделаем подсчеты в последовательном порядке: сначала для аммиачного компрессора, потом для углекислотного компрессора и наконец для сернокислотного.

Для аммиачного компрессора возьмем данные по табл. I. Из этой таблицы мы видим, что температуре испарения -10° Ц будет соответствовать давление паров хладагента в $2,96 \text{ кг на см}^2$. Это давление будет не что иное, как давление в испарителе холодильной машины в разбираемом нами примере. Температуре $+10^\circ \text{ Ц}$, являющейся в нашем примере температурой конденсации хладагента, соответствует давление $6,27 \text{ кг на 1 см}^2$. Это будет давление в конденсаторе.

Теплота испарения или парообразования при температуре -10° Ц по табл. I (пятый столбец) равна $309,64 \text{ кал}$. Жидкий аммиак имеет определенное теплосодержание, состоящее из теплосодержания его до нулевой температуры и ниже нулевой температуры. Его теплосодержание при $+10^\circ \text{ Ц}$ равно $11,11$, а при -10° Ц оно равно в абсолютной величине $10,97 \text{ кал}$; в сумме оно равно $11,11 + 10,97 = 22,08 \text{ кал}$. Эта теплота, т. е. эти $22,08 \text{ кал}$ при поступлении жидкого аммиака из конденсатора в испаритель должна быть в первую очередь отнята у хладагента до того, как образуются аммиачные пары в испарителе. Отсюда следует, что холодопроизводительность 1 кг аммиака при заданных температурах испарения и конденсации будет равна разности $309,64 - 22,08 = 287,56 \text{ кал}$.

Этот подсчет мы уже целиком раньше проделали, когда мы устанавливали теоретическую холодопроизводительность 1 м^3 ам-

миака при температуре испарения -10°Ц и температуре конденсации $+10^{\circ}\text{Ц}$.

Так как наша холодильная машина рассчитывается нами на производительность в 100 000 *кал* в 1 час, то количество аммиака, которое должно будет в ней циркулировать, составит:

$$10\,0000 \quad 287,56 \cong 347 \text{ кг.}$$

Теперь посмотрим, какой объем должен будет описывать в 1 час поршень цилиндра компрессора, чтобы в 1 час перекачать из испарителя в конденсатор вычисленные нами 347 *кг* аммиачных паров, имеющих температуру -10° в испарителе.

Из таблицы I (второй столбец) мы видим, что удельный объем аммиачных паров, имеющих указанную температуру -10°Ц , составляет 0,418 *м³*, т. е. 1 *кг* этих паров занимает 0,418 *м³*.

Отсюда следует, что объем, описываемый поршнем цилиндра компрессора, будет:

$$0,418 \cdot 347 \cong 143 \text{ м}^3.$$

Примерно то же число куб. метров мы бы получили, если бы взяли исчисленную нами выше величину теоретической холодопроизводительности 1 *м³* аммиака при температуре испарения -10°Ц и температуре перед регулирующим вентилем $+10^{\circ}\text{Ц}$ и разделили бы число заданной мощности на эту величину, т. е. если бы мы разделили:

$$100\,000 \quad 687,2 \cong 145 \text{ м}^3.$$

Мы проделали расчет первым путем для того, чтобы одновременно показать, какое количество аммиака должно циркулировать в холодильной аммиачной машине производительностью в 100 000 *кал/час* при заданных температурах испарения и конденсации.

В результате наших выборок из табл. I и подсчетов мы определили для аммиачной машины компрессионной системы производительностью 100 000 *кал/час*, работающей при температуре испарения -10° и температуре конденсации $+10^{\circ}\text{Ц}$, следующее:

- | | |
|--|--------------------|
| 1. Давление в испарителе | 2,83 <i>кг/см²</i> |
| 2. » » конденсаторе | 6,27 » |
| 3. Теплота испарения или парообразования | 309,64 <i>кал.</i> |
| 4. Теплосодержание жидкого аммиака (привнесенное хладагентом в испаритель и понижающее его холодопроизводительность) | 22,08 » |
| 5. Холодопроизводительность 1 <i>кг</i> хладагента | 287,56 » |
| 6. Циркулирующее в машине количество аммиака | 347 <i>кг.</i> |
| 7. Теоретическая холодопроизводительность 1 <i>м³</i> аммиачных паров | 687,2 <i>кал.</i> |
| 8. Объем, описываемый поршнем цилиндра аммиачного компрессора в 1 час для производительности 100 000 <i>кал/час</i> | 145 <i>м³</i> |

Предоставляя читателю в виде задачи самому сделать необходимые подсчеты и выборки из табл. II и III для углекислотной и сернокислотной машины в таком же порядке, как это составлено

для аммиачной машины, мы приведем здесь результаты, которые он получит, вместе с данными, приведенными выше, в одной общей табл. IV.

Таблица IV

Сравнительная характеристика работы аммиачной, углекислотной и серно-кислотной холодильных машин, производительностью каждая в 100 000 кал/час при температуре старения -10° и температуре перед регулирующим вентилем $+10^{\circ}$ температур. перед регулирующим вентилем принята здесь одинаковой с температурой конденсации

	Хладагенты		
	NO ₂	CO ₂	SO ₂
Давление в испарителе кг/см. ²	2,93	26,94	1,04
Давление в конденсаторе кг/см. ²	6,27	45,69	2,38
Теплота испарения в испарителе в калориях	309,64	61,54	93,60
Теплосодержание жидкого хладагента (привнесенное хладагентом в испаритель) в кал.	22,08	11,96	6,39
Холодопроизводительность 1 кг хладагента в кал.	287,56	49,58	87,21
Циркулирующее количество хладагента в кг	347	2 116	1 146
Теоретическая холодопроизводительность 1 м ³ хладагента в кал.	687,2	3 541,42	264,3
Объем, описываемый поршнем компрессора в 1 час для производительности 100 000 кал/час в м ³	145	28,5	378

Так как соотношение объемов цилиндров, которое мы задались определить, должно соответствовать соотношению между объемами, описываемыми их поршнями, то, как видно из таблицы IV, отношение между цилиндрами аммиачного, углекислотного и серно-кислотного компрессоров будет:

Углекислоты

Аммиак



Сернистая кислота

145 28,5 378.

Если примем объем цилиндра углекислотного компрессора за единицу, то соотношение будет следующее:

Фиг. 5. Соотношение между объемами углекислотного, аммиачного и серно-кислотного компрессора.

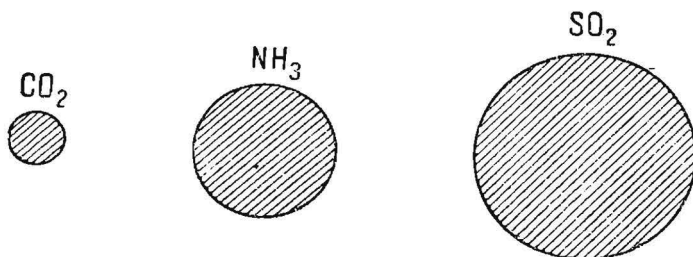
$\frac{145}{28,5}$ 1 $\frac{378}{28,5}$
или

5,1 1 13,5.

Это означает, что объем цилиндра аммиачной машины заданной производительности будет примерно в 5 раз больше объема цилиндра углекислотной машины, а объем цилиндра серно-кислотной машины в 13 раз больше объема цилиндра той же углекислотной машины.

Фиг. 5 показывает графически соотношение размеров компрессоров, а фиг. 6 принятое соотношение диаметров компрессоров аммиачного, углекислотного и серно-кислотного.

Отсюда вывод, что углекислотный компрессор при равных мощностях по своему объему, весу металла и занимаемому им



Фиг. 6. Соотношение между размерами сечений цилиндров углекислотного, аммиачного и серноокислотного компрессоров.

месту будет самый выгодный. Однако машиностроительными заводами не принято строить углекислотные компрессоры на производительность свыше 100 000 кал/час. Это объясняется, как мы видим из табл. IV, теми высокими давлениями, при которых должна работать холодильная машина углекислотной системы. В то время как цилиндр аммиачного компрессора стрится на средние давления в 8 *ата* (8 кг на 1 см²), углекислотный строится на давления в 70 *ата*, а серноокислотный на давления в 4 *ата*. Вследствие высоких давлений, с которыми должны работать цилиндры углекислотных машин, они в отличие от цилиндров аммиачных и серноокислотных машин, изготовляемых из чугуна, делаются стальными и выковываются часто из одного куска.

10. Способ вычисления размеров цилиндра компрессора холодильной машины.

Знание объема, который должен описать поршень цилиндра для соответствующей холодопроизводительности, дает возможность вычислить и самые размеры цилиндра компрессора.

Размеры цилиндра компрессора определяются величиной его диаметра, который принято обозначать буквой *D*; величиной хода поршня при движении его в одну сторону, обозначаемой буквой *H*, и числом оборотов компрессора в 1 мин., которое делает коренной вал и которое обозначают буквой *n*.

Объем, описываемый поршнем компрессора простого действия, т. е. компрессора, у которого всасывание и нагнетание происходит за 1 оборот только 1 раз, будет следующий:

Площадь поршня равна:

$$\frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{формула } ** \text{ 1})$$

Объем, описываемый поршнем за 1 раз, равен величине площади поршня на величину хода поршня:

$$\frac{\pi D^2 \cdot H}{4} \quad (\text{формула 2})$$

* π — обозначает отношение длины окружности к диаметру, равное 3,14. $D^2 = D \cdot D$ есть диаметр в квадрате, т. е. произведение числа, выражающего длину диаметра, на то же число. Геометрически это не что иное, как квадрат, у которого сторона равна D , т. е. диаметру.

** Формулой в математике называют буквенное выражение произведенных действий.

Объем, описываемый поршнем компрессора простого действия в 1 мин., будет равен:

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} H \cdot n. \quad (\text{формула 3})$$

Если компрессор будет двойного действия, то он при одном обороте произведет два раза засасывание и нагнетание, и объем, который обозначается буквой V , описанный поршнем за 1 час (60 мин.), будет, если пренебречь площадью, занимаемой штоком поршня:

$$V = 2\pi \frac{D^2}{4} \cdot H \cdot n \cdot 60^* \quad (\text{формула 4})$$

Надо помнить, что V получится в м^3 , если D и H будут даны в м ; если D и H будут даны, в см , то V получится в см^3 .

Задавшись определенным отношением между ходом поршня и диаметром цилиндра (обозначим это отношение буквой m), т. е. приравняв $H = m \cdot D$, можно формулу (4) заменить формулой:

$$V = 2\pi \frac{D^2}{4} \cdot m D \cdot n \cdot 60 = 2\pi \frac{D^3}{4}^{**} \cdot m \cdot n \cdot 60. \quad (\text{формула 5})$$

Взяв из таблицы 4 потребный для аммиачного компрессора, производительностью в 100 000 ккал/час объем, описываемый поршнем в 1 час (объем этот равен 145 м^3), и приняв отношение величины хода поршня к диаметру $m = 1,5$, получим по формуле (5) при 180 оборотах компрессора в минуту.

$$145 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 180 \cdot 60}{4} \cdot D^3,$$

откуда

$$D^3 = \frac{145 \cdot 4}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 180 \cdot 60} \cong 0,005.$$

Следовательно $D = \sqrt[3]{0,005} = 0,1 \quad \sqrt[3]{5} = 0,1 \quad 1,71 = 0,171 \text{ м,}$
или округло 170 мм .

$\sqrt[3]{5} = 1,71$ взяли из прилагаемой в справочнике настоящей книги табл. 1. В этой таблице даны числа от 1 до 100, их квадраты, кубы, квадратные корни и кубические корни из них.

Таким образом мы нашли, что диаметр цилиндра будет равен 170 мм .

Так как отношение хода поршня к диаметру мы приняли равным 1,5, то ход поршня будет:

$$170 \cdot 1,5 = 255 \text{ мм.}$$

* Если принять во внимание площадь, занимаемую штоком поршня, то формула примет такой вид:

$$V = \left(2 \cdot \frac{\pi D^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right) \cdot H \cdot n \cdot 60,$$

где d равно диаметру штока поршня.

** $D^3 = D \cdot D \cdot D$ есть диаметр в кубе. Геометрически это обозначает куб, у которого сторона равна D . Такое действие называется возведением в куб. Действие обратное называется извлечением кубического корня и обозначается знаком: $\sqrt[3]{}$.

Из формул (3) и (4) можно сделать один очень важный практический вывод, заключающийся в следующем.

11. Увеличение холодопроизводительности компрессора с увеличением числа его оборотов.

Объем, описываемый поршнем за 1 оборот компрессора данного диаметра и при данном ходе поршня (формула 2), есть величина постоянная, не меняющаяся.

Зато если у компрессора будем менять число оборотов, которое он делает в 1 мин., то объем, который опишет поршень в 1 час, т. е. величина V (формулы 3 и 4) будет меняться, а это значит, что холодопроизводительность компрессора также будет меняться.

При увеличении числа оборотов компрессора его холодопроизводительность увеличится во столько раз, во сколько раз мы увеличили число его оборотов.

Наоборот, при уменьшении числа оборотов компрессора его холодопроизводительность уменьшится во столько раз, во сколько мы уменьшили число его оборотов.

Раньше было указано, что при обозначении холодопроизводительности компрессора надо указать, при каких температурных условиях конденсации и испарения он будет работать. Теперь мы узнали, что для полной характеристики мощности компрессора надо еще указать число оборотов, при которых он будет работать. Два компрессора разной величины могут дать одну и ту же холодопроизводительность; при этом один компрессор, может быть, будет нагружен до отказа, а другой далеко не будет загружен.

Для того чтобы судить, насколько мощность компрессора используется, надо знать минимальное и максимальное количество оборотов, для которых он построен, которые конструкция его допускает. Горизонтальные компрессоры, т. е. компрессоры, у которых поршень движется в горизонтальном направлении, строятся обыкновенно для работы с меньшим числом оборотов, нежели вертикальные компрессоры, у которых поршень движется в вертикальном направлении.

Для того чтобы показать, как надо рассчитать производительность компрессора, заданную при одном числе оборотов, для случая изменения числа его оборотов, возьмем следующий пример.

Пример 11. Компрессор имеет нормальную производительность при 100 об/мин 50 000 кал/час. Какова будет его производительность при 180 об/мин. При этом предполагается, что температура испарения и конденсации и в том и другом случае одинаковы.

Чтобы это определить, надо число 50 000 разделить на число оборотов, соответствующее данной производительности, в данном случае на 100, и полученное частное помножить на заданное новое число оборотов, в данном случае на 180.

Получим:

$$\frac{50\,000 \cdot 180}{100} = 90\,000 \text{ кал/час.}$$

Пример 12. Возьмем обратный пример. Компрессор дает 50 000 кал/час при 100 об/мин. С каким числом оборотов он должен работать, чтобы давать 90 000 кал/час?

Надо данное число оборотов 100 разделить на соответствующую этому числу оборотов производительность, в данном случае на 50 000, и полученное частное помножить на число, выражающее новую производительность, в данном случае на 90 000 получим:

$$\frac{100 \cdot 90\,000}{50\,000} = 180 \text{ об/мин.}$$

12. Индикаторная диаграмма и индикаторная работа компрессора.

При расчете холодопроизводительности компрессора мы взяли в качестве исходных точек температуру испарения и температуру конденсации хладагента, в определенном количестве циркулирующего во всем агрегате холодильной машины. Агрегат холодильной машины есть совокупность компрессора, конденсатора и испарителя. Количество циркулирующего в холодильной машине хладагента и температуры, между которыми он то испаряется, то сжимается, являются тем фактором, который и определяет в конечном счете холодопроизводительность установки. Если мы говорили о холодопроизводительности компрессора, то только с точки зрения его способности перекачивать из испарителя в конденсатор определенное количество хладагента, переходящего из одного состояния в другое путем отдачи своей теплоты парообразования охлаждающей воде в конденсаторе и возмещения утраченной теплоты через испаритель.

Производя перекачивание хладагента, компрессор производит определенную работу, расходуемую им на всасывание и сжатие паров хладагента, получая сам механическую работу извне, от двигателя, который приводит его в движение.

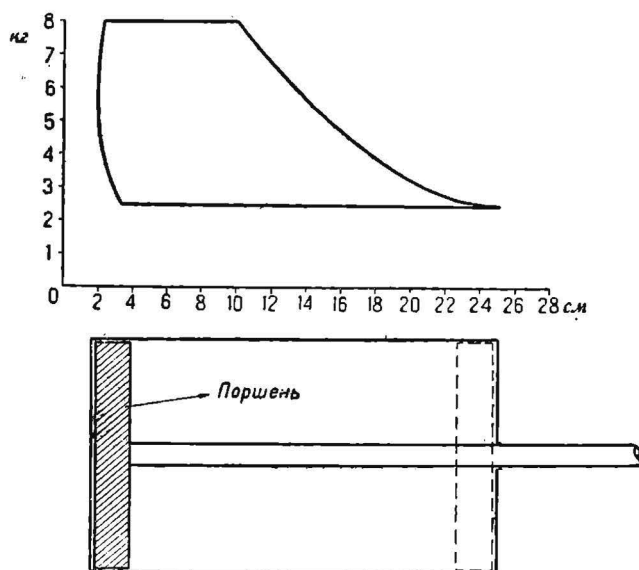
Процесс работы поршня компрессора во время его движения в цилиндре можно изобразить графически при помощи диаграммы (фиг. 7).

Когда поршень цилиндра находится в конце своего пути (фиг. 7) во время сжатия, давление в цилиндре доведено до своей максимальной величины, оно соответствует давлению паров в конденсаторе. Пусть оно равно например 8 кг/см². Отложим по вертикали в каком-либо избранном масштабе восемь делений (фиг. 7). Путь, проходимый поршнем, другими словами, величину хода поршня, будем откладывать по горизонтали в том же масштабе, причем каждое деление пусть соответствует 0,02 м = 2 см. Когда поршень в цилиндре начнет двигаться в обратную сторону, давление это быстро упадет до величины давления в испарителе из которого теперь начнется всасывание. Пусть давление в испарителе равно 2,5 кг на 1 см² (фиг. 7).

Если бы не вредное пространство, которое бывает в каждой поршневой машине, то давление с 8 кг упало бы моментально до 2,5 кг и это падение можно было бы изобразить вертикальной прямой, по величине равной 8—2,5 = 5,5 делений. В дей-

ствительности это падение происходит с некоторой постепенностью по мере обратного движения поршня до некоторой точки пути. Изменение давления вместо вертикальной линии изобразится кривой линией, проходящей возле вертикали (фиг. 7), называемой адиабатической.

Теперь, когда давление упало до давления в испарителе и всасывающий клапан открылся, оно больше не меняется до конца пути поршня—до передней крышки цилиндра. Это давление изображается на фиг. 7 нижней горизонтальной прямой. Поршень начнет теперь двигаться от передней крышки цилиндра к задней; при этом всасывающий клапан закроется. Так как поршень на этом своем пути будет сжимать пары хладагента, объем которых с увеличением давления будет возрастать по определенному свойствен-



Фиг. 7.

ному парам закону, то пока пары не достигнут давления в конденсаторе, давление будет возрастать с известной замедляющейся постепенностью. Это возрастание давления, в соответствии с указанным законом, изобразится второй кривой, называемой также адиабатической. По доведении давления в цилиндре до давления в конденсаторе поршень будет двигаться дальше уже при открытом нагнетательном клапане в цилиндре; давление хладагента под поршнем остается равным давлению в конденсаторе; т. е. в нашем масштабе 8 кг, и это давление изобразится верхней горизонтальной прямой.

Такая диаграмма называется индикаторной. Она показывает изменения давления в цилиндре компрессора во время движения поршня, т. е. показывает изменения давления паров хладагента с изменением их объема, занимаемого в цилиндре. С другой стороны, эта диаграмма может служить мерилем произведенной порш-

нем работы, так как она отображает путь, пройденный поршнем во время своего движения.

Величина площади, замкнутой внутри кривой диаграммы, поскольку мы каждое деление по вертикали приравняли 1 кг на 1 см², а каждое деление по горизонтали—0,02 м, будет представлять собой не что иное, как количество килограммометров работы, произведенной 1 см² поршня. Чтобы определить всю работу, произведенную поршнем, или как ее называют, индикаторную работу, надо будет помножить величину площади нашей диаграммы, построенной в указанном масштабе, на число кв. сантиметров площади поршня. Площадь диаграммы может быть измерена специальным прибором, называемым планиметром.

Диаграмма, начерченная здесь для пояснения, отличается от нормальной индикаторной диаграммы (диаграмма I на стр. 136). В ней отсутствует нижний выступ (рог), обозначающий работу поршня, связанную с открыванием всасывающего вентиля, и верхний рог, обозначающий работу по открыванию нагнетательного вентиля. Горизонтальная прерывающаяся линия (диаграммы на стр. 136 и 137) обозначает внешнее атмосферное давление.

Индикаторная диаграмма компрессора двойного действия будет состоять из двух диаграмм: для передней и задней половины цилиндра, причем диаграммы будут обращены друг к другу своими заостренными концами.

13. Способ расчета индикаторной работы компрессора.

По индикаторной диаграмме можно определить среднее давление, которое дает возможность вычислить индикаторную работу компрессора. Эта индикаторная работа компрессора меньше затраченной работы на приведение компрессора в действие, т. е. меньше работы, сообщенной валу компрессора двигателем. Отношение индикаторной работы к действительно затраченной работе, называется механическим к. п. д. компрессора. Он всегда составляет некоторую дробь, меньшую единицы.

Покажем, как можно вычислить индикаторную работу компрессора.

Для этого воспользуемся формулой (3) (стр. 44).

Если в ней диаметр будет выражен в см, т. е. $\frac{\pi D^2}{4}$ будет означать площадь поршня, а ход H оставим m , то умножив площадь поршня на среднее давление, производимое на поршень парами хладагента (которые обозначают обыкновенной буквой P со значком m внизу ее— P_m), мы получим число килограммометров в 1 мин. Если полученное число килограммометров разделить на 60, то получим число килограммометров в 1 сек., а по дальнейшем разделении на 75 (1 л. с.—75 кгм/сек), то получим число лошадиных сил, которые обозначим через букву N со значком i индигированных лошадиных сил, которые обозначим через букву N со значком i внизу (N_i);

откуда:

$$N_i = \frac{\pi D^2}{4} P_m \frac{H \cdot \pi}{60 \cdot 75} \quad (\text{формула 6})$$

Для компрессора двойного действия N_i будет в два раза больше; формула примет следующий вид:

$$N_i = 2 \cdot \frac{\pi D^3}{4} P_m \frac{H \cdot n}{60 \cdot 75} \quad (\text{формула 7})$$

Пример 13. Пусть диаметр D цилиндра компрессора двойного действия равен 200 мм; ход поршня—300 мм, число оборотов в минуту $n=22$; среднее давление $p_m=3,3$ кг/см². Индикаторное количество лошадиных сил:

$$N_i = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{20^3}{4} \cdot 3,3 \cdot \frac{0,3 \cdot 220}{60 \cdot 75} = 29,6 \text{ л. с.}$$

Если принять механический к. п. д. компрессора равным 0,9, то расход двигательной силы на приведение в действие компрессора, так называемый действительный или эффективный расход, который обозначают буквой N_e , составит $N_e = \frac{N_i}{0,9}$. В нашем примере $N_i=29,6$ л.с., а N_e будет равняться:

$$\frac{29,6}{0,9} \cong 33 \text{ л. с.}$$

Работа компрессора, употребленная на сжатие паров хладагента, как мы уже говорили, не отображается в конечном итоге холода, получаемого в испарителе. Но она, как и всякая энергия, не исчезла. Она превратилась в теплоту, отнятую охлаждающей водой в конденсаторе, почему она и не участвует в холодопроизводительности испарителя.

Отсюда следует, что теплота хладагента в конденсаторе больше теплоты хладагента в испарителе на величину работы компрессора, выраженную в калориях.

На основании закона термодинамики количество теплоты в конденсаторе будет во столько раз больше теплоты в испарителе, во сколько раз абсолютная температура конденсации больше абсолютной температуры испарения (об абсолютной температуре мы уже говорили в первой главе).

Если обозначим через букву Q количество теплоты в конденсаторе и абсолютную температуру конденсации через T , а количество теплоты в испарителе обозначим через Q_1 и абсолютную температуру испарения через T_1 , то указанный закон термодинамики можно выразить следующей формулой:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{T}{T_1}. \quad (\text{формула 8})$$

На основании указанного закона можно, зная производительность холодильной машины компрессионной системы, температуру испарения и температуру конденсации, определить количество теплоты хладагента в конденсаторе.

Так как количество теплоты в конденсаторе больше количества

теплоты в испарителе на величину работы компрессора, то, определив теплоту в конденсаторе, можно, вычтя из нее теплоту в испарителе, приблизительно определить, какому количеству теплоты соответствует работа компрессора.

Помножая полученную разность на величину механического эквивалента теплоты, а именно на число 427, получим (с весьма отдаленным приближением) затраченную компрессором работу в *кгм*, которые можно пересчитать в лошадиные силы.

Поясним сказанное на следующем примере.

Пример 14. Холодильная машина дает 100 000 *кал/час* при температуре испарения -10° и температуре конденсации $+20^{\circ}$. Сколько индикаторных сил расходует компрессор?

Абсолютная температура испарения будет $273 - 10^{\circ} = 263^{\circ}$.
Абсолютная температура конденсации будет: $273 + 20^{\circ} = 293^{\circ}$.

$$\frac{\text{Теплота в конденсаторе}}{\text{к теплоте в испарителе}} = \frac{293}{263}$$

откуда теплота в конденсаторе =

$$100\,000 \cdot \frac{293}{263} = 111\,400 \text{ кал/час.}$$

Теплота, доставленная в конденсатор работой компрессора, будет $111\,400 - 100\,000 = 11\,400 \text{ кал/час.}$

Умножая полученную разность на 427, получим:

$$11\,400 \cdot 427 = 4\,867\,800 \text{ кгм в 1 час.}$$

Так как $1 \text{ л. с. ч.} = 75 \cdot 3\,600 = 270\,000 \text{ кгм}$,
то число $4\,867\,800 : 270\,000 \cong 18 \text{ л. с.}$

14. Расчет поверхности конденсатора и испарителя.

Сказанное относительно перехода работы компрессора в теплоту следует принять во внимание при расчете поверхности конденсатора холодильной машины. При производстве этого расчета надо обязательно прибавить к величине желаемой холодопроизводительности количество теплоты, равное работе компрессора. При этом надо произвести действие в обратном порядке, нежели в предыдущем примере, или воспользоваться в личиной, исчисленной нами в главе первой, где мы нашли, что $1 \text{ л. с. ч.} = 632 \text{ кал.}$

Пример 15. Компрессор производительностью 100 000 *кал/час* расходует 21 *л. с.* Какова должна быть поверхность охлаждения конденсатора, если примем, что 1 м^2 поверхности конденсатора может отнять 1 000 *кал/час*? Умножая $632 \cdot 21 = 13\,272 \text{ кал}$ и прибавляя к 100 000 *кал*, получим $100\,000 + 13\,272 = 113\,272 \text{ кал}$. Разделим полученный результат на 1 000, получим, что поверхность требующегося конденсатора будет:

$$113\,272 : 1\,000 \cong 113 \text{ м}^2.$$

Расход двигательной силы холодильной машины компрессионной системы не ограничивается только расходом на движение компрессора. Есть целый ряд машин и приборов, участвующих в работе холодильной машины. К ним относятся мешалки для

циркуляции рассола, насосы для подачи охлаждающей воды и перекачивания рассола, вентиляторы при воздухоохладителях и др. Все эти машины расходуют силу, работа которой должна быть учтена при оценке холодопроизводительности и экономичности установки. Поверхность испарителя, как и поверхность конденсатора, рассчитывается на практике для упрощения дела на основании опытом добытых для соответствующих конструкций данных.

Пример 16. Для той же машины в $100\,000 \text{ кал/час}$, если примем теплоотдачу 1 м^2 испарителя равной $1\,200 \text{ кал/час}$, получим поверхность испарения рефрижератора:

$$\frac{100\,000}{1\,200} \cong 83 \text{ м}^2.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой процесс происходит в холодильной машине?
2. Какие системы холодильных машин существуют?
3. Какие машины и аппараты входят в состав холодильной машины абсорбционной системы?
4. Какой хладагент работает в абсорбционной холодильной машине и как он циркулирует в ней? (Отвечая на этот вопрос, начертите схему абсорбционной машины и линиями со стрелками, покажите движение нашатырного спирта, аммиака и охлаждающей воды.)
5. Какие машины и аппараты входят в состав холодильной машины компрессионной системы?
6. Какие роли в холодильной машине компрессионной системы играют компрессор, конденсатор, рефрижератор и регулирующий вентиль?
7. Что такое температура конденсации?
8. Что такое температура испарения?
9. Как меняется давление паров хладагентов с повышением их температуры?
10. Как меняется теплота парообразования хладагентов с повышением их температуры?
11. Как меняется объем паров хладагентов с повышением их температуры?
12. Как обозначается холодопроизводительность холодильной машины, в частности компрессора?
13. При каких температурах испарения, конденсации и перед регулирующим вентилем холодопроизводительность компрессора считается в СССР нормальной?
14. Как меняется холодопроизводительность компрессора при работе с более низкими температурами испарения?
15. Как меняется расход двигательной силы компрессором при работе с более низкими температурами испарения, если температура конденсации не изменяется?
16. Как меняется расход двигательной силы компрессором при повышении температуры конденсации, если температура испарения при этом не меняется (в случае повышения температуры охлаждающей воды в конденсаторе)?
17. Следует ли при расчете теоретической холодопроизводительности 1 кг или 1 м^3 паров хладагента включить теплосодержание жидкого хладагента или последнюю надо исключить из теплоты испарения?
18. Каково примерное соотношение между цилиндрами компрессоров аммиачных, углекислотных и сернокислотных?
19. При каких давлениях работают обычно компрессоры аммиачные, углекислотные и сернокислотные?
20. Какая разница между компрессорами простого (одинарного) и двойного действия?
21. Как изменится холодопроизводительность компрессора, если увеличить число его оборотов?

22. Чем графически можно изобразить процесс работы поршня компрессора?
23. Что представляет собой площадь индикаторной диаграммы?
24. Что представляет собой механический к. п. д. компрессора?
25. Как относятся между собой количества теплоты в конденсаторе и испарителе?
26. Чему соответствует разница между теплотой в конденсаторе и испарителе?
27. На какую величину надо увеличить теплоту в конденсаторе против величины заданной холодопроизводительности при расчете поверхности конденсатора?

ЗАДАЧИ

12. Какова будет теоретическая холодопроизводительность 1 м³ паров аммиака при температуре испарения —12° Ц и температуре перед регулирующим вентилем +25°, если известно, что при —12° Ц удельный объем пара равен 0,452, теплота испарения равна 311,21, теплосодержание жидкости—13,15, а при +25° теплосодержание жидкости равно +28,09?
13. Холодопроизводительность аммиачного компрессора равна 200 000 кал/час при температуре испарения —10° Ц и температуре перед регулирующим вентилем +10° Ц.
- Какова будет его холодопроизводительность при температуре испарения —15° Ц. и температуре перед регулирующим вентилем +20° Ц, если известно, что холодопроизводительность 1 м³ паров аммиака при температуре испарения —10° Ц и температуре перед регулирующим вентилем +10° Ц равна 687,2 кал, а при температуре —15° Ц и +20° Ц равна 540,1 кал? ¹
14. Пользуясь табл. III (глава вторая), определите теоретическую холодопроизводительность 1 м³ паров сернистой кислоты при температуре испарения —10° Ц и температуре конденсации +20° Ц?
15. Пользуясь ответом задачи 14, определите размеры цилиндра (диаметр и ход поршня) сернохлорного компрессора двойного действия на 50 000 кал/час, если принять отношение хода поршня к диаметру равным 1,5, а число оборотов 160 в 1 мин.
16. Нормальная производительность компрессора при 180 оборотах составляет 200 000 кал/час. Какова будет его производительность при 150 об/мин?
17. Пользуясь ответом задачи 15, вычислите индикаторную силу указанного в задаче 15 сернохлорного компрессора, если среднее давление на поршень примем равным 1,6 кг.
18. Индикаторная работа компрессора равна 85 л. с. Как велик действительный расход силы компрессора, если к. п. д. равен 0,85?
19. Производительность компрессора равна 350 000 кал/час при расходе двигательной силы 125 л. с. Какова должна быть величина поверхности конденсатора, если принять производительность конденсатора равной 1 000 кал с 1 м² в 1 час?
20. Какова должна быть величина поверхности испарителя холодильной машины в 350 000 кал/час, если принять производительность испарителя равной 1 100 кал с 1 м² в 1 час?

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

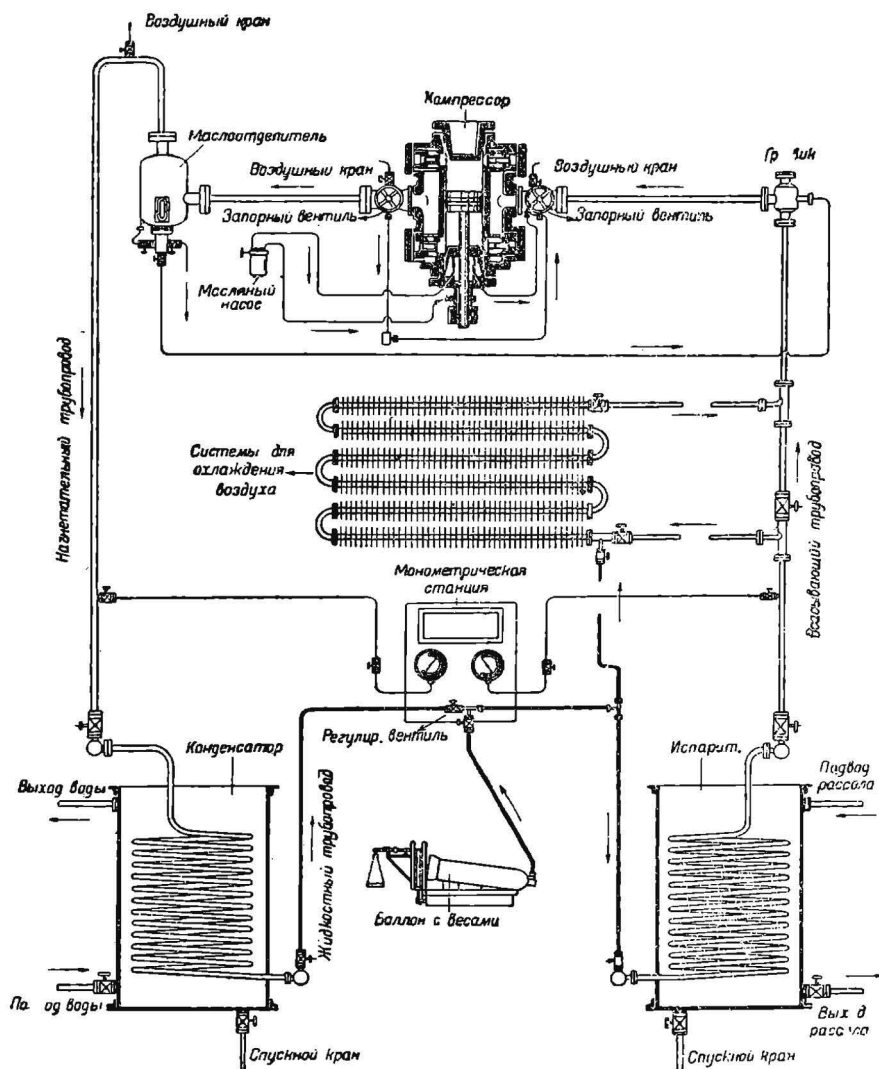
КОНСТРУКТИВНЫЕ ФОРМЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН КОМПРЕССИОННОЙ СИСТЕМЫ.

КОМПРЕССОР,
МАНОМЕТР, РЕГУЛИРУЮЩИЙ ВЕНТИЛЬ, СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ.

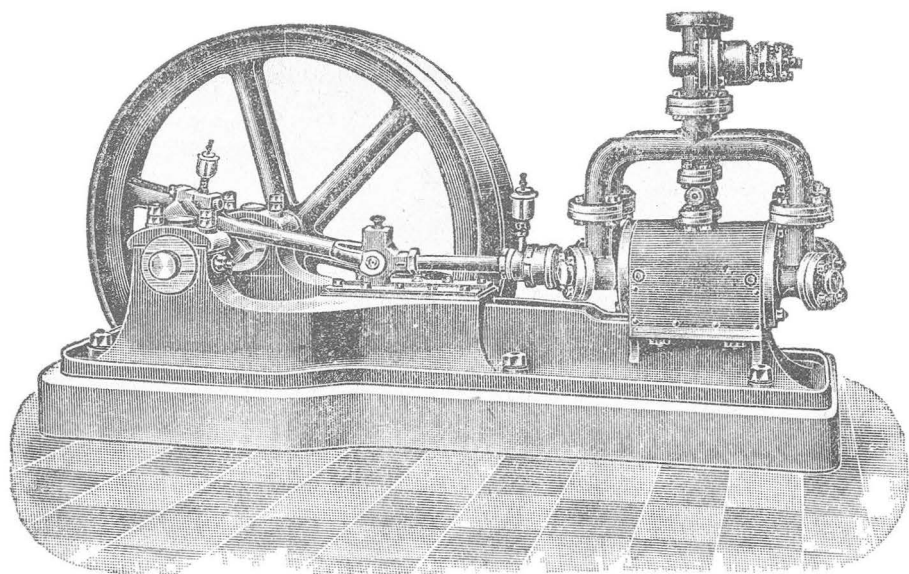
1. Общее описание компрессора.

Основной частью холодильной машины, представленной схематически на фиг. 8, является компрессор. Компрессор (фиг. 9) представляет собой всасывающий и нагнетательный насос простого (одинарного) или двойного действия.

¹ См. таблицу 2 справочника.



Фиг. 8. Схема холодильной машины компрессионной системы и ее основных частей.



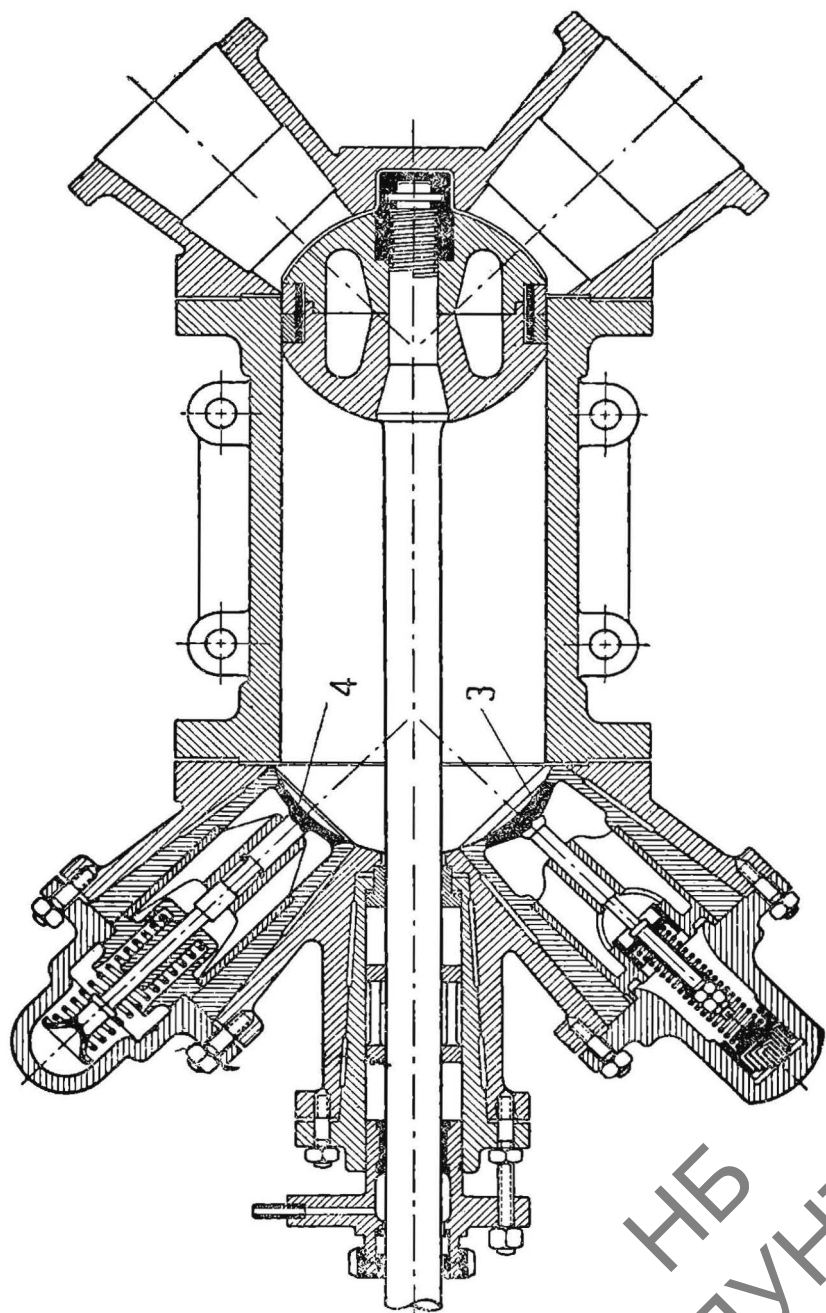
Фиг. 9. Горизонтальный компрессор с цилиндром, установленным на фундаментной плите.

Компрессор простого действия—это такой насос, у которого поршень работает только одной своей стороной. Компрессор двойного действия (фиг. 10) представляет собой насос, в котором поршень действует обеими своими сторонами. В компрессоре двойного действия поршень, двигаясь в одном направлении, производит нагнетание паров холодильного агента в той части цилиндра, в направлении которой происходит движение поршня. По другую сторону поршня в это же самое время происходит всасывание паров хладагента из испарителя. При обратном движении поршня засасывание происходит в той части цилиндра, где раньше производилось нагнетание, а нагнетание происходит в той части цилиндра, где раньше производилось всасывание. Из сказанного явствует, что обе стороны цилиндра, которые принято называть передней и задней сторонами его, должны быть снабжены органами для всасывания и нагнетания.

Передней частью цилиндра считается та, которая закрывается крышкой с сальником, через который проходит шток поршня.

Органы для всасывания, т. е. те органы, которые при движении поршня автоматически открывают или закрывают проход в цилиндр для паров хладагента из испарителя, называются всасывающими клапанами. Те же органы, которые автоматически открывают проход для хладагента из цилиндра в конденсатор или закрывают доступ хладагенту из конденсатора обратно в цилиндр компрессора, называются нагнетательными клапанами.

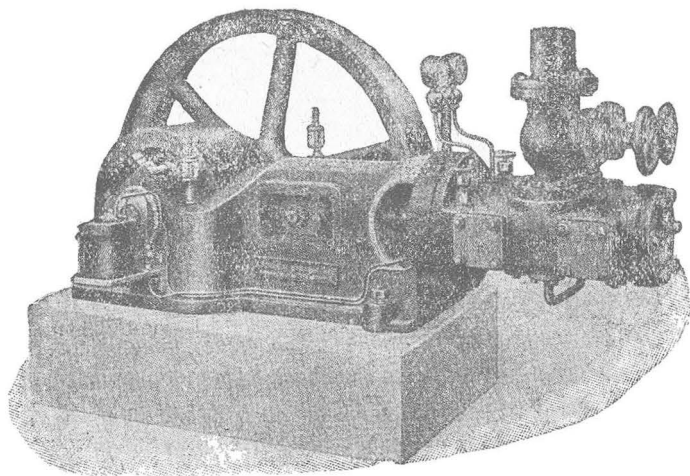
Так как трубопровод, ведущий от испарителя (точно так же, как и трубопровод, ведущий от конденсатора) к компрессору один, то всасывающие клапаны обеих сторон цилиндра соединяются одним общим каналом в виде трубы вне цилиндра компрессора



Фиг. 10. Продольный разрез цилиндра аммиачного компрессора.

- 3 — нагнетательный клапан
- 4 — всасывающий клапан

НБ
УДУНТ
(ДИТ)



Фиг. 11. Горизонтальный компрессор с цилиндром навесу.

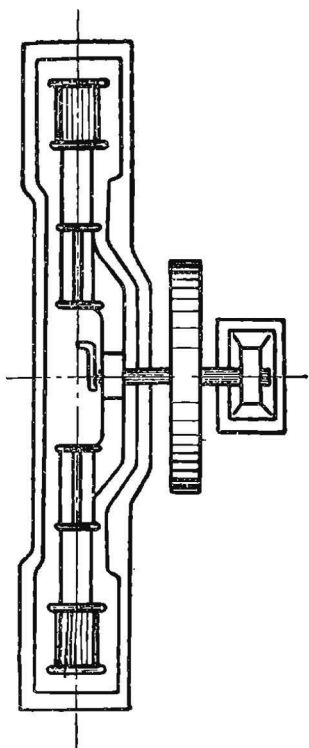
или каналом внутри стенки цилиндра. То же самое следует сказать относительно нагнетательных клапанов. Цилиндр, поршень и клапаны являются самыми ответственными частями компрессора.

Цилиндр присоединяется к станине компрессора. Станина горизонтального компрессора образует собой раму с направляющей для крейцкопфа; на этой раме устанавливается подшипник коренного вала. Второй подшипник коренного вала обычно бывает выносной. Коренной вал соединен с кривошипным механизмом, приводящим в движение поршень. Цилиндр горизонтального компрессора опирается посредством подставок на самую раму станины (фиг. 9) или присоединяется болтами к направляющей части крейцкопфа. У небольших компрессоров присоединенный таким образом цилиндр может остаться навесу (фиг. 11), а у крупных для его поддержки устанавливается нога (стойка), на которую опирается задняя часть цилиндра. Цилиндр у вертикальных компрессоров непосредственно соединен со станией (картером), на которую он опирается.

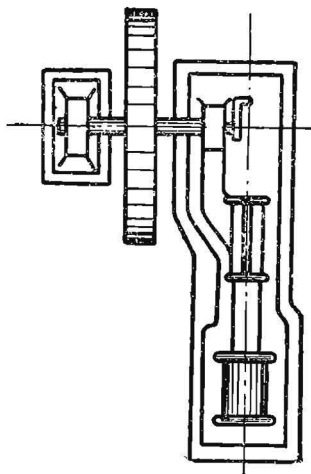
В зависимости от расположения маховика на коренном валу горизонтальные компрессоры бывают «левые» и «правые». Если стать лицом к задней крышке цилиндра и смотреть на нее, то при расположении маховика по левую руку смотрящего компрессор будет считаться левым (фиг. 12), а при расположении маховика по правую руку смотрящего он будет называться правым. Когда приходится устанавливать два одноцилиндровых компрессора рядом, то всегда нужно ставить для симметрии и для выигрыша места один правый и один левый компрессор. При заказе машиностроительному заводу,—в случае расширения,—добавочного компрессора необходимо указать, какой компрессор нужен: правый или левый.

2. Типы компрессоров.

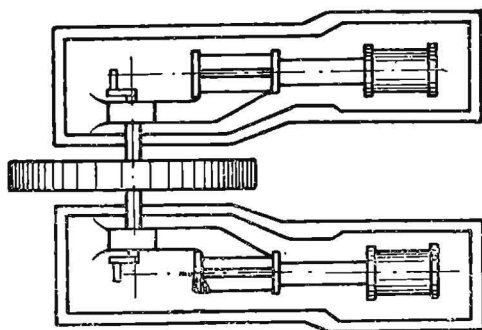
При двухцилиндровых горизонтальных компрессорах возможно двойное расположение цилиндров:



Фиг. 13. Схематическое изображение двойного компрессора в плане.



Фиг. 12. Схематическое изображение левого компрессора в плане.



Фиг. 14. Схематическое изображение двойного компрессора в плане.

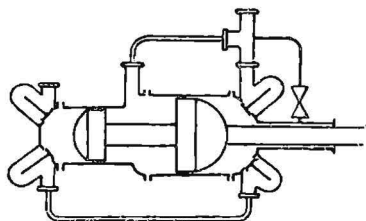
1. На одной общей станине с симметричным расположением цилиндров по отношению к оси общего коренного вала (цилиндры при этом расположены так, что их задние крышки смотрят в противоположные стороны). Такой компрессор называется двойным (фиг. 13).

2. На отдельных станинах (фиг. 14), причем цилиндры расположены по одну сторону от общего коренного вала с общим маховиком между ними, самые станины должны быть расположены симметрично. Последнее особенно важно, если рама так называемого байонетного типа. Такой компрессор называется двойным, или спаренным.

Рамы, по форме своей напоминающие приклад ружья, получили название байонетных. Рамы, по форме напоминающие вилку, называются вильчатыми.

Кроме указанных типов компрессоров бывают еще компрессоры двухступенчатого сжатия (фиг. 15). Это тоже компрессоры с двумя цилиндрами, из коих один большего размера называется цилиндром низкого давления, а второй меньшего размера называется цилиндром высокого давления. Первый цилиндр соединяется с испарителем, а второй—с конденсатором. Поршни обоих цилиндров имеют один общий шток. Хладагент сначала сжимается в цилиндре низкого давления и подвергается вторичному сжатию в цилиндре высокого давления. Из цилиндра высокого давления пары хладагента нагнетаются в промежуточный резервуар, из которого они засасываются цилиндром высокого давления. Такие компрессоры применяются для достижения низких температур до -50°C . Оба цилиндра отливаются вместе, а поршень делается в этом случае двухступенчатым.

Двухступенчатое сжатие может быть достигнуто в двух отдельных цилиндрах; компрессор может быть в этом случае построен по типу двоянного компрессора.



Фиг. 15. Схема компрессора двухступенчатого сжатия.

Вертикальные холодильные компрессоры (фиг. 34, стр. 71) строятся с одним, двумя, тремя и четырьмя цилиндрами. Поршни компрессоров с двумя и более цилиндрами приводятся в движение от общего коленчатого вала. Каждый цилиндр, как общее правило, работает в большинстве случаев как компрессор простого действия.

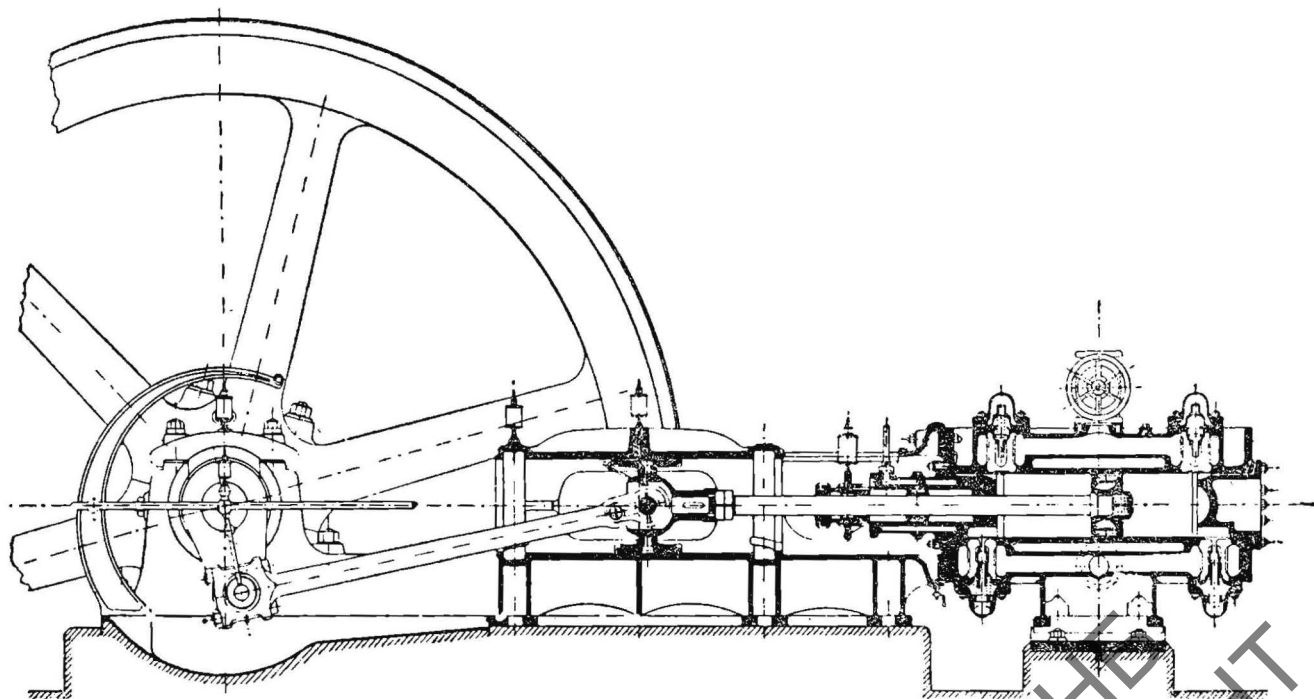
Горизонтальные компрессоры строятся на относительно небольшое число оборотов, особенно компрессоры с большой холодопроизводительностью, и называются поэтому тихоходными. Вертикальные компрессоры, наоборот, строятся с большим числом оборотов, и поэтому они считаются быстроходными.

3. Станина, цилиндр и поршень компрессора.

Станины у всех компрессоров делаются из чугуна. Цилиндры аммиачных и сернокислотных компрессоров, работающие, как мы уже говорили, с невысокими давлениями, тоже отливаются из чугуна, но чугун должен быть особо высокого качества, мелкозернистый и плотный; сама же отливка должна быть без каких-либо изъянов. Цилиндры должны быть испытаны на давление под водой и не должны пропускать воздуха. Последнее является весьма важным условием, так как пары хладагентов NH_3 , CO_2 и SO_2 ядовиты. Кроме того потери хладагентов, не считая общепринятых, отзывались бы на экономичности работы машины.

В цилиндрах иногда отливают полую область, называемую охлаждающей рубашкой, в которую подается вода для охлаждения цилиндра, нагревающегося при сжатии паров хладагентов. Но эта конструкция постепенно оставляется даже теми заводами, которые ее применяют. Охлаждение цилиндра достигается более обильной смазкой его.

Обработка цилиндра, поршня и клапанов должна быть выполнена с большой точностью во избежание вредных сопротивлений.



Фиг. 16. Продольный разрез в вертикальной плоскости аммиачного компрессора с охлаждающей рубашкой у цилиндра

Цилиндр компрессора закрывается двумя крышками: передней и задней. В несколько уже устаревших в настоящее время конструкциях, однако очень распространенных, клапаны расположены в крышках цилиндра, как это видно на фиг. 10. На этой фигуре, изображающей горизонтальный разрез цилиндра компрессора Линде, крышки с внутренней стороны имеют вогнутую сферическую поверхность. Поршень для облегчения его веса сделан из двух свинчатых частей с полостями внутри их. Между обеими половинками ставится промежуточная резиновая прокладка.

Наружные поверхности поршня, не соприкасающиеся со стенками цилиндра, должны в выпуклых своих частях соответствовать вогнутостям крышек цилиндра и быть хорошо обработаны и припасованы с тем, чтобы не оставалось между поршнем и крышками большого вредного пространства. Окончательно избежать вредное пространство ни в одной поршневой машине нельзя. Но усилия конструкторов направлены к тому, чтобы довести вредное пространство до минимума. Вредное пространство в компрессоре существует еще по той причине, что самое идеальное устройство клапанов не дает возможности избежать некоторого остатка хладагента между прикрывающей поверхностью клапанов и поршнем.

В большинстве современных конструкций клапаны устанавливаются в стенке цилиндра. Это дает возможность при осмотре клапанов не разбирать трубопровода, что имеет место, когда клапаны помещаются в крышках цилиндра. На фиг. 16 представлен схематический вертикальный разрез аммиачного компрессора с клапанами в цилиндре. Цилиндр, как можно усмотреть из фиг. 16, имеет охлаждательную рубашку.

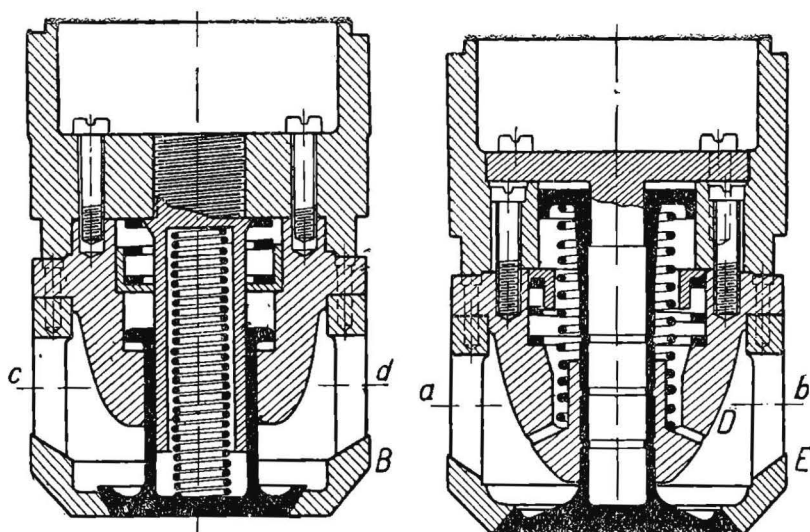
На цилиндрической поверхности поршня, прилегающей к внутренней поверхности цилиндра, сделаны желобки для уплотняющих колец. Кольца должны пружинить и плотно прилегать к поверхности цилиндра во время движения поршня. Кольца должны быть хорошо припасованы к цилиндру, но никоим образом не должны заедать поверхности его. При перемене колец надо запасные кольца пригнать путем пришабровки к цилиндру. Также приходится иногда припилить замок колец.

4. Всасывающие и нагнетательные клапаны.

Клапаны цилиндра — всасывающие и нагнетательные — это органы компрессора, которые должны работать, как указано выше, автоматически. Они должны открываться и закрываться на определенные промежутки времени, согласованные с движением поршня, и должны функционировать с большой точностью. Поэтому конструкторы уделили много внимания конструкции клапанов.

Клапаны по своей конструкции могут быть разделены на два основных типа: шпиндельные и пластинчатые.

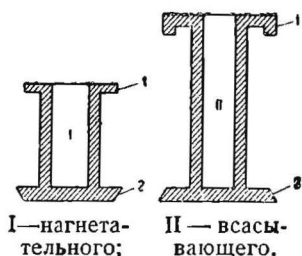
Шпиндельные клапаны (фиг. 17) имеют перекрывающую проход для хладагента тарелочку, срезанную у края окружности под конус. Конусная часть тарелочки прижимается к седлу клапана. Стержень, или шпиндель, тарелочки, составляющий с ней одно целое (фиг. 18), бывает полым или цельным и имеет на противополож-



Нагнетательный.

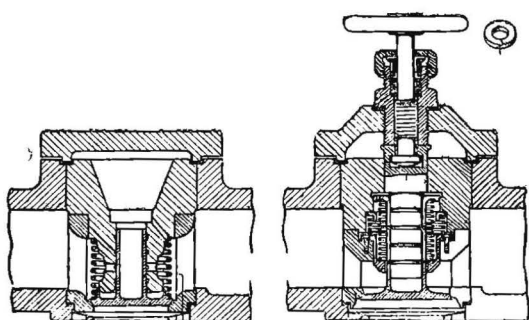
Всасывающий.

Фиг. 17. Шпиндельные клапаны



I — нагнетательного; II — всасывающего.

Фиг. 18. Схематическое изображение тарелочки с полым стержнем шпиндельного клапана.



Нагнетательный.

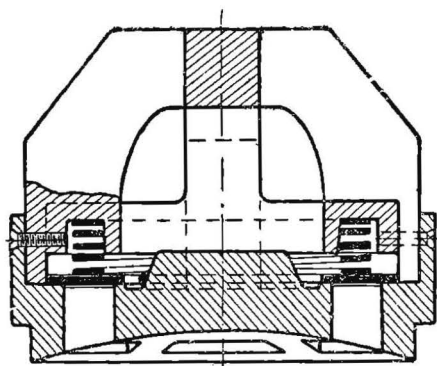
Всасывающий с установочным приспособлением.

Фиг. 19. Шпиндельные (конические) клапаны

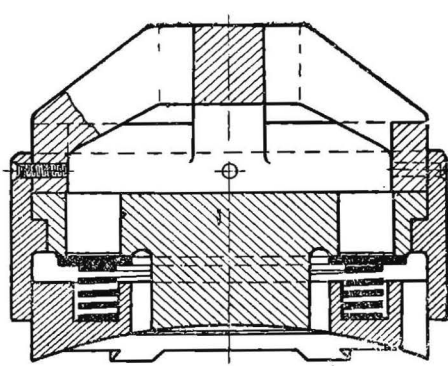
ном тарелочке конце (фиг. 17 и 18) упор 1. У нагнетательного клапана конусный срез сделан по нижнему краю тарелочки 2 (фиг. 18); у всасывающего клапана конусный срез сделан по верхнему краю тарелочки (фиг. 18). Таким образом седло у нагнетательного клапана приходится под низ тарелочки, а у всасывающего над тарелочкой.

Стержень движется в направляющих. Он вместе с тарелочкой находится под действием пружины, усилие которой должно быть направлено на прижатие тарелочки к седлу клапана.

Поэтому у нагнетательного клапана, с устройством, изображенным на фиг. 17, пружина помещена в корпусе направляющих и частично в полости самого стержня, упираясь нижним концом



Нагнетательный.



Всасывающий.

Фиг. 20. Пластинчатые клапаны.

в тарелочку, другим концом в верхнюю привинченную головку корпуса направляющих (фиг. 17).

У всасывающего вентиля пружина также помещается в корпусе направляющих, но с наружной стороны стержня, причем нижним концом она упирается в корпус направляющих, а верхним—в упор стержня (фиг. 17).

Другое устройство шпindelного клапана, всасывающего и нагнетательного, можно видеть на фиг. 10, на которой, как уже выше было указано, представлен горизонтальный разрез цилиндра аммиачного компрессора Линде. На этой фигуре цифрой 3 обозначен нагнетательный клапан, а цифрой 4—всасывающий клапан.

На фиг. 19 изображен так называемый конический клапан, тоже шпindelного типа, встречающийся в некоторых компрессорах, установленных у нас в Союзе.

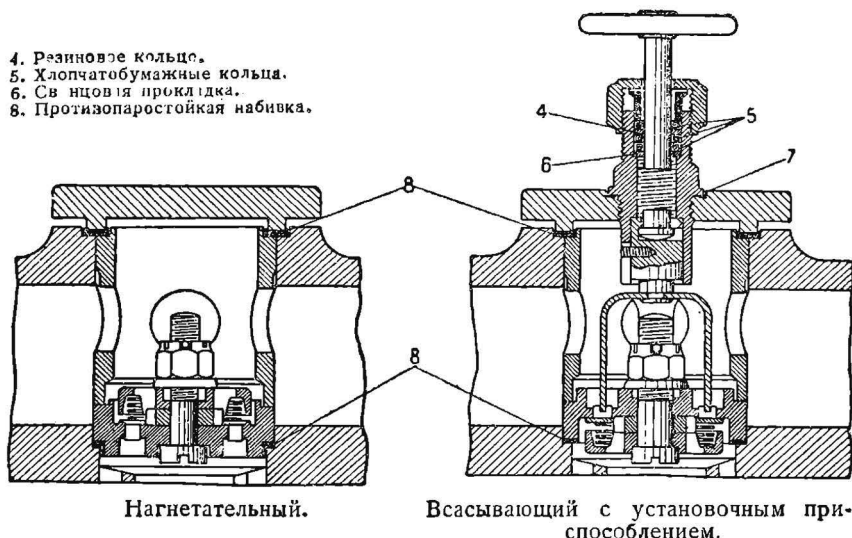
По этой фигуре можно видеть, как варьируют основную идею разные конструкторы.

Здесь стержень тарелки нагнетательного клапана двигается во внутренней полости корпуса, служащего направляющим для шпинделя. Пружина насажена вокруг этого корпуса, упираясь нижним концом в самую тарелку, а верхним—в соответствующее ложе корпуса.

Всасывающий клапан на фиг. 19 имеет установочное приспособление, заключающееся в следующем.

Стержень всасывающего клапана, как видно на фиг. 19, насажен на пята валика, который своей заточкой соприкасается с упором стержня. Нажимная пружина упирается нижним своим концом в привинченную к корпусу направляющую втулку. Верхним же концом пружина нажимает на упор стержня. Кроме указанной нажимной пружины имеется еще буферная пружина. В верхнюю часть валика входит, как это показано на фиг. 19, конец винта с округленной головкой. Путем поворачивания маховичка этого винта можно опустить или поднять на некоторую величину тарелку клапана.

4. Резиновое кольцо.
5. Хлопчатобумажные кольца.
6. Свнцовая прокладка.
8. Противопаростоякая набивка.



Фиг. 21. Пластинчатые клапаны.

Описанное установочное приспособление всасывающего вентиля имеет большое значение для случаев, когда желают уменьшить холодопроизводительность компрессора, о чем речь будет ниже.

Пластинчатые клапаны отличаются от описанных шпиндельных клапанов тем, что у них тарелка с конусом заменена кольцеобразной стальной пластинкой. Как показано на фиг. 20, у нагнетательного клапана пружина, помещенная в корпусе клапана, прижимает пластинку к окну клапана, сообщаемому с цилиндром компрессора.

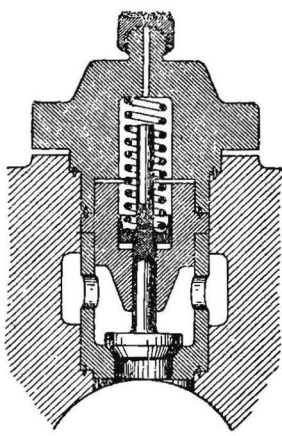
На фиг. 21 показано устройство пластинчатых клапанов, встречающихся в некоторых компрессорах. Всасывающий пластинчатый клапан имеет установочное приспособление, аналогичное описанному на фиг. 19.

На фиг. 22 представлено устройство шпиндельных клапанов углекислотной машины, а на фиг. 23—устройство пластинчатых клапанов сернокислотного компрессора.

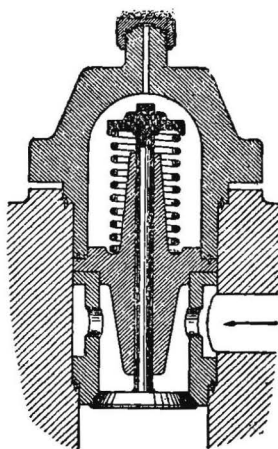
5. Сальник штока поршня.

В передней крышке цилиндра, через которую проходит шток поршня, имеется сальник, как у всякой поршневой машины. Но сальник у холодильного компрессора должен быть устроен так, чтобы позволить обеспечение посредством соответствующей набивки полной непроницаемости паров хладагентов, которые очень ядовиты и могут вести к отравлению персонала, наблюдающего за работой машины.

На фиг. 24, 25, 26, 27 и 28 показаны разные формы устройства сальника. Главную часть сальника, независимо от разнообразия форм конструкций, составляет основная коробка, называемая грундебуксой, которая составляет одно целое с передней крыш-

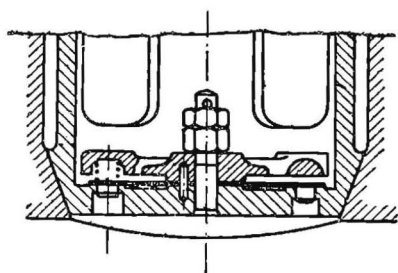


Нагнетательный.

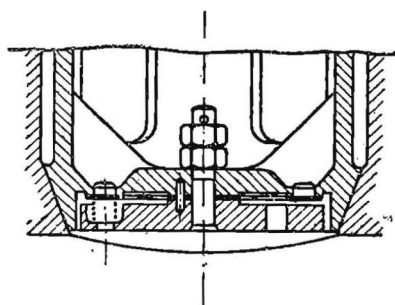


Всасывающий.

Фиг. 22. Шпиндельные клапаны углекислотного компрессора.

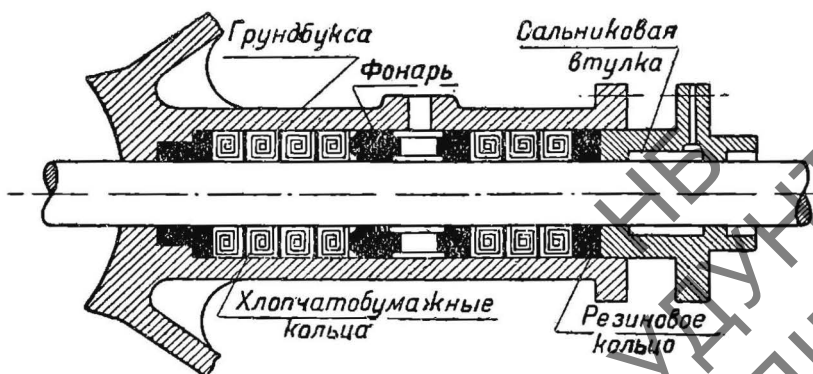


Нагнетательный.

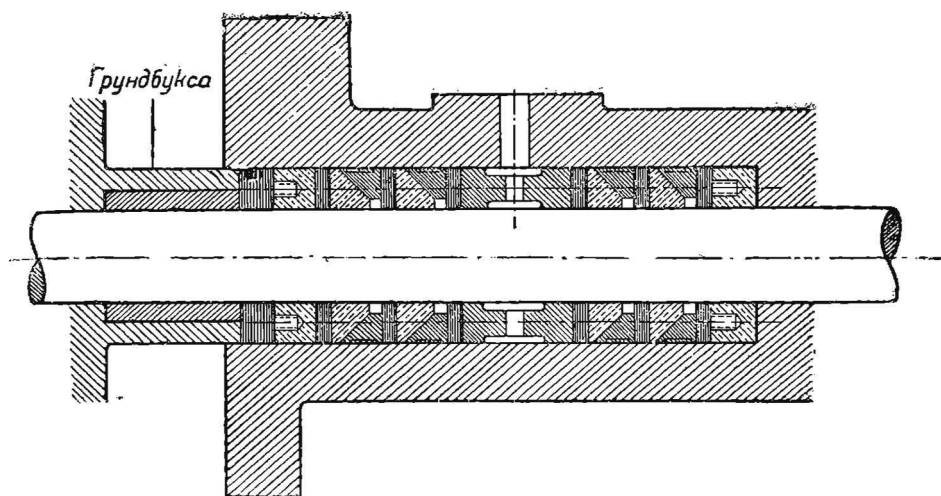


Всасывающий.

Фиг. 23. Пластинчатые клапаны сернокислотного компрессора.

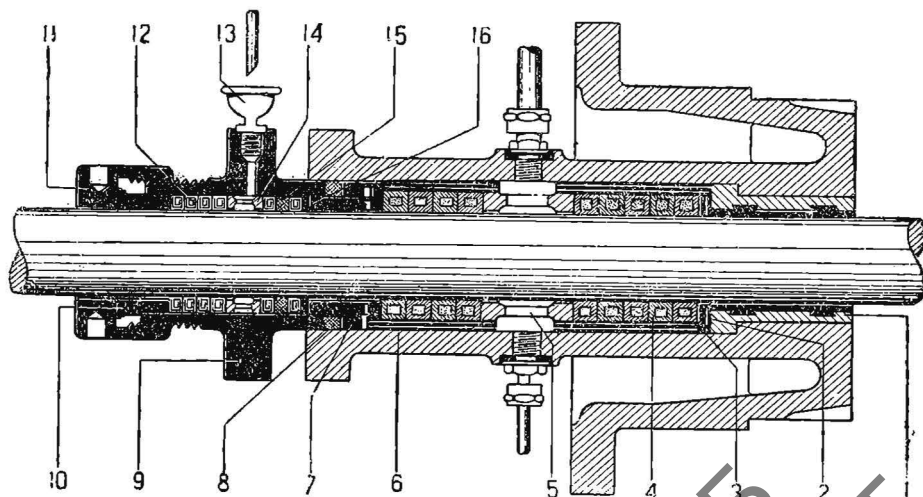


Фиг. 24.



Фиг. 25.

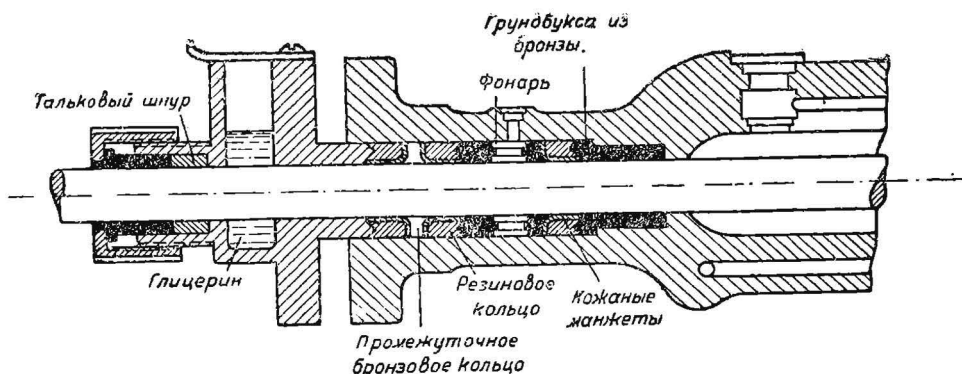
кой цилиндра компрессора. При простейшей конструкции, показанной на фиг. 24, набивка из хлопчатобумажных колец вкладывается в грундбуксу. Кольца прижимаются сальниковой нажим-



- 1—грундбукса;
- 2—свинцовое кольцо;
- 3—задняя половина сальниковой буксы;
- 4—набивные металлические полые кольца;
- 5—большой фонарь для подачи масла;
- 6—передняя часть сальниковой буксы;
- 7—свинцовое кольцо;
- 8—резиновое кольцо;

- 9—передняя сальниковая букса;
- 10—сальник;
- 11—нажимная муфта;
- 12—хлопчатобумажный шнур;
- 13—масленка;
- 14—малый фонарь;
- 15—резиновое кольцо;
- 16—свинцовое кольцо.

Фиг. 26.



Фиг. 27.

ной втулкой, которая соединяется с грундбуксой посредством болтов. Место болтов показано прерывающейся линией, как это принято при черчении. Подтягивая болты, можно прижать ослабевшую сработавшуюся набивку.

В грундбуксу закладывается так называемый фонарь, соединяемый со всасывающим трубопроводом. Благодаря этому сальник охлаждается.

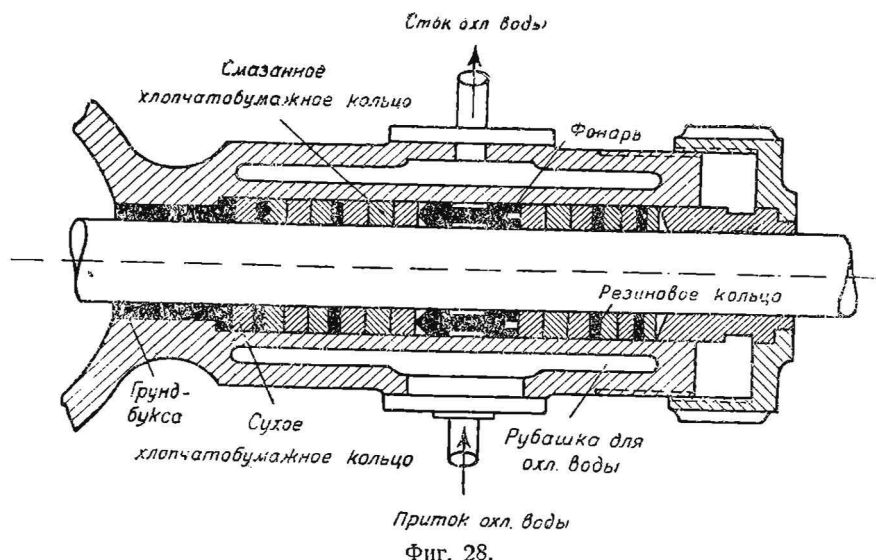
Вместо хлопчатобумажных колец применяют в настоящее время более совершенную металлическую набивку, перемежающуюся с резиновыми кольцами, как это видно на фиг. 25, где изображен сальник компрессора завода «Компрессор» в Москве.

Более сложное устройство сальника представлено на фиг. 26. Отличие этого устройства заключается в том, что нажимная втулка преобразована в дополнительную буксу, в которую тоже вкладывается набивка; получается так называемая передняя или преднабивочная сальниковая букса. Внутренний диаметр этой передней нажимной сальниковой буксы больше диаметра вала, что позволяет наполнить ее набивкой. Эта букса соединяется с грундбуксой болтами, при помощи которых она, упираясь своим концом в набивку грундбуксы, может сжать эту набивку. Для сжатия же набивки, заполняющей переднюю сальниковую буксу, имеется кольцо, поверх которого надевается круглая муфта с резьбой, навинчивающаяся на край указанной передней сальниковой буксы. Передняя сальниковая букса с уплотняющими кольцами внутри ее получает смазочное масло от масленки.

В грундбуксе описываемого сальника имеется фонарь для подачи масла под давлением. От этого фонаря отходит также трубка к всасывающему трубопроводу.

Кольца металлической набивки бывают или массивные или полые внутри. На фиг. 26 изображена такая полая металлическая набивка, заполняющая грундбуксу; передняя же букса уплотнена хлопчатобумажным шнуром.

На фиг. 27 представлен сальник углекислотного компрессора с кожаной набивкой, перемежающейся медными и резиновыми кольцами, а на фиг. 28—сальник сернокислотного компрессора



Фиг. 28.

с хлопчатобумажной набивкой. Грундбукса сальника серноокислотного компрессора, как видно из фиг. 28, снабжена полостью, в которую подается вода для охлаждения сальника.

6. Предохранительный клапан.

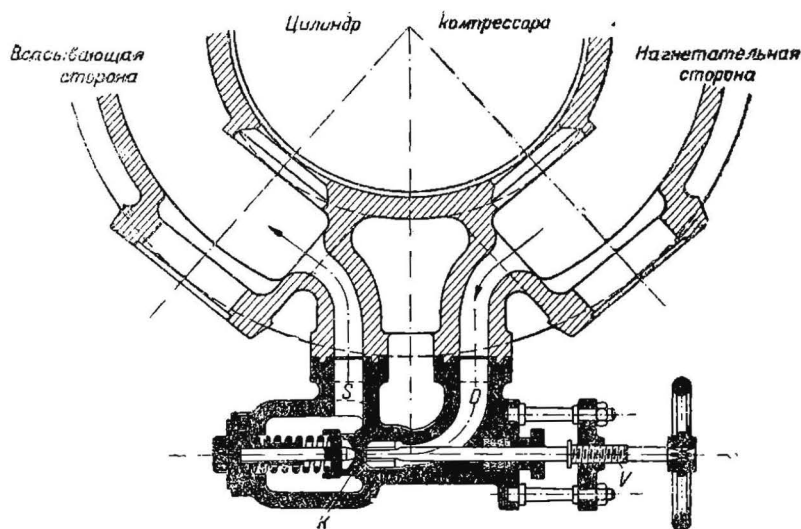
Для предупреждения повреждений цилиндра компрессора при сверхнормальном повышении давления, каковой случай может например иметь место, когда машинист при пуске компрессора забудет открыть вентиль нагнетательного трубопровода, в компрессорах устраиваются предохранительные приспособления.

Последние должны действовать автоматически. Их работа заключается в соединении нагнетательной стороны компрессора со всасывающим трубопроводом его.

На фиг. 29 представлена конструкция такого предохранительного клапана.

В задней крышке цилиндра, или под ним на отводе, соединяющем нагнетательные клапаны цилиндра, устанавливается конический клапан *K* (фиг. 29), обычно закрывающий канал *D* нагнетательной стороны компрессора. Клапан находится под давлением нажимной пружины, прижимающей конус к проходному отверстию отвода. Отвод сообщается при открывании клапана с коробкой, в которой установлен клапан. Эта коробка в свою очередь соединена с отводом всасывающей стороны *S* компрессора, как это видно на фиг. 29.

Предохранительный клапан на указанной фигуре скомбинирован с приспособлением для открывания его извне в начале пуска компрессора. Открывание клапана необходимо в тех случаях, когда компрессор приводится в действие двигателем дизеля или другими, не допускающими постепенный пуск, а дающими сразу полную нагрузку.



Фиг. 29. Предохранительный клапан аммиачного компрессора с приспособлением для открывания его извне.

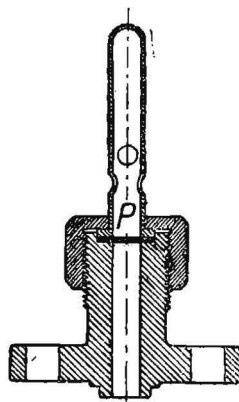
Приспособление состоит, как видно из фиг. 29, из шпинделя с маховичком, упирающегося свободным концом в тарелку предохранительного клапана. В остальном устройство такое же, какое бывает у некоторых задвижек или вентилях. Поворачивая маховик в ту или другую сторону, можно открыть или закрыть предохранительный клапан.

Часто вместо клапана устанавливается предохранительная пластинка, лопающаяся под определенным давлением.

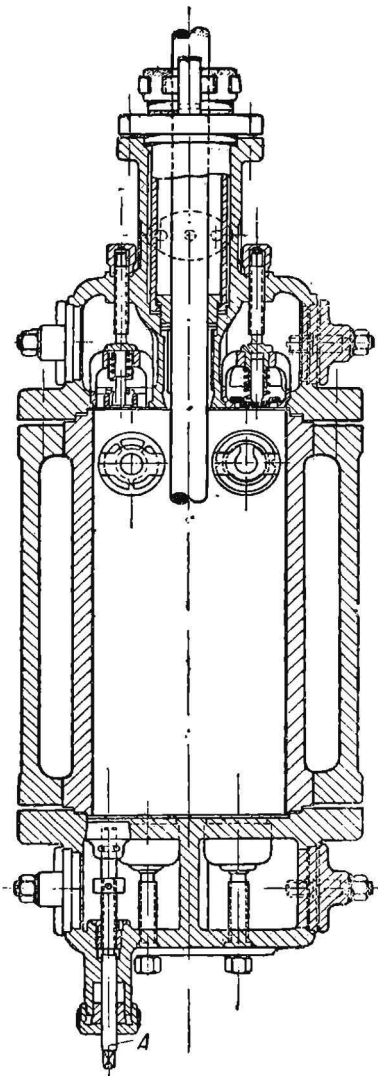
Примерное устройство предохранительного приспособления с пластинкой, применяемое для углекислотных машин, представлено на фиг. 30. Это приспособление ставится у заднего конца нагнетательного канала компрессора. Оно состоит из чугунной пластинки *P* (фиг. 30), перекрывающей отверстие штуцера нагнетательного канала, и трубочки. Пластинка с трубочкой придерживаются нажимной муфтой. Трубочка служит для улавливания осколков лопнувшей пластинки и для выпуска углекислоты.

Углекислота, в небольшом количестве попавшая в машинное отделение, не представляет опасности для жизни, а потому такое простое устройство допускается.

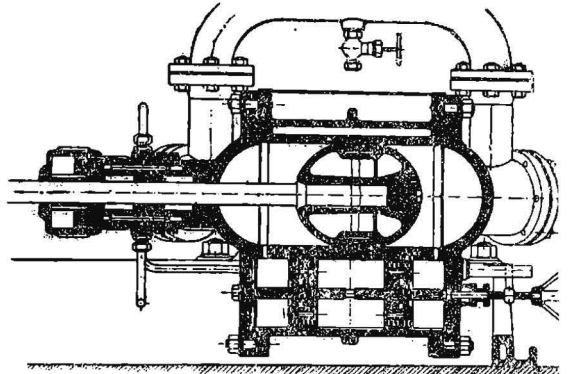
В аммиачных компрессорах предохранительная пластинка ставится, как и предохранительный вентиль, только в замкнутом ответвлении нагнетательного и всасывающего отводов компрессора. Пластинки должны быть испытаны и должны лопаться при определенном давлении. Ставить пластинки следует лишь такие, которые поставяет завод, изготовивший компрессор, а отнюдь не самодельные.



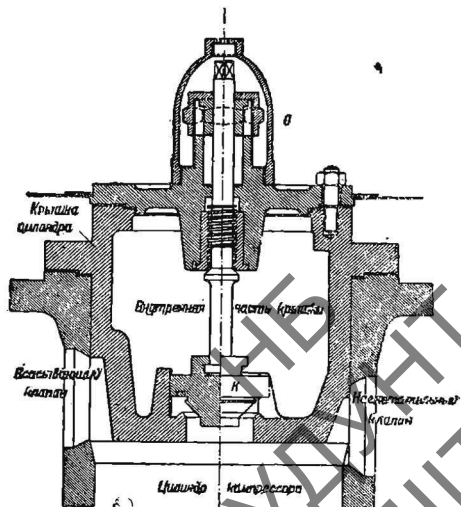
Фиг. 30. Пластинач-
предохранительное пр-
способление углекисло-
ного компрессора.



Фиг. 31. Продольный разрез ком-
прессора с клапанами в крышке
его; А — вентиль, открывающий
соединение цилиндра с простран-
ством в крышке.



Фиг. 32. Продольный разрез цилиндра компрессора
с нижней камерой (цилиндром) для увеличени-
я вредного пространства.



Фиг. 33. Полная крышка цилиндра с вентилем К на
середине для увеличения вредного пространства
О колпачок.

7. Регулятор холодопроизводительности у компрессоров.

Холодопроизводительность компрессора будет уменьшаться, как мы это можем заключить из сведений, почерпнутых нами во второй главе, при уменьшении всасывания в цилиндр паров хладагента или при увеличении вредного пространства цилиндра при сжатии паров хладагента.

На этом основаны устройства для регулирования холодопроизводительности компрессора.

Такого рода устройство—приспособление—мы уже встретили у всасывающего конического клапана шпиндельного типа, представленного на фиг. 19, и у пластинчатого клапана, представленного на фиг. 21.

Для этой же цели может служить приспособление для открывания выше описанного предохранительного клапана, изображенное на фиг. 29.

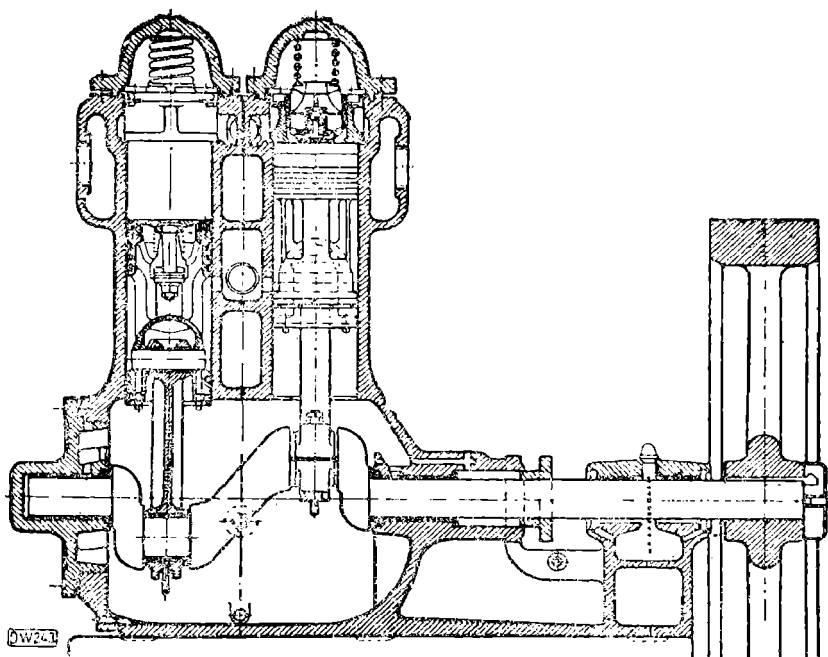
Некоторые заводы делают в задней крышке цилиндра отверстие, закрытое обычно специальным запорным вентилем, открывающимся в соединительную коробку всасывающей стороны цилиндра. Такой вентиль А изображен на фиг. 31 в задней крышке цилиндра компрессора.

Встречается также устройство особой камеры (фиг. 32) под компрессором, которая сообщается с цилиндром его посредством щелей, сделанных в стенке цилиндра у самых концов его. Щели обычно закрыты задвижками, сидящими на стержне, имеющем правую и левую нарезки. При поворачивании маховичка стержня в ту или другую сторону можно открыть или закрыть щели. При открывании щелей с каждой стороны цилиндра образуется в указанной камере две полости, разграниченные задвижками и стенками камеры. Объем каждой из этих полостей увеличивает вредные пространства у каждого конца цилиндра. При большем раздвижении задвижек вредные пространства увеличиваются; при меньшем раздвижении уменьшаются. При перекрывании щелей цилиндра задвижками остаются только свойственные данному цилиндру вредные пространства. Таким образом, увеличивая или уменьшая вредные пространства при помощи указанного устройства, можно регулировать холодопроизводительность компрессора.

Камера для увеличения вредного пространства иногда устраивается в задней крышке цилиндра, как это изображено на фиг. 33. Крышка в этом случае представляет собой коробку. В стороне этой коробки, обращенной внутрь цилиндра, сделано отверстие, в котором сидит запорный клапан со стержнем. Верхняя головка стержня закрыта колпаком О (фиг. 33). Если снять колпак и торцевым ключом открыть клапан, то получится дополнительное вредное пространство, уменьшающее холодопроизводительность компрессора. Уменьшение холодопроизводительности зависит от объема полости в крышке и объема цилиндра.

8. Крейцкопф, направляющие и шатун.

Движущие поршень части компрессора, как крейцкопф (ползун), шатун, коренной вал с подшипником и маховиком, по своему устройству у горизонтальных и многих вертикальных компрессо-



Фиг. 34. Вертикальный двухцилиндровый аммиачный прямооточный компрессор.

ров не отличаются от одноименных частей разных поршневых двигателей, например паровой машины. Следует только заметить, что направляющие крейцкопфа у компрессоров строятся почти исключительно цилиндрической формы и отливаются вместе со станиной. Плоские направляющие встречаются очень редко, в старых конструкциях.

В вертикальных многоцилиндровых холодильных компрессорах цилиндры устанавливаются на станину с картером-коробкой, где помещается коленчатый вал (фиг. 34). В этих компрессорах применяются тронковые (скальчатые) поршни, и надобность в крейцкопфах с направляющими отпадает.

9. Вертикальные многоцилиндровые компрессоры.

Многоцилиндровые вертикальные компрессоры строятся с двумя, тремя и четырьмя цилиндрами, устанавливаемыми, как выше было указано, на картере (фиг. 34). Все движущиеся части, за исключением того конца коленчатого вала, который соединен с двигателем, совершенно закрыты. Всасывающие клапаны часто помещаются во внутренней полости поршня. В последнем случае поршень обычно уплотнен тремя кольцами в верхней части и двумя кольцами в нижней части. Между обоими рядами колец в поршне имеются прорезы, через которые он при своем движении книзу сообщается со всасывающим каналом. На фиг. 34 канал виден в нижней части в промежутке между стенками обоих цилиндров.

Нагнетательные клапаны помещаются в коробке крышки цилиндра, как это видно из разреза цилиндра (справа на фиг. 34). Указанная коробка сообщается с нагнетательным каналом. На фиг. 34 канал этот виден в верхней части в промежутке между стенками обоих цилиндров. Крышка находится под давлением пружины, прижимающей ее коробку к сиденью. При повышении давления в цилиндре сверх нормального крышка благодаря пружине может приподняться и тогда образуется большой проход для сжатых паров хладагента. Вокруг верхней части цилиндров сделана охлаждательная рубашка, через которую циркулирует вода. Так как пары хладагента, засасываемые клапанами, сидящими в данном случае в поршне, циркулируют при движении поршня вверх и вниз только в одном направлении, то такие компрессоры обозначают как прямоточные простого или одинарного действия. К преимуществу указанных компрессоров следует отнести отпадение надобности в уплотняющих сальниках у поршней цилиндра. Единственный сальник, который надо уплотнить—это сальник коренного вала в картере со стороны маховика. Другое преимущество компрессоров этого типа—это большое число оборотов, большая благодаря этому холодопроизводительность и небольшая площадь, занимаемая ими.

О. Приводы.

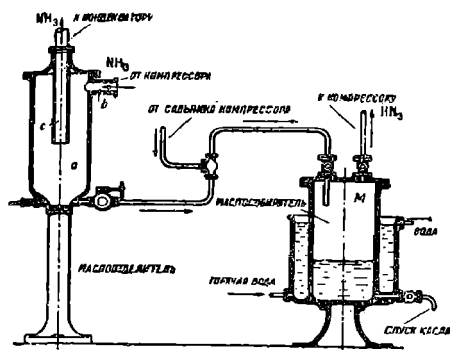
Компрессоры могут быть приведены в движение любым родом двигателя: паровой машиной, дизельмотором, электромотором и от трансмиссионного вала любого двигателя. Выбор двигателя зависит от местных условий. При этом может быть применена ременная передача или непосредственное соединение с двигателем.

Наиболее распространен способ приведения компрессоров от электромоторов. Для крупных мощностей быстроходных компрессоров применяется непосредственное соединение компрессора с электромотором посредством соединительной муфты. Вертикальные быстроходные компрессоры иногда устраиваются так, что их коленчатый вал служит одновременно валом электродвигателя. В последнем случае компрессор заказывается одновременно с электромотором, и завод, строящий компрессор, должен кооперировать свою работу с электротехническим заводом, строящим электромотор. При ременных передачах от электродвигателей с большим числом оборотов, у которых шкивы небольшого диаметра, приходится прибегать к натяжному приспособлению для ремня (ролику Леникса).

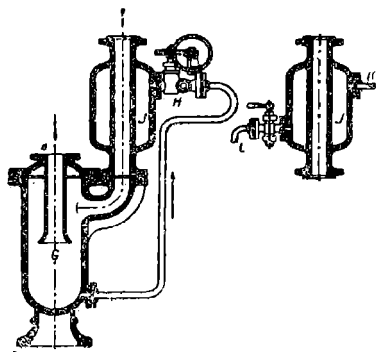
11. Маслоотделитель.

При работе компрессора масло для смазывания цилиндра подается в него маленьким специальным насосом, приводимым в движение от коренного вала компрессора. Сжатые пары хладагента увлекают часть масла с собой. Это масло должно быть выделено из паров, чтобы оно не попало в конденсатор и не загрязнило бы его и трубопроводов.

Для выделения масла из паров хладагента применяют аппарат, называемый маслоотделителем.



Фиг. 35. Маслоотделитель.



Фиг. 36.

Маслоотделитель устанавливается непосредственно за компрессором и включается в нагнетательный трубопровод, ведущий к конденсатору. Конструкций маслоотделителей имеется очень много, но все они основаны на одном и том же принципе.

Для выяснения принципа их работы возьмем маслоотделитель системы Линде для аммиачной машины (фиг. 35).

Маслоотделитель состоит из чугунного резервуара *a* с патрубком *b*, ведущим к компрессору. Через крышку резервуара проходит трубка *c*, ведущая к конденсатору. Сжатые пары хладагента проходят от компрессора через указанный патрубок *b* в трубу *c*, выделяя масло в резервуаре *a* вследствие изменения направления своего течения и изменения своей скорости. Находящийся в нижней части резервуара непрерывно вращающийся кран позволяет при каждом своем повороте собравшемуся в резервуаре маслу пройти через соединительную трубку в маслособираатель (горшок) *M*. Кран поворачивается ремешком от главного вала. Маслособираатель окружен рубашкой, в которую снизу поступает теплая вода от конденсатора, уходящая из рубашки через трубку наверху ее (фиг. 35). Масло, обогреваемое водой, выделяет последние остатки хладагента и оседает на дно маслособираателя; хладагент же собирается в верхней части маслособираателя, откуда отсасывается компрессором через трубку в крышке, показанную на фиг. 35. На трубопроводе между резервуаром *a* и маслособираателем *M* через тройник подводится в маслособираатель отработанное масло из сальника штока поршня, которое тоже содержит пары хладагента. Масло из маслособираателя время от времени спускается через кран, находящийся в нижней части маслособираателя.

На фиг. 36 представлено другое устройство аммиачного маслоотделителя. В этом маслоотделителе сжатые пары хладагента из компрессора поступают через отверстие *a* в резервуар *G*, где происходит первое выделение масла. Выделившие масло пары хладагента уходят в конденсатор через трубу, отлитую по оси маслособираателя *J*. Собравшееся на дне резервуара *G* масло под

давлением паров хладагента само поднимается снизу резервуара *G* по трубке в маслособираатель *J*, проходя через вращающийся кран *H*. Так как нагнетательная труба всегда горячая, то остатки хладагента выделяются из поступившего в маслособираатель масла, откуда они отсасываются через трубку *K* (фиг. 36) компрессором. Масло же из маслособираателя спускают время от времени через кран *L*. В этом маслоотделителе отпала надобность в подаче теплой воды в рубашку маслособираателя. В нем подогрев совершается самим горячим хладагентом.

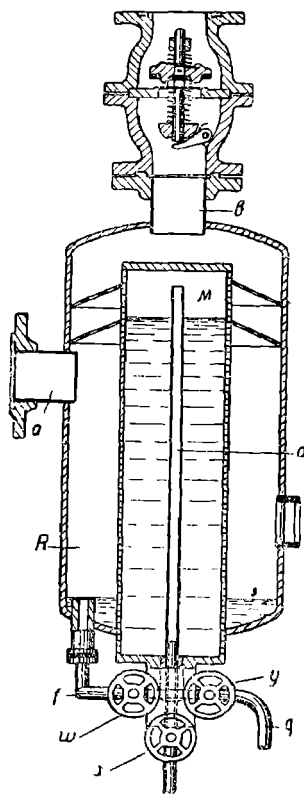
На фиг. 37 представлена конструкция маслоотделителя, встречающегося на некоторых установках в СССР.

В этом маслоотделителе сжатые пары хладагента поступают через штуцер *a* сбоку и проходят через штуцер *b* кверху. На пути своем они встречают продырявленные листы железа с очень мелкими отверстиями, способствующие оседанию масла. Маслособираатель *M* в виде трубы помещается в средней части маслоотделителя. По оси маслособираателя проходит длинная трубка *d*, доходящая наверху почти до самого конца его, а снизу соединенная через кран *x* со всасывающим трубопроводом. Трубка выше крана *x* соединена крестовиной с одной стороны через кран *W* с небольшой трубкой *f*, сидящей на дне маслоотделителя; с другой стороны через краник *y* она соединена со спускной трубкой *q*.

Для того чтобы выделить еще оставшийся в осевшем уже масле хладагент, поступают следующим образом.

Открывают сначала кран *x* и производят отсасывание через нижнюю трубку накопившихся в маслособираателе *M* паров хладагента. После отсасывания краник *x* закрывают. Если теперь открыть кран *W*, то масло, находящееся в резервуаре *R* под давлением нагнетательной стороны компрессора, устремится через трубку *f* и длинную вертикальную трубку *d* в маслособираатель *M*, где давление после отсасывания значительно ниже. Маслособираатель заполнится на известную часть маслом, которое, нагреваясь поступающими в резервуар *R* горячими парами, выделит из себя пары хладагента. Эти пары соберутся в верхней части маслособираателя *M*. Открывая кран *y*, оставляя при этом краны *W* и *x* закрытыми, можно спустить масло из маслособираателя *M*. Все эти операции производятся через определенные промежутки времени обслуживающим холодильную машину персоналом.

Собранное масло фильтруется и снова идет в употребление.



Фиг. 37.

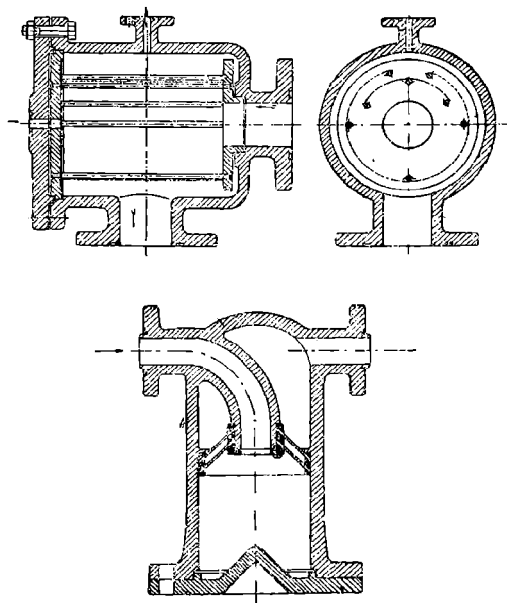
12. Возвратный клапан.

В больших холодильных установках к маслоотделителю непосредственно присоединяется возвратный клапан, как это показано на фиг. 37. Возвратный клапан открывается только в сторону конденсатора под давлением паров хладагента при их течении в конденсатор. Если что-либо случится с компрессором, то моментально закрывается возвратный клапан. Благодаря последнему обстоятельству хладагент из конденсатора не может потечь обратно.

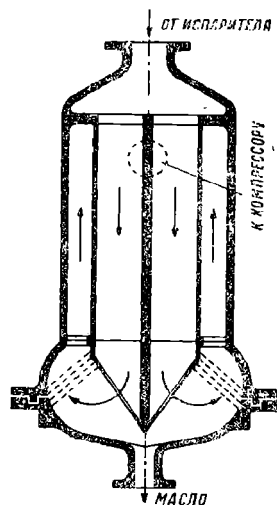
Возвратный клапан не мешает иметь не только на крупных установках, но и на мелких.

13. Грязеуловитель.

Для предохранения компрессора от попадания в него, особенно в первое время после монтажа, могущих оказаться во всасыва-



Фиг. 38. Грязеуловитель.



Фиг. 39.

ющем трубопроводе, несмотря на тщательную чистку, окарины и мелких частиц песка, приходится устанавливать во всасывающем трубопроводе непосредственно у компрессора грязеуловитель.

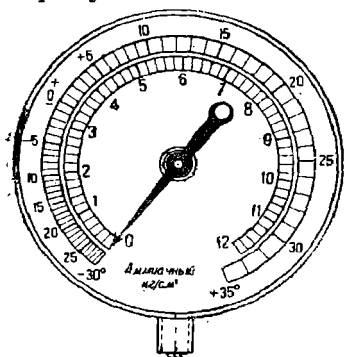
Грязеуловитель, или грязевик, представляет собой горшок с установленными в нем сетками на пути прохождения паров хладагента. На фиг. 38 представлен один из видов таких грязеуловителей. Пары в нем идут по направлению, указанному стрелкой. Они попадают сначала во внутреннюю часть горшка, имеющую вид колена, и чтобы выйти наружу, обязательно должны пройти ряд сеток (фиг. 38). Грязь оседает на съемное дно горшка, который время от времени можно вычищать.

Другая форма конструкции горшка представлена на фиг. 39.

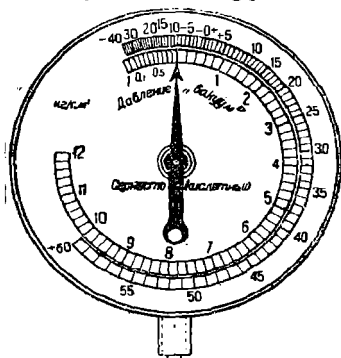
В нем пары хладагента поступают в обе половинки средней части горшка (фиг. 39), проходят через ряд сеток и выходят в наружную полость горшка, откуда удаляются через трубу, обозначенную пунктиром, к компрессору. Крышка у горшка на фиг. 39 тоже съемная. В ней имеется штуцер, к которому присоединяется не показанный на фиг. 39 кран для спуска масла.

14. Манометры.

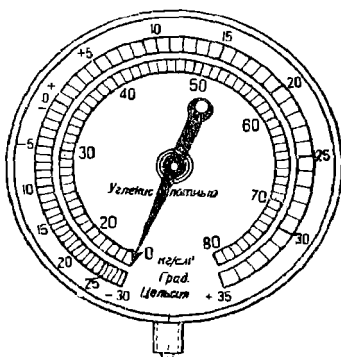
Для того чтобы можно было при работе компрессора постоянно наблюдать за давлениями всасывания и нагнетания, на всасывающем и нагнетательном трубопроводах испарителя и конденсатора устанавливают по специальному манометру, в зависи-



Фиг. 40. Манометр аммиачный.



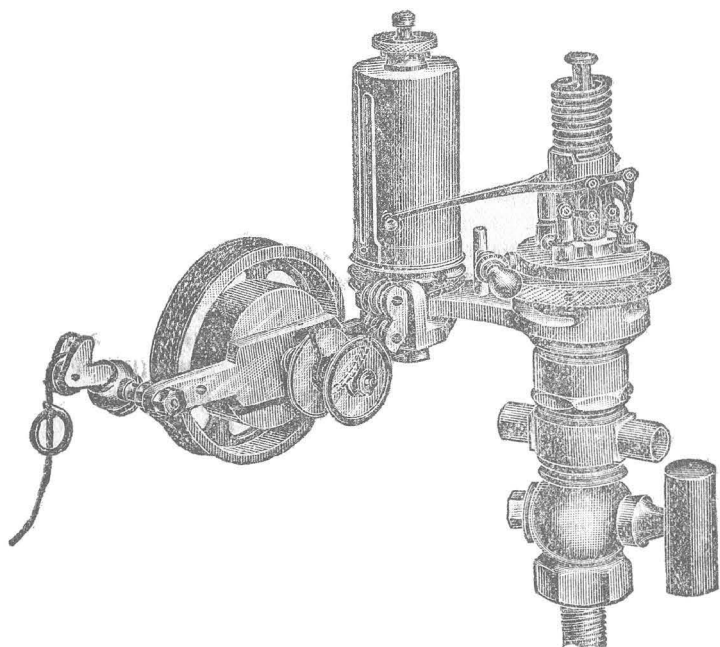
Фиг. 41. Манометр сернокислотный.



Фиг. 42. Манометр углекислотный.

мости от хладагента. Манометры для аммиака внутри и снаружи обязательно должны быть железные.

Предпочтительнее всего применять манометры, изготовленные по принципу вакуум-манометров, так как при некоторых работах приходится полностью отсасывать систему, например при удалении воздуха из машины или при открывании какого-нибудь аппарата. Циферблат манометров (фиг. 40, 41 и 42) имеет две шкалы. На внутренней шкале по окружности деления показывают давления, а на внешней шкале по окружности деления показывают соответствующие давлениям температуры хладагента. Таким образом стрелка одновременно показывает давление и температуру.



Фиг. 43. Индикатор.

Смотря по тому, для какого трубопровода манометр предназначен, различают манометры нагнетательные и всасывающие.

Манометры обычно устанавливаются на щите. Щит с манометрами принято называть манометрической или манометровой станцией.

В крупных установках манометры ставятся не только на нагнетательном и всасывающем трубопроводах, но еще и непосредственно у компрессоров.

15. Индикатор

Вспомогательным прибором для определения работы компрессора, исправности его органов служит индикатор, при помощи которого можно снять диаграммы компрессора.

Индикатор (фиг. 43) состоит из маленького цилиндра с поршнем, находящимся под давлением пружины. На конце поршенька прикреплен на шарнире раздвоенный в виде вилки рычажок, сидящий на оси снаружи цилиндра. На другом конце рычажка укреплен пишущий штифт. При малейшем движении поршенька в ту или другую сторону рычажок принудительно вращается на своей оси.

На подставке, прикрепленной к цилиндру индикатора, имеется барабан (фиг. 43), вращающийся вокруг своей оси посредством шнура, перекинутого через малый ролик, сидящий наглухо на одной оси с большим роликом. Большой ролик с пружиной, помещенной в коробке, вращается посредством обмотанного вокруг

него шнура. Если потянуть за конец шнура, то большой ролик повернется, а вместе с ним малый ролик посредством шнура повернет барабан. Если отпустить конец шнура, то ролик действием пружины повернется обратно. Механизм из роликов и пружины носит название ходоуменьшителя, так как он уменьшает истинную величину хода поршня компрессора. Индикаторный цилиндр привинчивается к трехходовому крану (фиг. 43), который в свою очередь ввинчивается в штуцер бобышки, отлитой в цилиндре компрессора в передней и задней его сторонах. Отверстия в штуцерах обычно закрыты винченными пробками.

Действие индикатора следующее.

Когда индикатор с трехходовым краном установлен в цилиндре компрессора, из которого хладагент отсосан на вакуум, конец шнура, обмотанного вокруг большого ролика, соединяют при помощи крючка с крейцкопфом поршня компрессора. При открывании трехходового крана поршень индикатора во время работы компрессора приведет в движение вышеуказанный рычажок, штифт которого будет чертить на рулоне бумаги, надетый на барабан, линию давления в цилиндре компрессора. В это же время барабан, получая вращение посредством шнура от крейцкопфа, показывает на диаграмме (в масштабе, определяемом ходоуменьшителем) те точки пути поршня компрессора, которым отмечаемые рычажком давления соответствуют. Таким образом на бумаге записывается индикаторная диаграмма компрессора, о которой говорилось во второй главе.

Снятая описанным образом диаграмма показывает работу компрессора с одной стороны поршня цилиндра. При желании одновременно заснять диаграммы работы компрессора с обеих сторон поршня применяют индикаторы с двумя цилиндрами.

Пружины индикатора изготавливаются на разные давления; точно так же ходоуменьшители изготавливаются со сменными роликами для разной длины цилиндров компрессоров. Сменный ролик должен быть тем больше, чем меньше ход поршня компрессора.

Благодаря трехходовому крану индикатора цилиндр последнего можно соединить в начале снятия диаграммы с наружным воздухом. При этом можно начертить линию атмосферного давления, от которой на диаграмме измеряются давления в цилиндре компрессора.

Пружина сменная. Для возможности пользоваться индикатором для снятия диаграмм компрессоров аммиачных, уголекислотных и сернокислотных, работающих с разными давлениями, следует иметь несколько пружин, калиброванных для разных давлений.

16. Регулирующий вентиль.

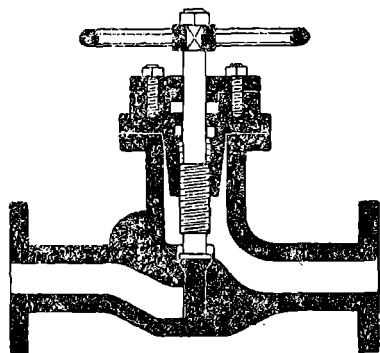
Хладагент, как было указано во второй главе, подается из конденсатора в испаритель через регулирующий вентиль. Регулирующий вентиль (фиг. 44) представляет собой конический вентиль с маленьким проходом и прикрывающим этот проход коническим клапаном. Диаметры входа и выхода из коробки вентиля должны равняться диаметру трубы, подводящей охлажденный хладагент из конденсатора. Шпиндель, поднимающий и опускающий конус на

седло, имеет очень мелкую резьбу, которая дает возможность весьма чувствительно регулировать степень открывания вентиля.

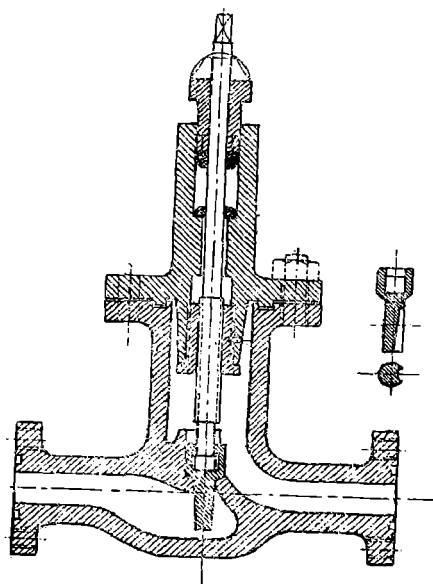
На фиг. 45 представлено устройство аммиачного регулирующего вентиля, у которого в конусе имеется полукруглая выемка, суживающаяся, как видно из фигуры, по направлению к седлу клапана.

Действие регулирующего вентиля основано на следующем:

Жидкий хладагент, поступающий в коробку регулирующего вентиля (фиг. 44 и 45) из конденсатора, течет с небольшой скоростью, но под большим давлением, существующим в конденсаторе. По другую сторону коробки (фиг. 44 и 45) давление более низкое, равное давлению в испарителе. Благодаря разности давлений по обе стороны конуса скорость хладагента вдруг увеличивается. Вследствие этого происходит быстрое испарение притекающего в испаритель хладагента. Чем больше прикрыт проход регулирующего вентиля, тем меньше будет давление в испарителе, тем быстрее произойдет испарение хладагента, а вместе с этим тем ниже будет достигаемая в испарителе температура паров хладагента.



Фиг. 44.



Фиг. 45. Регулирующий вентиль.

Такое сжатие хладагента в проходе регулирующего вентиля называется **дресселированием**. Для достижения более удобного регулирования, с постепенным падением давления хладагента, применяют регулирующие вентили с несколькими дроссельными коробками. Кроме того имеются конструкции автоматически действующих регулирующих вентилей, на которых мы останавливаться не будем.

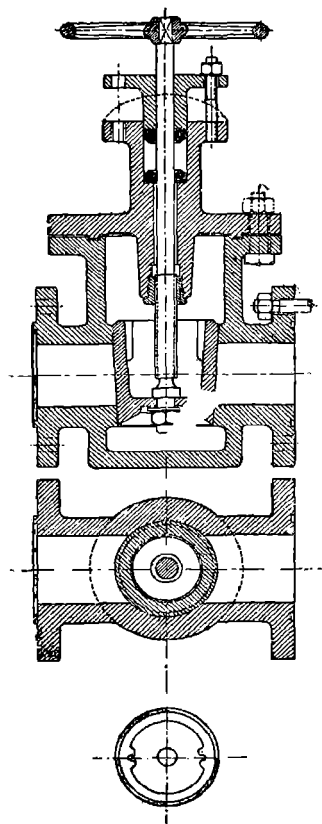
17. Запорные вентили.

Их роль ограничивается тем, что они служат для отделения компрессора от всасывающей и нагнетательной линий или для запора ответвлений от этих линий.

Конструкция их бывает самая различная, как это видно из фиг. 46, 47 и 48. В основном все они состоят из коробки с фланцами на концах входа и выхода и из стержня с резьбой, вращающегося во втулке, на конце которого имеется клапан. При поворачивании маховичка, сидящего на наружной части стержня, клапан поднимают или опускают на его сиденье. При этом при подъеме клапана получается сообщение между входной и выходной полостями вентиля, как это видно из фиг. 46, 47 и 48.

В соответствии с конструкциями различают: обыкновенные вентили со стержнем и задвижкой, тарельчатые вентили, двойные вентили и др. Главные качества, которые требуются от запорного вентиля — это плотность прилегания запирающей части к проходу (чтобы вентиль не пропускал) и хорошее направление стержня и клапана.

В качестве запорных органов для линий с небольшим сечением применяют проходные краны. Такой кран изображен на фиг. 49. Здесь проходное отверстие сделано в самом стержне.



Фиг. 46.

18. Соединительные трубопроводы.

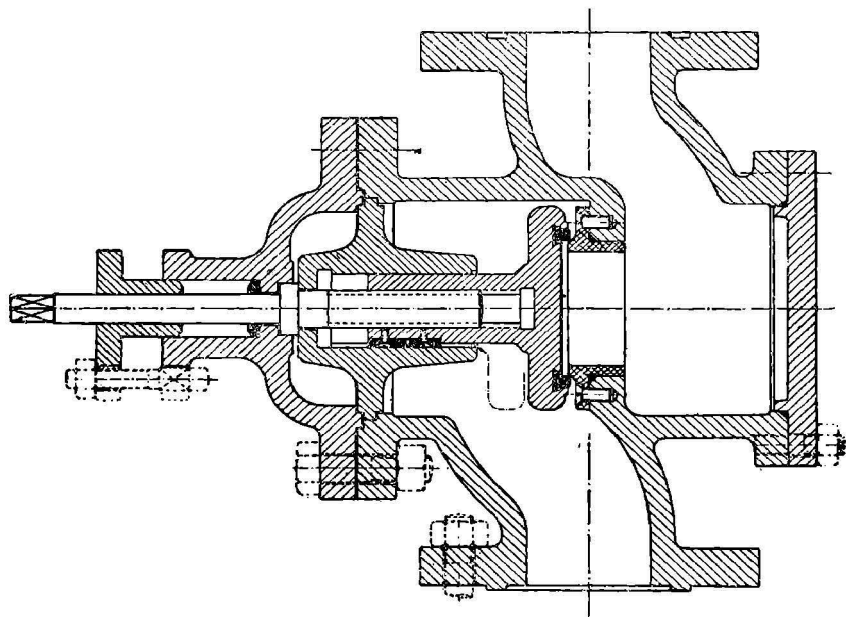
Нагнетательный и всасывающий трубопроводы между компрессором, конденсатором и испарителем делаются из цельнотянутых труб, которые должны быть испытаны на соответствующее давление, зависящее от того, для какого хладагента они предназначены. Только для коротких расстояний и колен допускается чугунное литье. Смежные фланцы труб должны быть снабжены канавками и выступами так, чтобы выступ одного фланца входил в канавку другого. В разговорном языке фланец с выступом называют мужским, а фланец с канавкой — женским. Фланцы стягиваются болтами. Между фланцами кладется для уплотнения кольцо из мягкого металла, резины или других соответствующих материалов.

II. КОНДЕНСАТОР, ПЕРЕОХЛАДИТЕЛЬ, ГРАДИРНЯ.

1. Типы конденсаторов.

Конденсатор холодильной машины, как это было указано во второй главе, представляет собой аппарат, в котором происходит охлаждение паров хладагента, поступающих в него из компрессора под известным давлением. Это охлаждение производится путем отнятия теплоты от паров хладагента, приобретенной ими в испари-

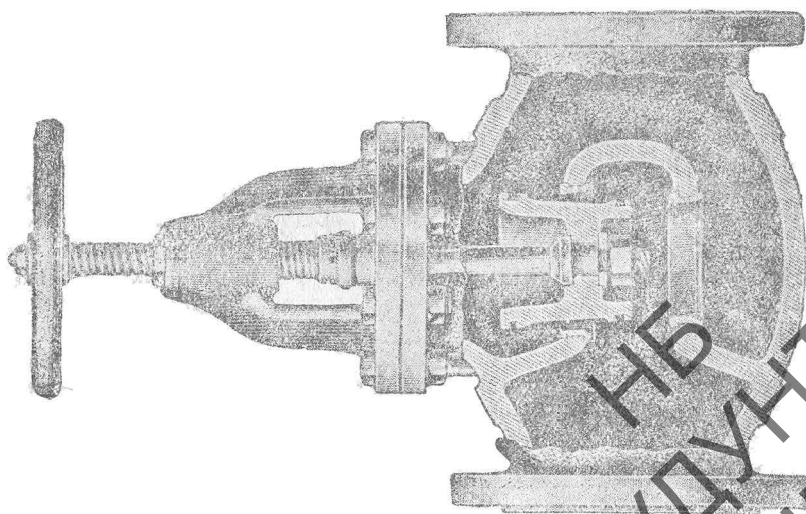
теле за счет окружающей среды, а также приобретенной за счет работы компрессора, нагнетавшего эти пары в конденсатор. Отнятие теплоты от паров хладагента, т. е. охлаждение их, про-



Фиг. 47.

изводится холодной водой, омывающей трубчатую систему конденсатора.

В процессе отнятия теплоты в конденсаторе следует различать три момента.



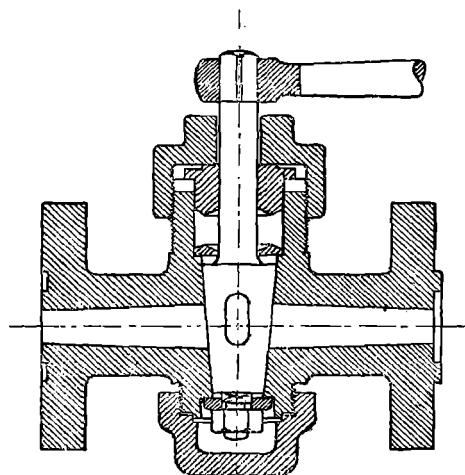
Фиг. 48

1. Пары, поступающие в конденсатор, находятся в перегретом состоянии; они за время сжатия приобрели теплоту, равную

работе, произведенной компрессором; их температура значительно повысилась. Необходимо в первую очередь довести эти пары до состояния насыщения.

2. Доведенные до состояния насыщения пары начнут охлаждаться, и пока будет производиться охлаждение, из них надо выделить теплоту парообразования, т. е. ту теплоту, которую хладагент отнял в испарителе при образовании паров.

3. После этого наступает жидкое состояние хладагента с температурой кипения, которую надо по возможности понизить до температуры охлаждающей воды, чтобы сделать жидкое состояние хладагента в конденсаторе устойчивым.



Фиг. 49.

Быстрота, с которой будет протекать этот процесс, будет зависеть от конструкции конденсатора, материала и толщины стенок его трубчатой системы, обуславливающих величину теплопередачи, от температуры охлаждающей воды, от скорости ее течения и от скорости прохождения хладагента через конденсатор.

Устройство конденсатора возможно двоякое.

Первое основано на использовании воды в качестве охлаждающего средства без испарения самой воды. В этом случае трубчатая система, в которую нагнетается хладагент, помещается в баке, через который протекает охлаждающая

вода, или указанная трубчатая система замыкается в змеевик из труб, через который пропускают охлаждающую воду; наконец хладагент может поступать в замкнутый резервуар, через который проходят трубы для охлаждающей воды.

Второе устройство основано на использовании воды в качестве охлаждающего средства, но при одновременном испарении ее в воздух. Для испарения воды требуется большое количество теплоты (теплота парообразования воды равна около 600 кал), вследствие чего при применении этого способа охлаждения трубчатой системы, в которую нагнетается хладагент, расход воды будет меньше.

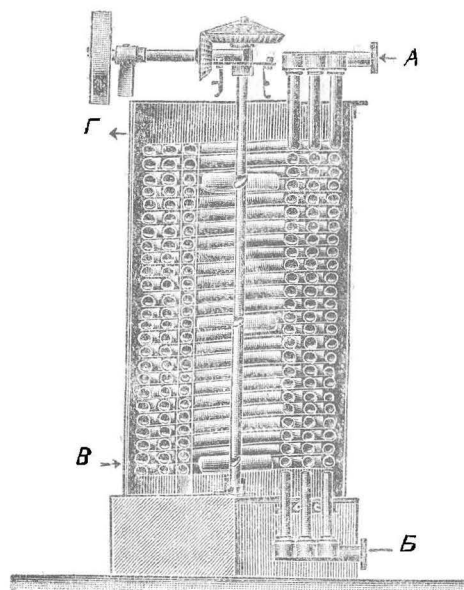
К устройствам первого рода относятся так называемые погружные конденсаторы, противоточные конденсаторы, элементные конденсаторы, трубчатокожуховые конденсаторы; к устройствам второго ряда относятся оросительные конденсаторы.

2. Погружной конденсатор.

Погружной конденсатор представляет собой в большинстве случаев вертикальный цилиндрический железный бак, в который по-

гружены два или несколько змеевиков из цельнотянутых труб (фиг. 50). Число змеевиков и размер их зависят от количества теплоты, которую желают отнять в конденсаторе, другими словами, от холодопроизводительности холодильной машины в целом. Высота витков, как и общая высота змеевиков, рассчитана таким образом, чтобы протекающая через бак вода была экономично использована. Температура воды при отходе из конденсатора должна быть ниже температуры ожиженного хладагента всего на несколько градусов ($2-4^{\circ}\text{C}$).

Для лучшей теплоотдачи по оси цилиндрического бака устанавливается мешалка—вал с поперечными лопастями. Вал снизу опирается на подшипник. Вал приводится во вращение посредством конической или червячной передачи (фиг. 50), установленной в верхней части бака. Число оборотов, которое дают мешалке,



- А — вход хладагента;
- Б — выход хладагента;
- В — вход охлаждающей воды;
- Г — выход охлаждающей воды.

Фиг. 50. Цилиндрический (круглый) погружной конденсатор.

колеблется между 30—60 в 1 мин. (30 оборотов у больших и 60 у малых конденсаторов).

Змеевики как в верхней части, так и в нижней соединяются со сборниками, представляющими собой цилиндрические коробки с ответвлениями—штуцерами. Ответвления присоединяются к концам змеевиков; главный же проход верхнего сборника присоединяется к нагнетательной линии, а главный проход нижнего сборника ведет ко всасывающей линии компрессора. Число ответвлений или отводов в сборниках зависит от количества змеевиков. В случае двух только змеевиков верхний сборник может быть заменен трубой с двумя ответвлениями (которую принято в разговорном языке называть «штанами»). Проход змеевиков через дно бака должен быть устроен с уплотнением во избежание течи воды.

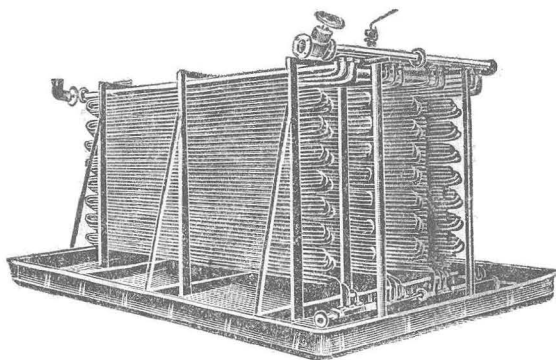
Хладагент подводится в змеевики, как уже выше сказано, через верхний сборник, соединенный с нагнетательным трубопроводом, а выходит через нижний сборник, соединенный через регулирующий вентиль со всасывающим трубопроводом компрессора. Другими словами, хладагент течет сверху вниз.

В нижней части змеевиков находится уже несколько охлажденный хладагент и чтобы он не нагревался, а, наоборот, еще больше охладился, воду в бак конденсатора пускают снизу, а выход для нее устраивается в верхней части бака. Таким образом получается противоток хладагента и воды, т. е. вода и хладагент текут по противоположным друг к другу направлениям.

В погружном конденсаторе принцип противотока хладагента и воды не может быть осуществлен в полной мере. Он осуществлен полностью только в конденсаторах противоточного типа, о которых речь будет дальше.

Погружной конденсатор устанавливают на фундаменте так, чтобы обеспечить доступ к сборнику и его соединительным частям—арматуре.

К верхнему распределительному сборнику присоединяются через тройник два небольших крана: один для манометра, другой



Фиг. 51. Оросительный конденсатор.

для выпуска воздуха из змеевиков, обычно накапливающегося в них при стоянках компрессора. В нижней части бака делается спускной кран для воды. Змеевики для очистки их наружной поверхности от накапливающейся на них из воды грязи вынимаются через верхнее открытое отверстие бака.

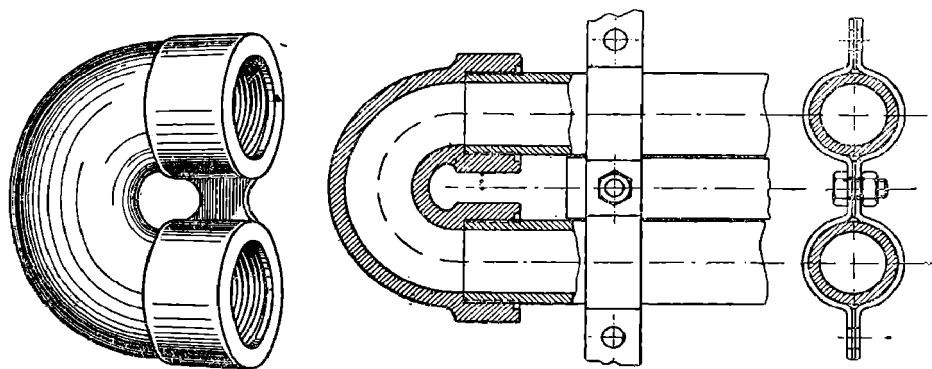
Погружные конденсаторы встречаются в небольших холодильных установках. В настоящее время они вытесняются и из этой области и заменяются противоточными конденсаторами.

3. Оросительный конденсатор

Оросительный конденсатор (фиг. 51) представляет собой открытый тип конденсатора. Так называется он потому, что его трубчатая система стоит открыто на воздухе и оmyвается водой сверху.

Спиральные змеевики заменены в оросительных конденсаторах плоскими змеевиками из прямых цельнотянутых железных труб, соединенных между собой путем сварки их концов и изогнутых в последовательном порядке (фиг. 51). Радиус перегиба берется такой, чтобы при изгибании труб посредством соответствующего приспособления в холодном состоянии не получилось никаких трещин в местах перегибов. Определенное количество труб, смотря по высоте конденсатора, или пучки труб (как это иногда делается) располагаются в одной плоскости и прикрепляются к вертикальным стойкам посредством хомутов с болтами. Несколько рядов сваренных между собой и собранных таким образом труб составляют секцию. Секции оросительных конденсаторов делаются обычно в 30—40 м². Секции своими верхними и нижними концами соединены в сборники. Между ними и сборниками ставятся запорные вентили. Сборники присоединяются к главным магистралям—нагнетательному и всасывающему трубопроводам.

Сборники обыкновенно делаются из большого диаметра цельно-



Фиг. 52.

тянутых труб и все ответвления—штуцеры—привариваются автоматической или электрической сваркой.

Трубчатые элементы оросительного конденсатора, прикрепленные к стойкам, устанавливаются на подкладках, уложенных в поддоне. Поддон—это плоский бак, куда стекает отработавшая охлаждающая вода после орошения труб.

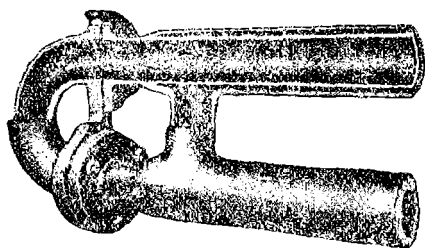
Вода в оросительном конденсаторе подводится сверху. Она распределяется равномерно посредством труб с отверстиями или посредством желобов с зубчатыми прорезами, устанавливаемых вдоль каждого змеевика конденсатора.

Так как хладагент и вода текут в оросительных конденсаторах в одном направлении, сверху вниз, то верхние части змеевиков орошаются более холодной водой, чем нижние части. Благодаря этому близкие к состоянию ожигения пары хладагента в нижних трубах не имеют возможности быстро отдать свою теплоту охлаждающей воде. Разность температуры между ожигенным хладагентом и отходящей водой нельзя опустить ниже 5—7° Ц, почему опы-

новенно приходится устанавливать еще переохладитель для жидкого аммиака, о чем будет сказано дальше. Это обстоятельство является большим недостатком оросительных конденсаторов. Зато расход воды в оросительных конденсаторах в 3—4 раза меньше, чем в конденсаторах погружного типа. Последнее объясняется тем, что охлаждающая вода у оросительного конденсатора, подогретая трубчатой системой его, постоянно испаряется понемногу в воздух, теряя частично приобретенную теплоту. Расход воды для оросительного конденсатора практически исчисляется в 4 л в 1 мин. на 1 м², а число калорий, передаваемых 1 м² поверхности змеевиков в 1 час, принимается равным 1 000—1 200 кал.

Оросительный конденсатор имеет то удобство, что наружную поверхность его змеевиков очень легко очистить во время работы холодильной машины.

Оросительные конденсаторы устанавливаются обычно на крыше машинного отделения, на открытом хорошо проветриваемом месте.



Фиг. 53.

Для защиты конденсатора от солнечных лучей устраивают над ним перекрытие на стойках, а с запада и юга — жалюзи из досок.

В Америке змеевики оросительных конденсаторов собираются иногда из отдельных труб, ввинчиваемых в специальные железные двойные колена (фиг. 52), в которых они потом запаиваются. Такой способ позволяет стандарти-

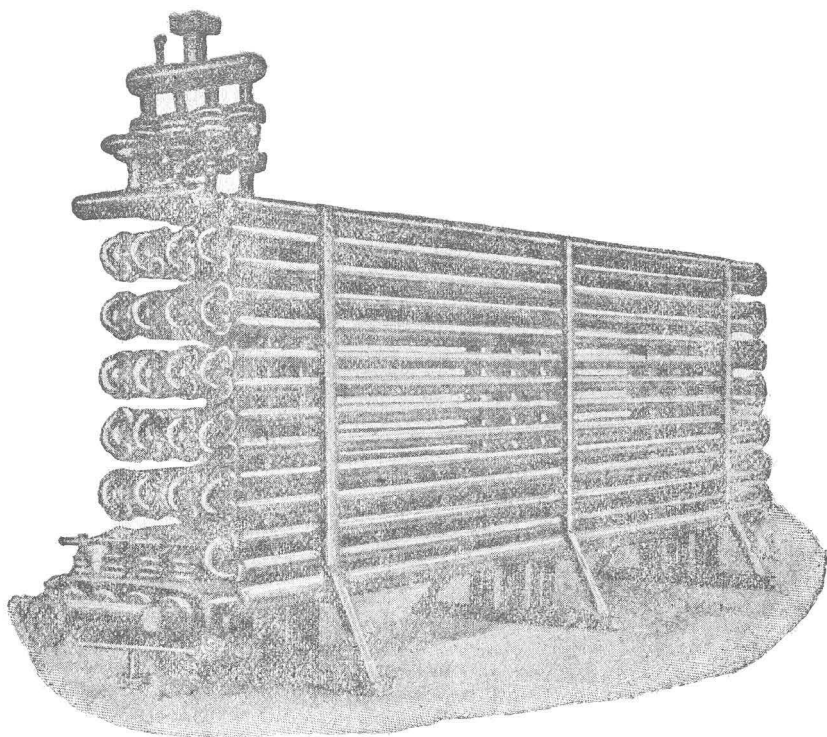
зировать части, что очень удобно при массовом производстве, зато он не дает возможности располагать трубы так близко друг к другу, как при изгибании их.

4. Двухтрубный противоточный конденсатор.

Двухтрубный противоточный конденсатор состоит из двух змеевиков, заключенных один в другой. Через внутренний змеевик обычно течет вода, а через наружный — хладагент. На фиг. 53 изображен снимок, показывающий способ сварки концов труб внутреннего змеевика с трубами наружного змеевика, способ соединения труб наружного змеевика и способ соединения труб внутреннего змеевика.

Как видно из указанной фиг. 53, внутренние трубы меньшего диаметра (обычно 34/42 мм для аммиачных конденсаторов) вставляются в трубы большего диаметра (обычно 58/66 мм). Концы труб большего диаметра пригибаются к трубам меньшего диаметра и привариваются к ним электрическим или автогенным способом.

Концы труб меньшего диаметра, выступающие из труб большего диаметра, соединяются между собой посредством двойных колен (калачей) на фланцах. Чтобы устроить сообщение между трубами большего диаметра, у концов их прорезываются отверстия, к краям которых приваривается короткая труба, как это видно на фиг. 53, где часть соединения для наглядности срезана.



Фиг. 54. Двухтрубный (противоточный) конденсатор.

На фиг. 54 представлен двухтрубный противоточный конденсатор из четырех секций. Вход хладагента—сверху через сборник. Выход хладагента—через нижний сборник. У входа и выхода каждой секции имеется запорный вентиль. Вода подводится снизу в трубу и выходит наверху. Как подводящая воду труба, так и выводящая воду труба соединяются с внутренним змеевиком каждой секции конденсатора. В этом конденсаторе осуществлен полностью принцип противотока хладагента и воды, почему он и назван противоточным. Расход воды в противоточных двухтрубных конденсаторах на 1 000 кал, в зависимости от величины поверхности конденсатора колеблется между 120—150 л в 1 час. Производительность на 1 м² в 1 час исчисляется от 3 500—4 500 кал.

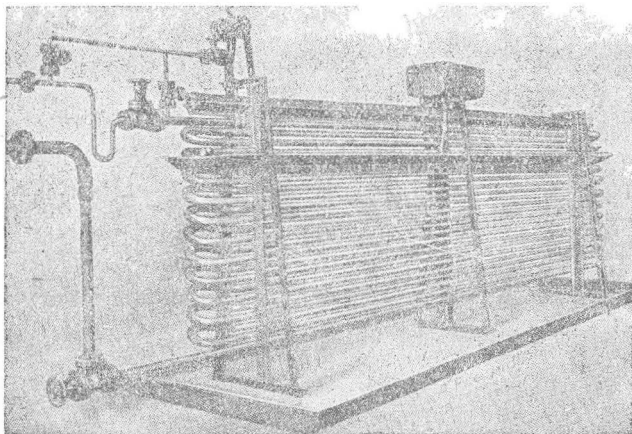
Для прочистки внутренних труб от загрязнения водой приходится снимать двойные колена. Это представляет неудобство. Во избежание необходимости частой чистки в противоточном конденсаторе следует применять воду, без примесей, дающих осадки.

5. Противоточные оросительные конденсаторы; блок-конденсаторы и конденсаторы с промежуточными отводами для хладагента.

Оросительные конденсаторы выполняются некоторыми заводами по принципу противопотока. Хладагент поступает в змеевики

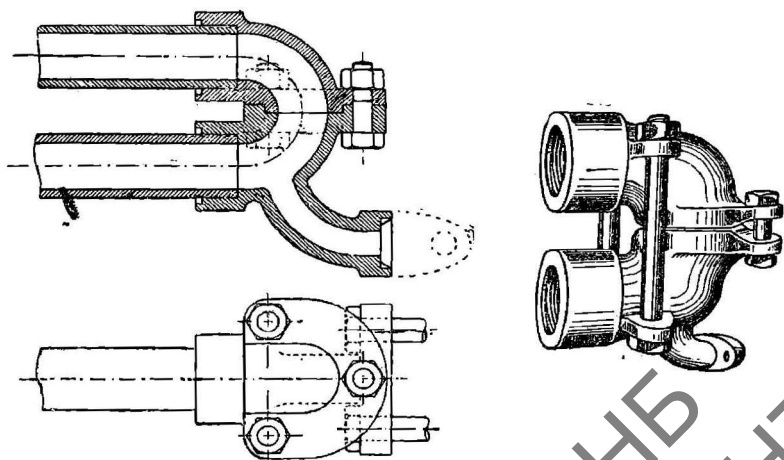
снизу и выходит из них наверху, вода же подается, как в обычном оросительном конденсаторе—сверху.

К таковым конденсаторам относятся так называемые блок-конденсаторы (фиг. 55). Блок-конденсаторы дают большую произво-



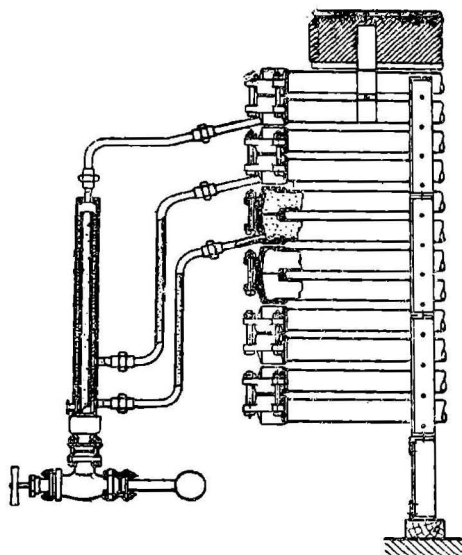
Фиг. 55. Блок-конденсатор.

дительность, т. е. каждый кв. метр поверхности змеевика передает большее число калорий охлаждающей воде (3 000—3 500 кал). Поэтому его конструкция требует меньше труб и меньше места.

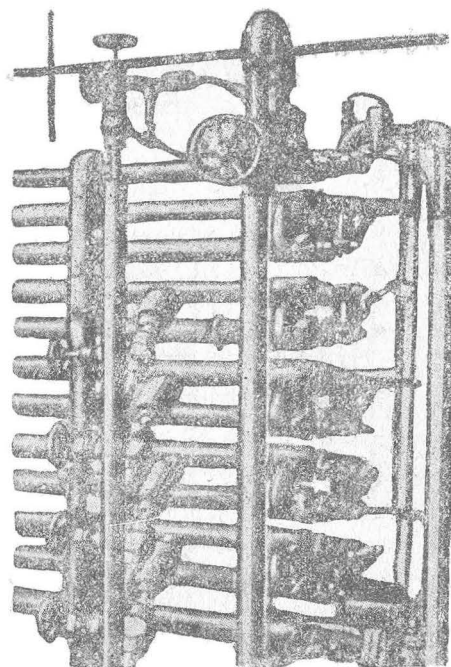


Фиг. 56.

В оросительных конденсаторах, в особенности работающих по принципу противотока, в трубах накапливается жидкий хладагент, который покрывает известную часть поверхности труб, что мешает использовать полную поверхность конденсатора для охлаждения паров хладагента.

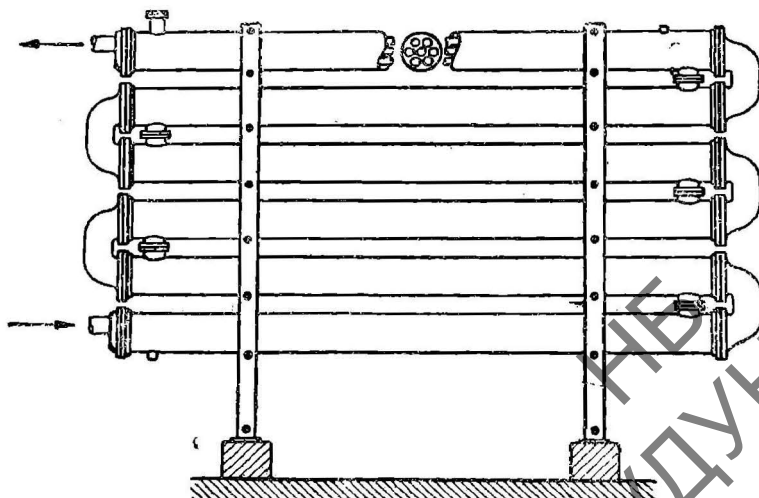


Фиг. 57. Вид части оросительного конденсатора с промежуточными отводами (промежуточным отбором) жидкого аммиака.



Фиг. 58. Двухтрубный конденсатор с промежуточным отбором жидкого аммиака.

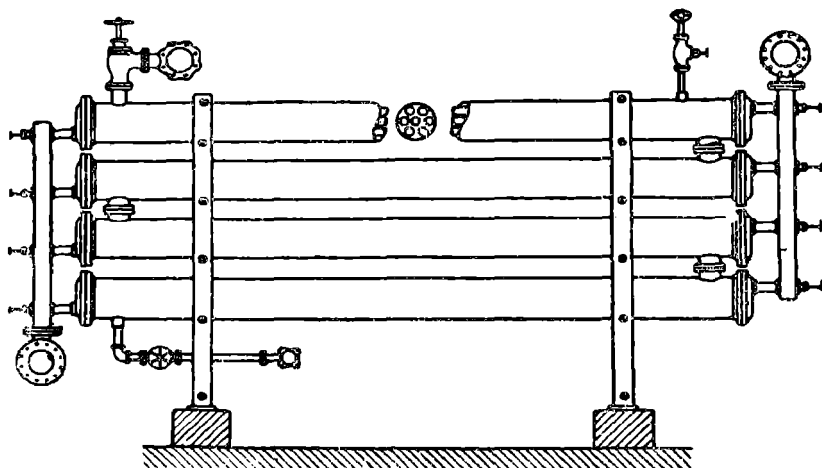
Во избежание этого устраиваются в некоторых трубах конденсатора отводы для жидкого хладагента по мере его образова-



Фиг. 59. Элементный конденсатор с параллельным соединением водных труб внутри элемента.

ния. Такие конденсаторы называются конденсаторами с промежуточными отводами, или промежуточным отбором хладагента.

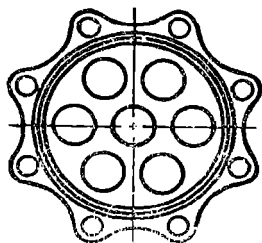
На фиг. 56 показано примерное устройство двойного колена



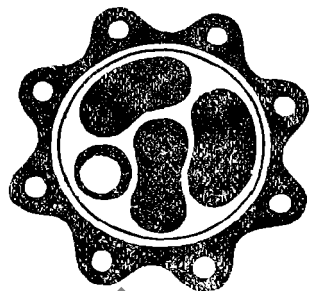
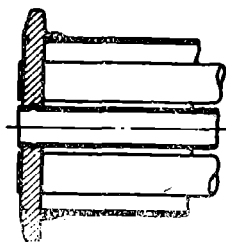
Фиг. 60. Элементный конденсатор с последовательным соединением водяных труб внутри элемента.

с отводом. А на фиг. 57 аналогичное устройство одного американского завода.

Промежуточные отводы для жидкого хладагента устраиваются также в двухтрубных конденсаторах. Фиг. 58 показывает часть двухтрубного конденсатора с промежуточными отводами.



Фиг. 61. Головка элемента конденсатора при параллельном соединении водяных труб внутри элемента.



Фиг. 62. Головка элемента конденсатора при последовательном соединении водяных труб элемента.

6. Элементные или многотрубные конденсаторы.

Мы видели, что двухтрубные противоточные конденсаторы состоят из отдельных элементов, состоящих каждый из внутренней трубы, по которой течет охлаждающая, вода, и из внешней трубы, по которой течет хладагент.

Элементы многотрубных конденсаторов, называемых также элементарными конденсаторами (фиг. 59 и 60), отличаются от элементов двухтрубных конденсаторов тем, что у них в наружной трубе большого диаметра (около 200 мм) помещено несколько труб, обычно семь, меньшего диаметра (около 50 мм), через которые циркулирует охлаждающая вода.

На концах большой трубы элемента (с каждой стороны) имеется особый фланец—головка (фиг. 61) с отверстием для внутренних труб. Головки соседних элементов соединяются между собой посредством двойных колен, как это показано на фиг. 59. Наружные же трубы соединяются между собой через штуцера, как это показано на той же фиг. 59. Вода поступает снизу в первый элемент, течет по всем внутренним трубам первого элемента в одном направлении, переходит во второй элемент и т. д. и выходит наконец через внутренние трубы верхнего элемента. Пары хладагента поступают сверху в большую трубу первого элемента и выходят снизу через большую трубу первого элемента во вторую трубу и т. д. Здесь, как мы видим, осуществлен принцип противотока.

В описанном многотрубном или элементном конденсаторе, как мы уже сказали, вода по внутренним трубам каждого элемента течет в одном направлении; другими словами, водяные трубы включены параллельно. Но можно устроить так, чтобы водяные трубы в каждом элементе были включены в последовательном порядке, т. е. чтобы вода сначала прошла через первую внутреннюю трубу, потом через вторую и т. д. Для этого головка (фланец), насаженная на большую трубу элемента, устраивается по форме, указанной на фиг. 62. На этой фигуре мы видим одно сквозное отверстие для прохода первой водяной трубы элемента и три перекрытых отверстия, каждое для установки двух труб. Первая труба вставлена одним концом в указанное открытое отверстие, второй конец первой трубы должен быть вставлен в перекрытое отверстие головки на противоположном конце элемента. В головке на втором конце она получит сообщение со второй трубой элемента. Вторая труба на своем противоположном конце будет сообщаться с третьей трубой элемента в перекрытом отверстии первой головки. Последняя труба элемента одним концом будет сообщаться с предпоследней трубой элемента в первой головке его. Другим своим концом последняя труба будет установлена в открытом отверстии во второй головке элемента и через перекрывающий головку фланец соединится со сборной трубой, а через последнюю с остальными элементами конденсатора. Таким образом получится конденсатор, изображенный на фиг. 60. В изображенном на этой фигуре конденсаторе вода поступает снизу в распределительную сборную трубу, течет одновременно через все элементы и выходит на другом конце элементов во второй водяной сборник, откуда она удалится сверху. В этой конструкции также осуществлен принцип противотока с той разницей, что все элементы орошаются водой одинаковой температуры в то время, как элементы конденсатора на фиг. 59 орошаются водой разной температуры.

Элементные конденсаторы занимают мало места и обладают большой производительностью (4500 кал/м^2).

7. Трубчато-кожуховый конденсатор.

Трубчато-кожуховый конденсатор (фиг. 63) вертикального типа представляет собой многотрубный конденсатор из одного элемента. Он напоминает собой большой котел, в днища которого вставлены водяные трубы. Вода подается сверху в эти трубы через особые воронки-распределители таким образом, чтобы она стекала по внутренней поверхности стенок этих труб, не заполняя этих труб целиком. Пары хладагента поступают через стенку кожуха на некоторой высоте, поднимаются кверху, ожижаются и текут вниз на дно кожуха, откуда они и отводятся. Трубчато-кожуховые конденсаторы устраиваются также с подачей охлаждающей воды снизу. Но такая подача воды снизу вызывает заполнение труб водой целиком, что представляет собой известный недостаток.

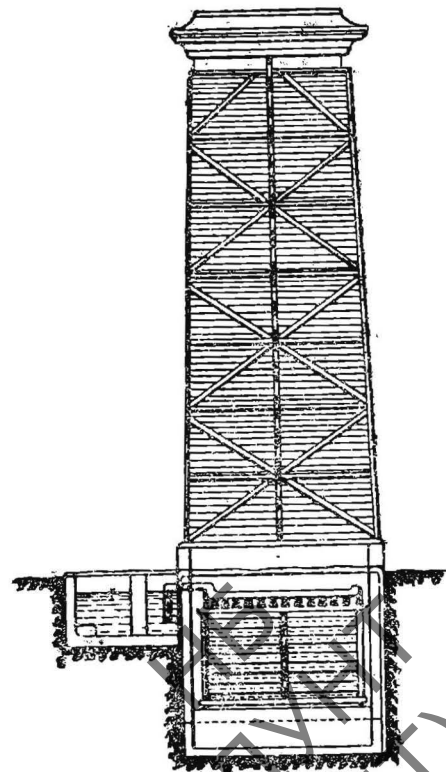
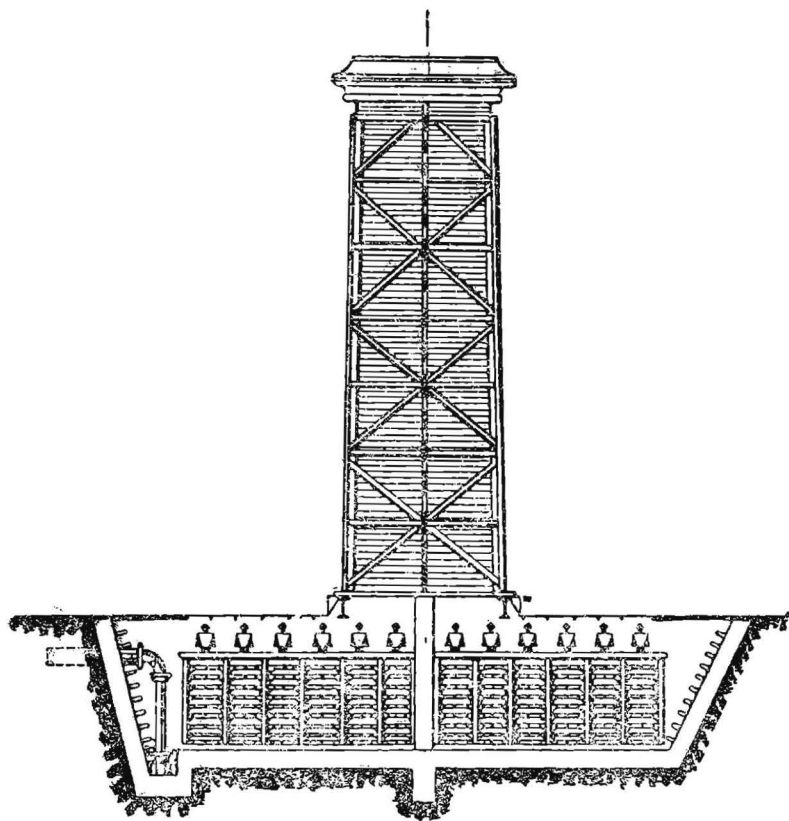
Описанные оросительные конденсаторы с промежуточными отводами для жидкого хладагента, элементные конденсаторы и трубчато-кожуховые конденсаторы относятся к типам интенсивно действующих конденсаторов благодаря их большой производительности.

8. Переохладитель.

Мы выше указали, что в оросительных прямоточных конденсаторах разность температур между охлажденным хладагентом и отходящей водой нельзя опустить ниже $5-7^{\circ}\text{C}$. Для большего охлаждения уже охлажденного в конденсаторе хладагента, в целях получения перед регулирующим вентилем более низкой температуры, нежели температура конденсации, применяют дополнительный аппарат, называемый переохладителем.

Переохладитель представляет собой змеевик, в который стекает охлажденный хладагент. Этот змеевик с наружной стороны охлаждается свежей водой. Если он выполнен в виде круглого змеевика, то его погружают в цилиндрический бак. Отработавшая вода из бака направляется в конденсатор. Чаще всего применяют противоточные переохладители, устроенные совершенно аналогично двухтрубным

Фиг. 63. Вертикальный трубчато-кожуховый конденсатор.



Фиг. 64. Градирня.

конденсаторам. Змеевик переохладителя должен стоять ниже змеевика конденсатора, чтобы жидкость хладагента могла самотеком попасть в переохладитель из конденсатора.

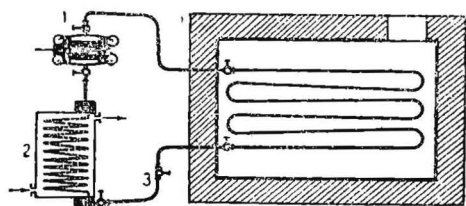
9. Градирня.

В тех случаях, когда приходится экономить охлаждающую воду за ее недостатком или когда она обходится дорого, при конденсаторах устраиваются градирни. Градирня (фиг. 64) представляет собой башенную конструкцию со множеством наклонных деревянных щитков, по которым стекает вода. Отработавшая нагретая вода подается на самый верх башни, распределяется посредством желобов по длине щитков, и, постепенно падая со щитка на щиток, охлаждается благодаря частичному испарению в воздух. Вода собирается внизу под башней в плоский резервуар, откуда она снова идет в употребление. Часто градирню устанавливают над оросительным конденсатором, и вода со щитков градирни течет на трубу конденсатора. На градирню вода подается насосом.

III. ИСПАРИТЕЛЬ ИЛИ РЕФРИЖЕРАТОР.

1. Батареи для непосредственного испарения.

Испаритель, как это было указано во второй главе, есть та



Фиг. 65. Схема охлаждения непосредственным испарением:

- 1—компрессор;
 - 2—конденсатор;
 - 3—регулирующий вентиль;
- змеевик непосредственного испарения, показан схематически в камере).

часть холодильной машины, в которую испаряется хладагент. При этом испарении происходит охлаждение окружающей среды, так как жидкий хладагент для своего испарения требует определенного количества теплоты.

Испарители строятся обыкновенно в зависимости от тех целей, которым они должны служить, т. е. в зависимости от того, что они должны охлаждать.

Если испарители применяются например непосредственно

для охлаждения воздуха в камерах холодильника или в камерах холодильного шкафа (фиг. 65), то они устраиваются в виде трубчатых систем, обычно плоских, располагаемых под потолком и по стенам. При этом они укрепляются при помощи подвесок или стоек. Такой способ охлаждения носит название непосредственного испарения, а змеевики называются батареями для непосредственного испарения.

Батареи для непосредственного испарения изготавливаются обычно из цельнотянутых труб, свариваемых своими концами, причем фасонные и соединительные части применяются по возможности лишь при разного рода встречающихся переходах, ответвлениях и т. п.

Холодоотдача 1 м² гладких труб при непосредственном испарении исчисляется в 30—40 кал/час на 1° разницы температуры. Это означает, что если разница между температурой труб и охлаждаемого воздуха будет 5° Ц, то 1 м² в 1 час сумеет отнять у воздуха 150—200 кал.

2. Рассолы как промежуточные хладагенты в испарителях

Однако способ непосредственного испарения не всегда применим и не всегда удобен, например при искусственном производстве льда. Кроме того способ непосредственного испарения не дает возможности аккумулировать (сделать запас) холода. Поэтому очень часто прибегают к вспомогательному носителю холода. Вспомогательными носителями или передатчиками холода являются водные растворы солей, замерзающие при температуре ниже нуля. Такие растворы называются рассолами. Для рассолов применяют обыкновенную поваренную соль (ее химическая формула будет (NaCl—хлористый натр); хлористый кальций (CaCl₂) и хлористая магнезия (MgCl₂), которые тоже являются солями.

Температура замерзания того или другого рассола зависит от того количества граммов соли, которое будет содержаться в каждом литре раствора, т. е. от насыщения раствора или его концентрации.

При понижении температуры рассола данной концентрации ниже соответствующей этой концентрации максимально допустимой температуры начинается замерзание рассола с выделением из него соли.

Однако для каждого из трех названных видов рассола существует определенная температура с соответствующей ей концентрацией, ниже которой нельзя охлаждать данный рассол без риска превратить массу рассола в сплошной кусок льда. Эта температура носит название криогидратной точки.

Криогидратная точка для поваренной соли будет —21,2° Ц¹; для хлористой магнезии —33,6° Ц, для хлористого кальция —55° Ц.

Для измерения степени концентрации рассолов существуют приборы, называемые ареометрами (фиг. 66). Прибор состоит из стеклянного сосуда наподобие градусника, который погружается почти полностью в воде, но плавает в тяжелых растворах в вертикальном положении. Чем раствор более концентрирован, тем больше ареометр выступает из рассола. Ареометр снабжен шкалой, на которой нанесены деления, называемые градусами. Наиболее распространен ареометр Боме, почему градусы называются градусами Боме и изображаются ° Бе (например 7° Бе—читается семь градусов Боме).

Определенной концентрации или определенному удельному

¹ Вот почему при так называемом способе мокрого замораживания рыбы в скороморозильках нужно следить за тем, чтобы температура в баке, в котором рыба замораживается, не опустилась ниже —21,2° Ц, если не применить запатентованного способа Оттенсона, заключающегося в прибавлении к рассолу глицерина.

весу¹ соответствуют определенное количество градусов Боме и определенная температура замерзания.

В конце книги помещены табл. 7, 9 и 11, в которых указаны удельные веса, соответствующие им °Бе, содержание соли в растворе и соответствующие этим данным температуры замерзания. Этими данными приходится пользоваться при приготовлении рассолов для определенных температур охлаждения.

3. Рассольные испарители со спиральными змеевиками и цилиндрическим баком*

Испарители для охлаждения рассолов устраиваются подобно конденсаторам самым различным образом.

Самым простым типом такого испарителя является цилиндрический бак для рассола с погруженным в нем одним или несколькими испарительными для хладагента змеевиками. Устройство такого испарителя показано на фиг. 67. Этот испаритель напоминает конденсатор, изображенный на фиг. 50 (стр. 83). Но только вход хладагента в змеевики испарителя и выход из них, в отличие от конденсатора, производится через сборники, помещенные на верху испарителя. Подача рассола, как видно на фиг. 67, производится сверху, а выход для него устроен через отвод сбоку нижней части бака.

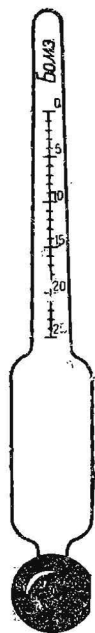
Для перемешивания рассола в целях лучшего использования холодоотдачи устроена мешалка, приводящаяся в движение в испарителе, показанном на фиг. 67, посредством червячной передачи. Охлажденный рассол, в случае охлаждения помещений направляется из испарителя в рассольные батареи, устраиваемые аналогично батареям для центрального водяного отопления. Из рассольных батарей рассол снова подается в бак испарителя.

Холодопроизводительность 1 м² такого типа испарителей исчисляется в 1000—1200 кал/час. Бак испарителя должен быть изолирован снаружи во избежание холодоотдачи в окружающий воздух через лучеиспускание. Самый лучший способ изоляции бака—это пробковые плиты с деревянной обшивкой снаружи.

4. Рассольные испарители с плоскими змеевиками и баком.

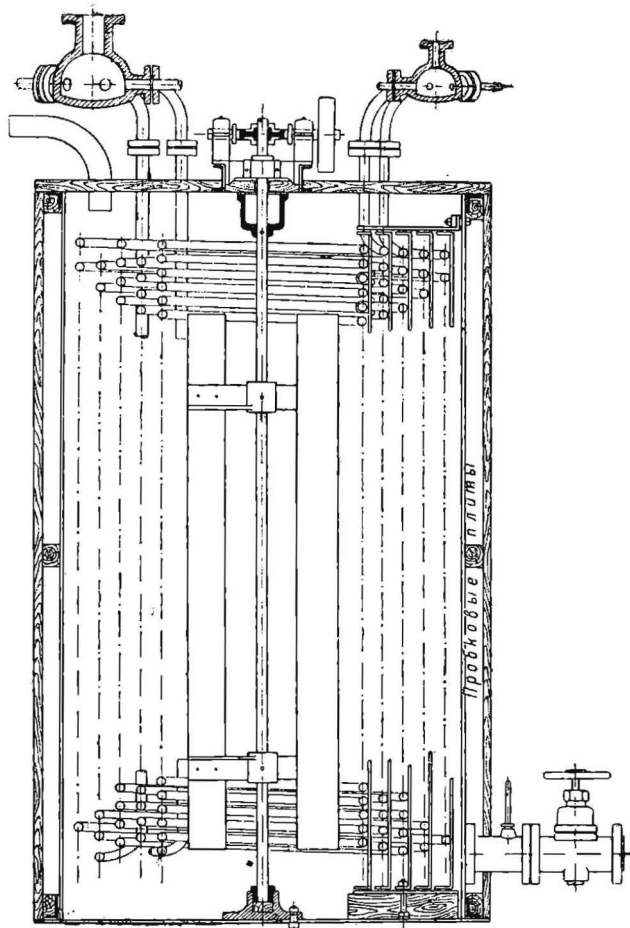
Круглая или спиральная форма змеевиков встречается в больших установках и не является обязательной. Форма и расположение змеевиков испарителя зависят часто от целей, для которых испаритель предназначен.

Для ледогенераторов, представляющих собой испарители, в которых производится замораживание воды в формах, змеевики

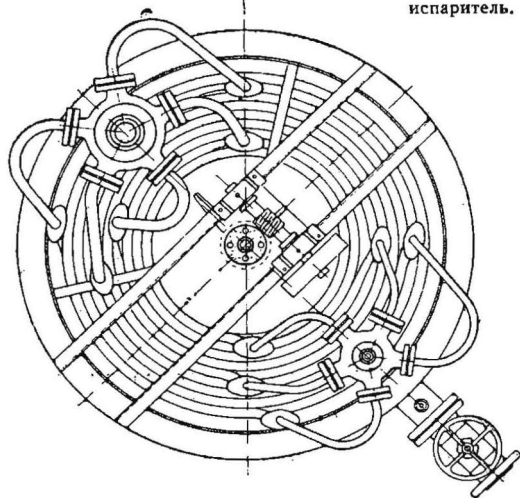


Фиг. 66.
Ареометр
Боме.

¹ Удельный вес раствора — это вес в кг 1 л раствора.

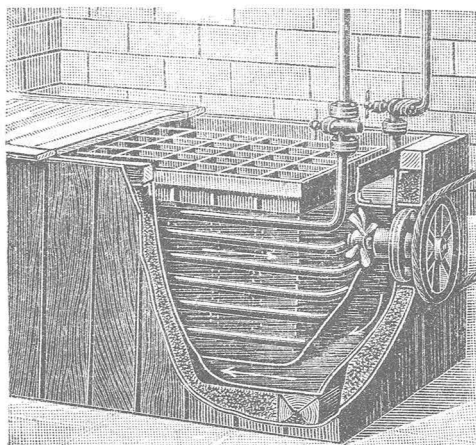


Фиг. 67. Цилиндрический (круглый)
испаритель.



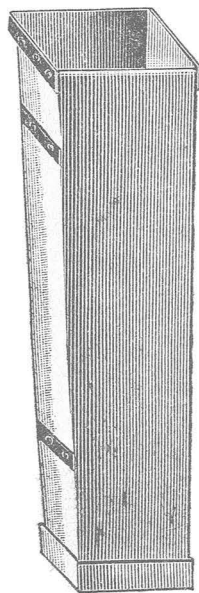
НЕ
УДУНТ
(ДИТ)

изготавливаются в виде секций, аналогичных секциям оросительных конденсаторов. На фиг. 68 представлен снимок части такого ледо-

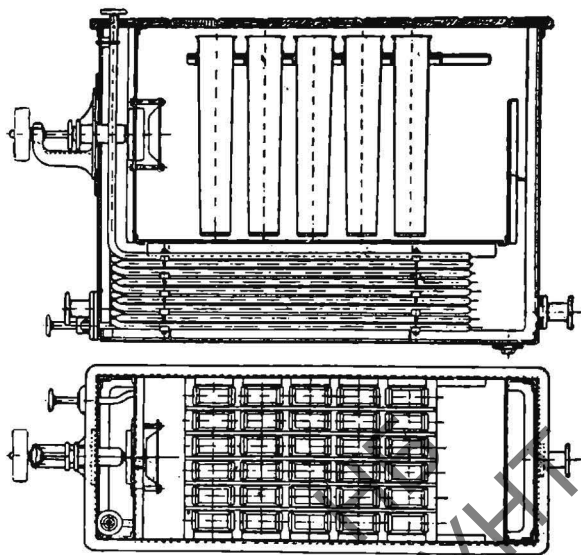


Фиг. 68. Ледогенератор со змеевиком вдоль стен бака.

генератора. Испарительные змеевики, расположенные в баке сбоку, а также мешалки для рассола и формы для льда видны на фигуре через вырез, сделанный в двух смежных стенках бака.



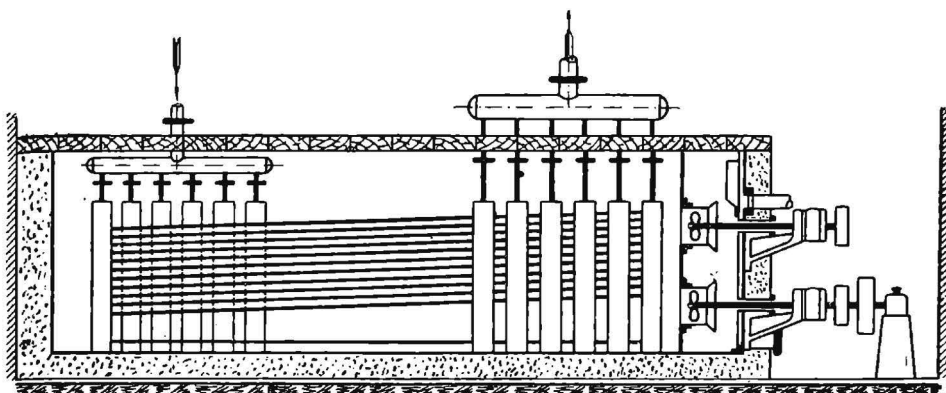
Фиг. 69. Ледовая форма.



Фиг. 70. Ледогенератор со змеевиками на дне бака в плане и вертикальном разрезе.

На фигуре также видны трубы с запорными вентилями, подводящие и отводящие хладагент. Стенки бака, как можно усмотреть из

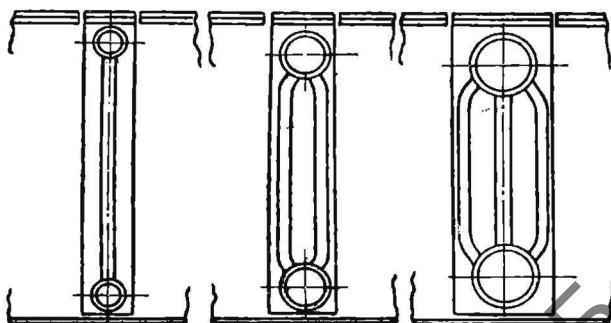
фигуры, изолированы пробковой изоляцией, обшитой сверху досками. Часть бака сверху над формами прикрыта деревянным щитом—также в целях изоляции для предупреждения излишних потерь холода. Вид ледовой формы из оцинкованного железа представлен на фиг. 69. На фиг. 70 представлен ледогенератор с расположением змеевиков на дне бака.



Фиг. 71. Испаритель интенсивного действия с наклонными прямыми трубами.

5. Рассольные двухтрубные испарители.

Подобно двухтрубному конденсатору, испарители строятся также двухтрубными, причем некоторые заводы используют внутренний змеевик для рассола и наружный для хладагента. Другие, наоборот, используют внутренний змеевик для хладагента, а наружный для рассола.



Фиг. 72. Испарители с вертикальными трубами интенсивного действия.

Быстрота, с какой охлаждается рассол, зависит от скорости его прохождения через бак испарителя или через устроенный для него змеевик испарителя, что имеет место в двухтрубном испарителе. Но не только от этого. Холодопроизводительность также будет зависеть от того, с какой скоростью из трубчатой системы, предназначенной для хладагента, будут удаляться обра-

зовавшиеся пары хладагента. Чем короче будет путь, проходимый парами хладагента, чем больше возможности будут для их образования и выделения из охлажденного хладагента, тем холодопроизводительность испарителя на каждый кв. метр испарительной поверхности трубчатой системы будет больше.

6. Рассольные испарители интенсивного действия новейших систем.

В настоящее время строят много типов испарителей интенсивного действия производительностью от 2500 до 4500 *ккал/час* на 1 м² испарительной поверхности.

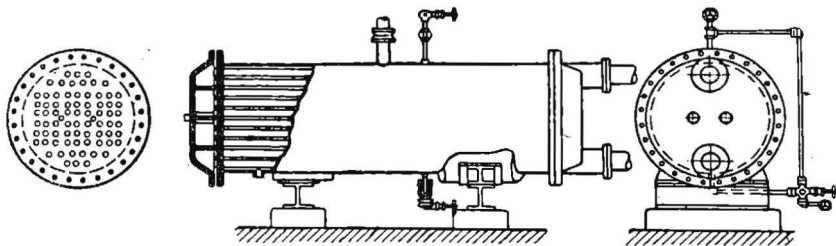
Так называемый прямоточный испаритель строится из отдельных прямых цельнотянутых труб с некоторым наклоном к горизонту. Концы этих труб заварены автогенной или электрической сваркой в вертикально стоящие сборники из цельнотянутых труб большого диаметра.

Такое устройство схематически представлено на фиг. 71. Вся система труб вместе со сборниками устанавливается в баке с рассолом. Хладагент поступает в сборник, к которому направлен уклон труб. Для того чтобы попасть во второй сборник через трубы испарителя, ему нужно совершить путь по подъему. При этом жидкая часть хладагента будет все время стекать вниз по трубам, а образовавшиеся пары по свойственному газам закону будут подниматься по трубам кверху, постоянно освобождая внутреннюю поверхность труб для следующей порции хладагента.

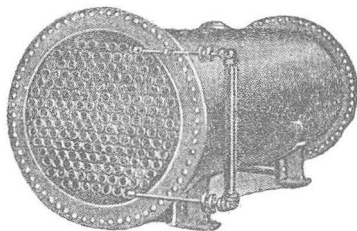
Другие способы конструкции, аналогичные описанному, представлены на фиг. 72. Как мы видим из этой фигуры, цилиндрические сборники (барабаны) расположены горизонтально, причем в одном случае они соединены одним рядом вертикальных коротких труб, во втором случае двумя рядами вертикальных труб; в третьем—тремя рядами вертикальных труб (фиг. 72). Концы труб вварены в сборники. Во втором и третьем случае трубы боковых рядов несколько загнуты на своих концах для большего удобства конструкции. При таком расположении сборников и труб, напоминающих водотрубный котел с изогнутыми трубами, процесс кипения хладагента происходит очень быстро, с большим и быстрым поглощением теплоты из окружающего всю систему рассола, служащего (продолжая сравнение с паровым водотрубным котлом) «топливом» для парообразования хладагента.

В Америке распространен тип испарителя трубчато-кожуховой системы. Он строится совершенно аналогично трубчато-кожуховому конденсатору и применяется на крупных установках. На фиг. 73 изображен такой испаритель. Он состоит из горизонтального цилиндрического котла, в крышках которого вальцеванием заделаны концы труб. Рассол течет по этим трубам, хладагент же поступает в котел-кожух испарителя. В этом испарителе рассол одновременно течет по всем трубам в одном направлении. Такую конструкцию испарителя принято называть трубчато-кожуховым однопроходным испарителем (с однооборотным проходом для рассола). Но как и в элементарных конденсаторах испарители трубчато-кожуховой системы устраиваются и с несколькими проходами для рассола. Для осуществле-

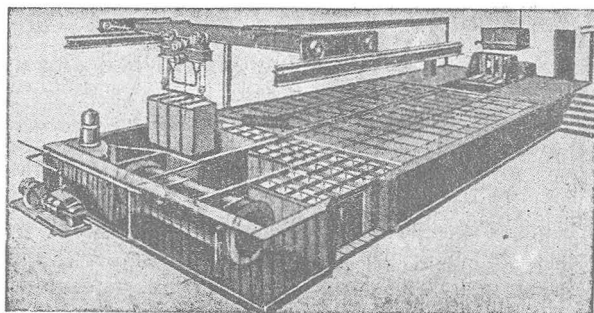
ния этого принципа трубы разделены на несколько групп и к фланцам котла присоединяются крышки, разделенные внутри на



Фиг. 74. Трубчато-кожуховый испаритель с групповым последовательным соединением рассольных труб (многопроходный).

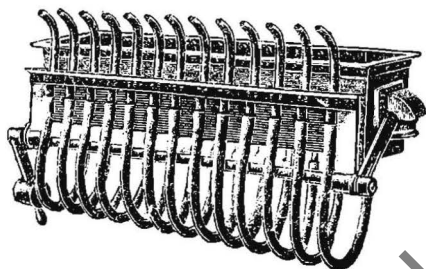


Фиг. 73. Трубчато-кожуховый испаритель с параллельным соединением рассольных труб (однопроходный).



Фиг. 75. Ледогенератор с однопроходным трубчато-кожуховым испарителем.

несколько коробок (фиг. 74). Каждая коробка сообщается с концами труб одной группы, причем коробки соответствующим об-



Фиг. 76. Аппарат для наполнения ледовых форм.



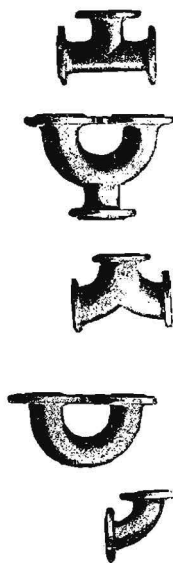
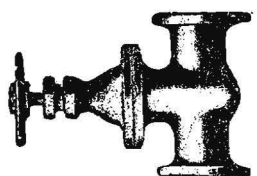
Фиг. 77. Отбортованная труба с фланцами.

разом соединены между собой, образуя 10—12 оборотов для циркулирующего рассола.

Рассол прогоняется через трубы трубчато-кожуховых испарителей посредством насоса.

На фиг. 75 изображен американский ледогенератор. С левой стороны в баке ледогенератора виден трубчато-кожуховый однопроходный испаритель (с однооборотным проходом для рассола). Над баком на этой фигуре виден подъемный кран с тележкой с поднятыми формами, сидящими в раме. Формы с замороженными в них кусками льда извлекаются из ледогенератора, направляются к баку для оттаивания форм, который виден позади ледогенератора в перспективе. В баке для оттаивания форм находится теплая вода.

Для наполнения форм водой применяются аппараты, аналогичные изображенному на фиг. 76, дающие возможность одновременно наполнить все формы, закрепленные в одной раме.



Фиг. 78. Соединительные части для трубопроводов.

7. Рассольные батареи.

При применении рассола в качестве передатчика холода для охлаждения помещений устраивают змеевик (батареи) из труб или как принято говорить, рассольные системы, подвешиваемые к потолкам или устанавливаемые у стен холодильных камер. Для рассольных систем обычно применяются гладкие трубы, на которые свободно надеваются фланцы и потом края труб отгибаются кнаружи, отбортовываются, почему такие трубы называются отбортованными. На фиг. 77 представлена такая отбортованная труба с подвижными фланцами. Такие трубы соединяются — смотря по надобности — посредством фасонных частей: калачей, отводов (колен), тройников, крестовин. Системы отделяются от главных линий — магистралей — посредством клапанов (задвижек). На фиг. 78 представлены разные фасонные части, а на фиг. 79 показано, как из таких частей с трубами можно составить разные переходы.

Для батарей обычно применяются трубы с внутренним диаметром 51 мм при толщине стенки в 3 мм. Расстояние между осями труб равно 130—150 мм.

Один пог. м таких труб имеет охлаждающую поверхность, равную 0,169 м². На 1 м² охлаждающей поверхности требуется таким образом около 6 пог. м труб.

Холодоотдача 1 м² таких труб в 1 час на 1° Ц разности температуры исчисляется в 20—25 ккал. При разности температуры между рассолом и воздухом в 7° Ц это составит 140—175 ккал/час на 1 м².

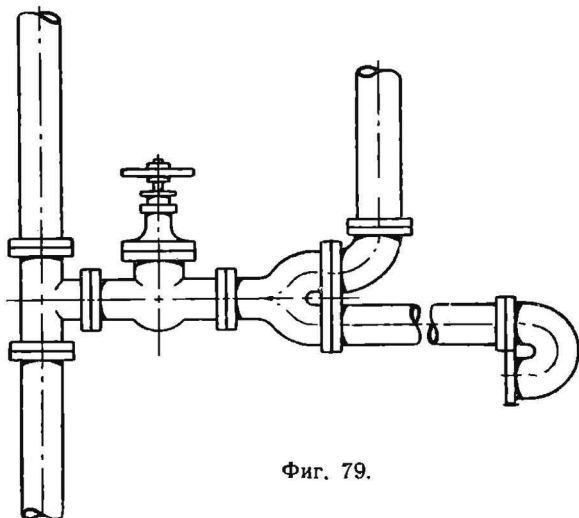
Между фланцами труб и соединительных частей при сборке батарей устанавливается уплотняющая прокладка.

Для магистралей и ответвлений диаметр труб должен быть рассчитан в соответствии с количеством систем, присоединенных к ним, причем скорость течения рассола не должна превышать $0,4 \text{ м/сек}$, а в магистральных скоростях допускается от 1—до $1,5 \text{ м/сек}$.

Для удаления воздуха из рассольных систем необходимо устанавливать на самых высоких пунктах систем и магистралей небольшие краны.

Пример 17. Расчет количества отбортованных труб для охлаждения помещений.

Пусть имеем рассол при температуре -4° Ц . Для поддержания температуры в $+2^{\circ} \text{ Ц}$ в каком-либо помещении требуется 3600 кал/час . Сколько погонных метров рассоль-



Фиг. 79.

ных батарей из труб диаметром $51/57 \text{ мм}$ надо установить в этой камере?

Разность температур между рассолом и воздухом будет $4 + 2 = 6^{\circ} \text{ Ц}$.

1 м^2 отбортованных труб при разности в 1° , как мы видели выше, передает 20 кал/час ; следовательно при разности в 6° Ц холодоотдача 1 м^2 труб составит $20 \cdot 6 = 120 \text{ кал/час}$.

Для передачи 3600 кал/час потребуется:

$$3600 : 120 = 30 \text{ м}^2.$$

Так как на 1 м^2 требуется 6 пог. м труб указанного диаметра, то 30 м^2 составят:

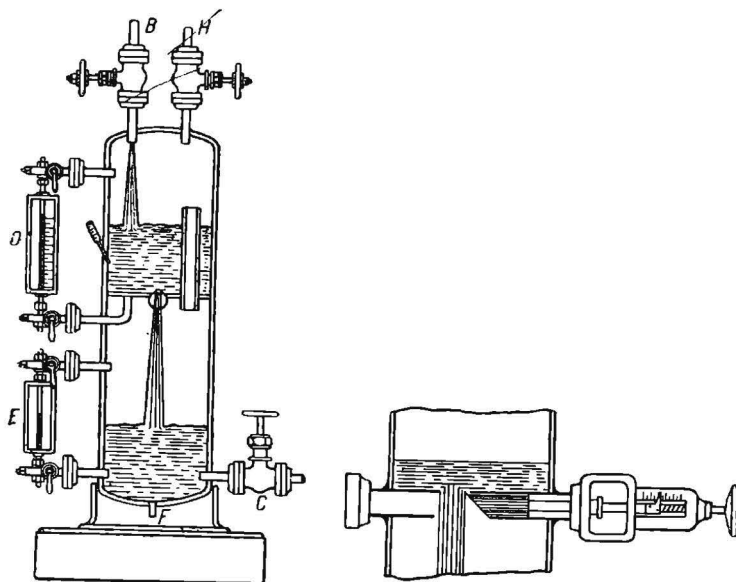
$$6 \cdot 30 = 180 \text{ пог. м труб.}$$

8. Перегреватель или отделитель жидкости.

Для выделения жидких частиц хладагента из засасываемых компрессором паров его, т. е. для получения так называемого сухого хода компрессора, во всасывающем трубопроводе между компрессором и испарителем устанавливается аппарат, называемый отделителем жидкости или перегревателем. Отделитель жидкости по своему устройству сходен с маслоотделителем. Выделенная из паров хладагента жидкость направляется обратно в испаритель посредством насоса или инжекторного устройства, а при расположении отделителя жидкости выше испарителя жидкий хладагент может поступить обратно в испаритель под влиянием собственного веса.

9. Контроллер мощности холодильной машины.

Как мы видели выше, подача хладагента из конденсатора в испаритель производится через регулирующий ventиль. Регули-



Фиг. 80. Контроллер Глесселя.

ровка производится вручную. Работающая холодильная машина находится в равновесии, если вес хладагента, поступающего в испаритель, равен весу паров хладагента, засасываемых компрессором.

Для возможности точной установки регулирующего ventилья был изобретен аппарат, называемый контроллером Глесселя по имени его автора.

Аппарат этот состоит из стального цилиндрического сосуда (фиг. 80), соединяемого в верхней части через ventиль В с конденсатором и через ventиль С в нижней части—с трубой,

ведущей к регулирующему вентилю. Цилиндр разделен, как видно из фигуры, внутренней переборкой с маленьким расходящимся отверстием, называемым отверстием Понселе. В верхней и нижней половинах цилиндра установлены указатели уровня. Кроме того верхняя и нижняя части цилиндра соединены трубкой, открытой с обоих концов с тем, чтобы жидкий хладагент мог перелиться из верхней части в нижнюю часть цилиндра, если уровень хладагента перейдет за верхний край указанной трубки. Указатели уровня обеих половин цилиндра могут быть отделены краниками, видными на фиг. 80. Для уравнивания давления в контроллере Глесселя в целях получения равномерного притока жидкости в верхней половине цилиндра имеется вентиль *H*, ведущий к трубе, соединяющей аппарат с паровым пространством в конденсаторе.

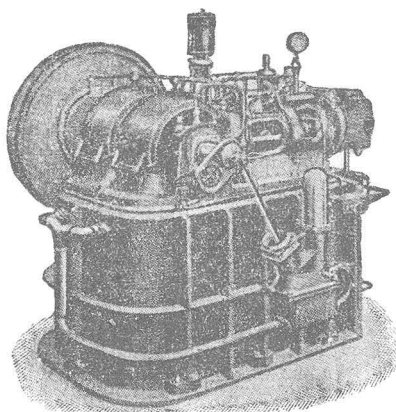
Действие аппарата следующее.

Жидкий хладагент поступает через вентиль *B* в верхнюю часть цилиндра. Через отверстие Понселе он поступает в нижнюю часть цилиндра. По указателям уровня можно установить количество поступившей и находящейся в аппарате жидкости.

Если регулирующий вентиль открыт слишком много, то уровень жидкости в нижней части цилиндра понижается сверх нормального. Наоборот, если регулирующий вентиль открыт слишком мало, то уровень жидкого хладагента в нижней части аппарата подымется сверх нормального.

На основании состояния уровня жидкости в нижней части аппарата можно произвести точную установку регулирующего вентиля для получения необходимой холодопроизводительности машины.

При помощи аппарата Глесселя можно точно установить количество циркулирующего в системе хладагента и установить холодопроизводительность машины, если при этом измерить температуры испарителя, конденсации и переохлаждения.



Фиг. 81. Судовая холодильная машина.

10. Холодильные машины небольшой производительности.

Холодильные машины небольшой мощности для установок в столовых, магазинах и т. п. строятся по возможности наиболее компактно. То же требование предъявляется к холодильным установкам на судах.

В этих случаях часто комбинируют так, что компрессор вместе с двигателем устанавливается на конденсаторе или каким-нибудь другим образом.

На фиг. 81 представлена судовая холодильная машина углекислотной системы. Здесь компрессор установлен вместе с паровой машиной на конденсаторе.

Во избежание необходимости непрерывного ухода за холодильными машинами небольшой мощности их устраивают с автоматической регулировкой подачи хладагента через регулирующий вентиль и с выключением электромотора в необходимых случаях.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой компрессор?
2. Какие типы компрессоров вы знаете?
3. Какая разница между вильчатой и байонетной рамой?
4. Чем отличаются друг от друга всасывающий и нагнетательный клапаны шпиндельного типа?
5. Чем уплотняется поршень цитиндра?
6. Чем отличаются пластинчатые клапаны от шпиндельных клапанов?
7. Чем и как уплотняется шток поршня компрессора?
8. В чем заключается действие предохранительного клапана холодильной машины?
9. Какие устройства для регулирования холодопроизводительности холодильной машины существуют?
10. Чем отличаются вертикальные компрессоры прямооточного одинарного действия от компрессоров одинарного действия непрямоточных?
11. В чем заключается роль маслоотделителя холодильной машины?
12. В чем заключается роль возвратного клапана холодильной машины, и где он устанавливается?
13. В чем заключается роль грязеуловителя, и где он устанавливается?
14. Какие шкалы нанесены на циферблатах манометров холодильных машин, и что они показывают?
15. Чем и как снимать индикаторную диаграмму компрессора?
16. Какую роль играет регулирующий вентиль холодильной машины?
17. Какую роль играют запорные вентили?
18. Какие типы конденсаторов вы знаете?
19. Чем отличается погружной конденсатор от оросительного?
20. Чем отличается блок-конденсатор от обычного оросительного конденсатора?
21. Сколько литров воды расходуется на 1 м^3 оросительного конденсатора в 1 мин.?
22. Как устроен двухтрубный противоточный конденсатор?
23. Как устроены элементные многотрубные конденсаторы?
24. Как устроен трубчато-кожуховый конденсатор?
25. Какую роль играют переохладители, и где они устанавливаются?
26. В каких случаях и для чего устраиваются градирни?
27. Какая разница между рассольным охлаждением и непосредственным охлаждением?
28. Какие рассолы каких солей применяются на холодильных установках?
29. Каким прибором измеряется концентрация рассолов?
30. Какие типы испарителей вы знаете?
31. Какую роль играет отделитель жидкости?
32. Как устраиваются рассольные батареи?

ЗАДАЧИ

№ 21. Для охлаждения камеры до -5°C требуется 5000 кал/час . Температура рассола равна -10°C . Сколько погонных метров рассольных труб диаметром 51/57 потребуется, если принять холодоотдачу 1 м^2 на 1°C , равный 25 кал/час ?

№ 22. Сколько погонных метров труб диаметром 34/42 мм потребуется для испарителя ледогенератора, расходующего 52000 кал/час , если принять производительность 1 м^2 в час равной 1000 кал .

ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛИ И АППАРАТЫ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ.

1. Области применения холодильной техники.

Холодильная техника нашла самое широкое применение во многих областях народного хозяйства и промышленности. На первом месте стоит пищевая промышленность: мясная, рыбная, молочное хозяйство и маслоделие, пивоваренная и др. За пищевой промышленностью следует химическая, где искусственное охлаждение является необходимым звеном ряда технологических процессов, например при ожигении некоторых паров или газов, при рафинировании смазочных масел, при выделении кристаллов из растворов и т. п. Металлургия прибегает к искусственному охлаждению для осушки воздуха, подаваемого в доменные печи в целях улучшения процесса плавки железа.

В горном деле холод применяется при прохождении шахт через обильные водой слои. Резиновая, текстильная, табачная промышленности, медицина, цветоводство, шелководство в той или другой степени прибегают к помощи искусственного охлаждения для тех или других целей. При этом в каждой области применения искусственного охлаждения, кроме основных машин, описанных нами в третьей главе, встречаются побочные аппараты или видоизмененные конструкции систем, служащих проводниками холода. Но какую область применения холодильной техники мы бы ни взяли—всюду мы имеем дело с охлаждением воздуха, жидкостей или газов.

2. Воздушное охлаждение.

Воздушное охлаждение в широком масштабе находит свое применение в пищевой промышленности, в особенности при хранении продуктов питания. Воздушное охлаждение также применяется для освежения и охлаждения воздуха в местах общественных собраний: театрах, кино и т. п.

Мы остановимся здесь на описании некоторых устройств для воздушного охлаждения, применяемых по преимуществу на холодных складах, называемых обычно для краткости холодильниками.

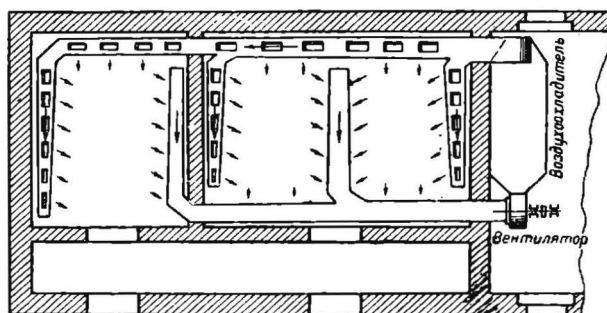
В третьей главе мы уже упомянули, что охлаждение воздуха может быть произведено при помощи батарей непосредственного испарения или при помощи рассольных батарей. При этом мы не касались вопроса о влажности воздуха, не приняли во внимание того, что произойдет с влагой, когда мы воздух охладим. Между тем последнее обстоятельство должно быть учтено при охлаждении воздуха в холодильниках. Продукты питания для их сохранности, для предупреждения их разложения и образования плесени, требуют не только холодного воздуха, но воздуха с определенным содержанием влаги. При этом наиболее благоприятная температура воздуха и степень влажности его бывает у разных продуктов различная: более высокая температура может вызвать разложе-

ние; большая степень влажности может вызвать плесень; меньшая степень влажности вызывает усушку продуктов.

3. Воздухоохладители.

Устройства для охлаждения воздуха с установлением определенного режима его в отношении влажности или, как принято говорить, для кондиционирования воздуха, носят название воздухоохладителей.

Воздухоохладители представляют собой аппараты, при помощи которых производится охлаждение и осушение воздуха. Охлажденный и осушенный воздух через нагнетательные каналы подводится посредством вентиляторов, составляющих неотъемлемую часть воздухоохладителя, в помещения, подлежащие охлаждению и осушению, откуда тем же вентилятором высасывается через всасывающие каналы подогретый воздух. Для распределения воздуха, поступающего из воздухоохладителя, по камерам холодильника, в нагнетательном канале делаются соответствующие отверстия, которые можно открывать и закрывать задвижками (шиберами). Воздушные каналы, как нагнетательные, так и всасы-



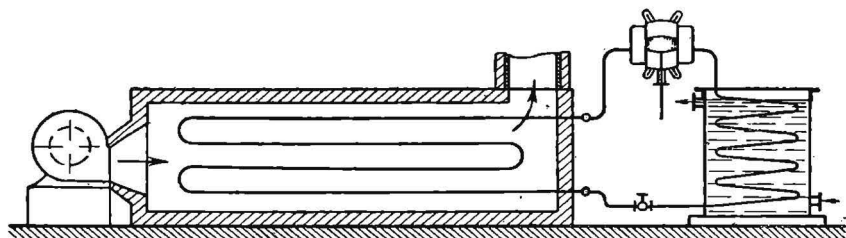
Фиг. 82. Схема расположения воздушных каналов в камерах холодильника.

вающие, располагаются в камерах у стен под потолком, а в больших камерах на расстоянии 5—8 м друг от друга. Нагнетательные и всасывающие воздушные каналы идут параллельно, чередуясь, причем нагнетательные каналы устраиваются несколько ниже всасывающих. Холодный воздух, как более тяжелый, опускается вниз, а более теплый воздух поднимается к самому верху камер, где он и засасывается.

Воздушные каналы во избежание осадков влаги на их стенках делаются из сухих сосновых или еловых досок без сучков. Эти деревянные трубы должны быть тщательно изготовлены без щелей, покрыты олифой или покрашены для предохранения досок от гниения. Сами воздухоохладители представляют собой замкнутую узкую изолированную камеру небольших размеров, в которой устанавливаются охлаждающие системы: змеевики для непосредственного испарения хладагента или для рассола. В одном конце указанной камеры устанавливается винтовой крыльчатый или центробежный вентилятор в зависимости от сопротивления воздуха.

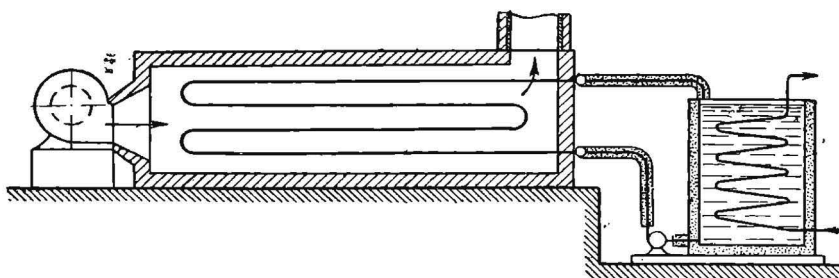
На фиг. 82 схематически представлено расположение воздухоохладителя с вентилятором, всасывающего, нагнетательного и воздушных каналов в камере холодильника, а на фиг. 83 и 84 изображены схемы воздухоохладителей с непосредственным испарением и рассольными змеевиками.

Действие воздухоохладителей заключается в следующем: засасываемый вентилятором из камер воздух определенной температуры с определенной относительной влажностью (глава первая, § 13), попадая в камеру воздухоохладителя, в которой держится более низкая, нежели в камерах холодильника, температура, охлаждается от соприкосновения с трубчатыми холодильными системами.



Фиг. 83. Схема воздухоохладителя с непосредственным испарением.

При охлаждении водяные пары, содержащиеся во всасанном воздухе, выделяют из себя излишек влаги сверх количества, потребного для насыщения пространства камеры воздухоохладителя. Излишек влаги оседает на трубы и частью стекает в поддоны, поставленные под змеевики, частью замерзает на трубах змеевиков.



Фиг. 84. Схема воздухоохладителя с рассольными змеевиками.

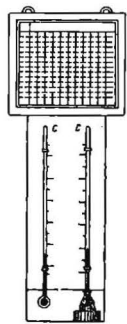
Вследствие образования инея и льда на змеевиках их холодопередача уменьшается, почему приходится время от времени дать образовавшемуся на змеевиках льду растаять. Оттаивание производится подогретым воздухом при наличии возможности установить отопительную батарею. Удаление инея в воздухоохладителях с непосредственным испарением хладагента можно также произвести, если переключить змеевики испарителя на нагнетательный трубопровод компрессора. Змеевики тогда будут служить в качестве части конденсатора, где температура выше нуля, вследствие чего иней растает.

Но обычно очистка змеевиков воздухоохладителей от инея там, где нет других приспособлений, производится особыми скребками вручную, как это делается при очистке змеевиков в камерах холодильника.

4. Приборы для измерения степени влажности.

Для измерения степени влажности воздуха, т. е. для измерения относительной влажности его, кроме гигрометров, существуют особые приборы, называемые психрометрами.

Психрометр (фиг. 85) состоит из двух термометров Цельсия. Ртутный шарик одного из них покрыт кусочком намоченной водой ткани. Благодаря испарению воды из ткани происходит известное охлаждение шарика термометра. По этой причине термометр будет показывать более низкую температуру, чем второй термометр. Так как степень испарения воды из ткани зависит от влажности воздуха, то при изучении этого явления были составлены особые таблицы, показывающие степень влажности воздуха в долях его насыщенного состояния (степень насыщения воздуха при данной температуре принята за единицу. Разность показаний обоих термометров называемая психрометрической разностью, служит таким образом лучшим показателем относительной влажности воздуха.



Фиг. 85.
Психрометр.

В конце книги мы даем табл. 5, показывающую вес воздуха и содержание влаги в нем при температурах от -25° до $+50^{\circ}$ и табл. 6, показывающую степень влажности при соответствующих психрометрических разностях.

Пользоваться таблицами надо следующим образом. Пусть температура, отсчитанная на сухом термометре, будет 5° , а на мокром термометре психрометра 3° . Психрометрическая разность будет $5 - 3 = 2^{\circ}$. В табл. 6 против температуры $+5$, в столбце, над которым написано 2° , находим число 72. Это число показывает степень влажности воздуха—относительную влажность, выраженную в процентах. В табл. же 5 против $+5^{\circ}$ в столбце «содержание влаги» на 1 м^3 находим 6,82 г. Умножая: $6,82 \cdot 0,72 = 4,91 \text{ г}$, мы узнаем количество граммов воды, которое содержится в 1 м^3 воздуха при температуре $+5^{\circ}$ и относительной влажности в 72%.

Заметим, что самый способ расчета, примененный нами здесь, мы уже встретили в первой главе в примере 9.

Кроме психрометра имеется прибор, называемый полиметр (фиг. 86), на котором можно отсчитать как температуру воздуха, так и относительную влажность в процентах.

5. Мокрые воздухоохладители.

Описанные воздухоохладители носят название сухих воздухоохладителей, так как охлаждаемый воздух приходит в соприкосновение только с трубчатыми системами, в отличие от

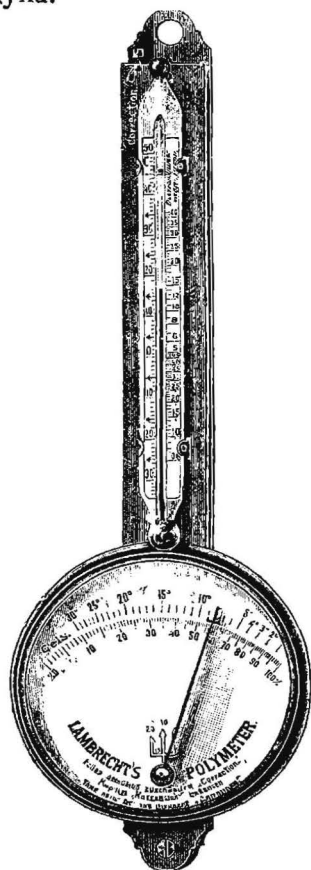
так называемых мокрых воздухоохладителей, где воздух приводится в непосредственное соприкосновение с рассолом.

В мокрых воздухоохладителях, устраиваемых также в отдельных замкнутых камерах, вентилятор прогоняет засасываемый воздух через искусственно устроенный дождь из рассола или между вращающимися или стационарными поверхностями, орошаемыми рассолом. Эти устройства в зависимости от конструкции нуждаются в напоре для подачи рассола. Для предупреждения уноса воздухом брызг от рассола приходится устраивать фильтры в виде жалюзи, служащие осушителями воздуха.

На фиг. 87 представлена схема устройства мокрого воздухоохладителя с испарительным змеевиком, орошаемым рассолом. С левой стороны показан вентилятор, а с правой, внизу — насос, подающий рассол на распределительное приспособление над испарительным змеевиком. Рассол собирается в металлический поддон, помещенный под змеевиком.

На фиг. 88 схематически изображено устройство так называемого каскадного воздухоохладителя. В этом воздухоохладителе, как видно из фиг. 88, рассол подается насосом, изображенным с правой стороны от рефрижератора, на верхние площадки: площадки расположены в виде ступенек. Здесь рассол падает с площадки на площадку наподобие водопада, почему воздухоохладитель и назван каскадным. Под каскадами помещается поддон, из которого отработавший рассол из воздухоохладителя поступает обратно в рефрижератор.

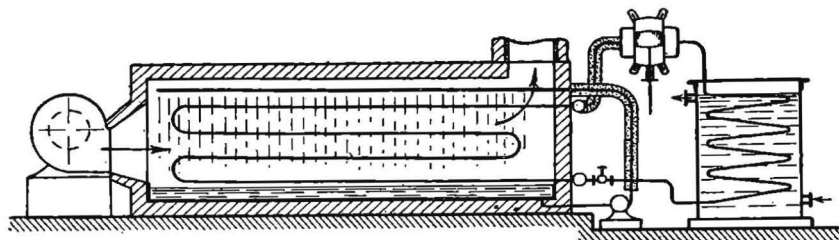
В последнее время за границей и на наших холодильных установках нашел распространение воздухоохладитель системы Рашига. Этот воздухоохладитель по своему устройству весьма простой. Он представляет собой железный бак (фиг. 89) с двумя продырявленными горизонтальными переборками. На переборки насыпаются небольшие фарфоровые кольца обычно внутреннего диаметра 25 мм, толщиной стенки 5 мм при высоте в 25 мм. Над кольцами Рашига, насыщенными в соответствующем количестве на нижнюю переборку, устраивают подающие рассол продырявленные трубы. Вентилятор подает воздух между дном бака и нижней переборкой. Воздух, проходя через слой колец навстречу рассолу, сильно охлаждается благодаря большой поверхности, образуемой массой колец (1 м^3 колец содержит около 55 000 штук образующих поверхность в 220 м^2). Для осушки воздуха его заставляют пройти через отверстия второй установленной у выхода из воздухо-



Фиг. 86. Полиметр.

охладителя переработки, на которой находится слой сухих таких же колец или колец меньшего размера.

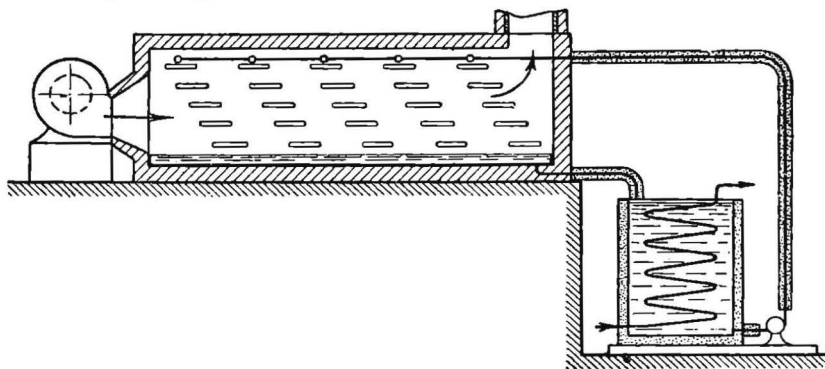
В воздухоохладителях, предназначенных для охлаждения воздуха, в общественных местах: театрах, кино и т. п., рассол заменен водой. Охлажденная до $+5^{\circ}$ вода распределяется дождем в воздухоохладителе, и вентилятор прогоняет воздух через этот водяной дождь, которому воздух отдает часть своей теплоты, повышая



Фиг. 87. Схема воздухоохладителя (мокрого) непосредственного испарения с рассольным орошением.

температуру воды на 3° Ц. При этом происходит выделение пыли из воздуха.

Часто при кондиционировании воздуха, т. е. при поддержании определенной температуры и влажности воздуха в жилищах, конторах и общественных местах, применяются для разбрызгивания воды в воздухоохладителях особые разбрызгивательные сопла наподобие спринклеров.



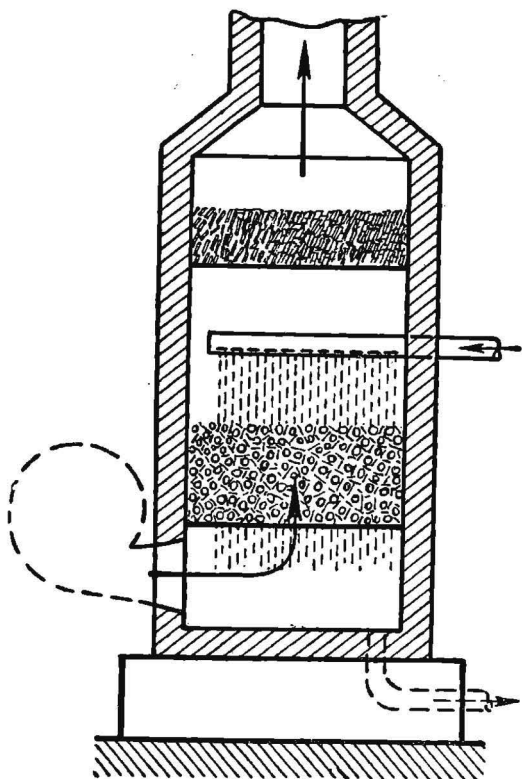
Фиг. 88. Схема каскадного воздухоохладителя.

На фиг. 90 представлено такое сопло в собранном и разобранном виде, а на фиг. 91 представлен ряд таких разбрызгивателей, присоединенных к трубам, подводящим воду к соплам. Охлажденный воздух потом осушается при прохождении через особые приспособления—фильтры. Такой метод разбрызгивания рассола в воздухоохладителях применяется также на холодильниках.

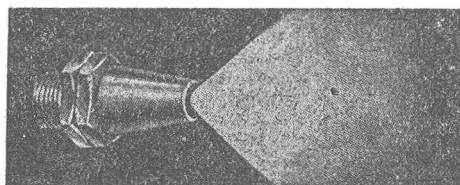
Во всех случаях охлаждения воздуха в помещениях часть отработавшего воздуха, в целях вентиляции, время от времени удаляется, причем его заменяют свежим наружным воздухом. При

этом свежий воздух сначала пропускают через воздухоохладитель, смешивая его с охлажденным воздухом из помещений.

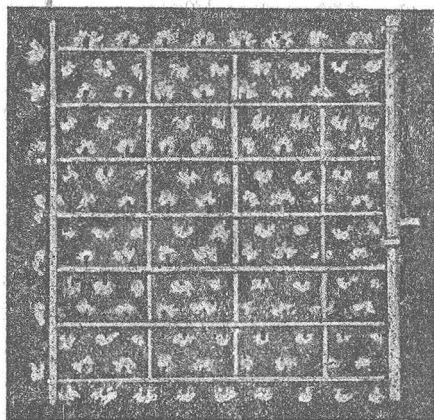
Следует заметить, что в холодильниках применяется смешанная система охлаждения воздуха: большая часть охлаждения производится трубчатыми системами (непосредственного испарения или рассольными), устанавливаемыми в самих камерах холодильника, и лишь меньшая—воздухоохладителями. Установление соотношения зависит от характера охлаждаемых продуктов.



Фиг. 89. Схема воздухоохладителя с кольцами Рашига.



Фиг. 90. Разбрызгивательное сопло с деталями.



Фиг. 91. Завеса с разбрызгивательными соплами.

6. Аппаратура для охлаждения жидкостей.

Аппаратура для охлаждения жидкостей в разных производствах: пивоваренном деле, молочном хозяйстве, многих химических производствах строится самым различным образом. Конструкция аппаратов зависит от свойств жидкостей, от процессов производства и разных особых условий прохождения процессов.

Самый простой случай охлаждения жидкостей, не применяемых в пищу и не боящихся загрязнений,—это применение их

вместо рассола в баках испарителей. Для охлаждения жидкостей, применяемых в пищу, например молока, пива, применяют особые оросительные аппараты из змеевиков, в которых циркулирует хладагент, рассол или охлажденная вода, сама же жидкость охлаждается при орошении ею поверхности этих змеевиков.

На фиг. 92 представлен аппарат, состоящий из круглого змеевика непосредственного испарения с поддоном. Сверху змеевик орошается охлаждаемой жидкостью, собирается в круглый поддон, откуда он стекает. Такой аппарат применяется для охлаждения молока, пива.

На фиг. 93 представлены рядом два аппарата для охлаждения сусла. Каждый из аппаратов состоит из двух змеевиков. Через верхний змеевик протекает холодная вода, подаваемая непосредственно из колодца, а через нижний—охлажденная искусственным способом более холодная нежели в колодце вода. Сусло подается на верхний змеевик и по орошении верхнего змеевика поступает на нижний змеевик. Такой способ охлаждения называется двухступенчатым. Этого вида аппараты встречаются также в молочных хозяйствах для быстрого охлаждения больших количеств молока.

Иногда устраивают аналогичные аппараты с тремя ступенями охлаждения, т. е. тремя змеевиками; два для холодной воды (колодезной и искусственно охлажденной) и один для циркуляции рассола или хладагента.

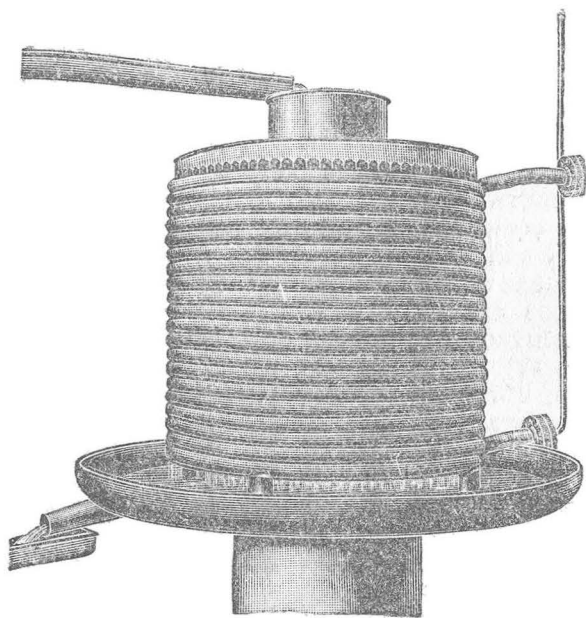
В тех случаях, когда охлажденная жидкость не должна притти в соприкосновение с воздухом или когда она находится под давлением и под этим давлением должна быть охлаждена и направлена из одного сосуда в другой, охладители жидкости строятся наподобие элементов двухтрубных конденсаторов. При этой конструкции один из змеевиков аппарата служит для циркуляции рассола или хладагента, а другой—для циркуляции охлаждаемой жидкости. На фиг. 94 представлен вид такого аппарата, применяемого для охлаждения пива.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

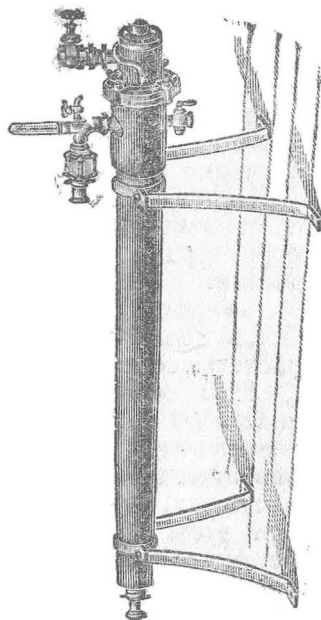
1. В каких областях народного хозяйства применяется холодильная техника?
2. Какой способ охлаждения применяется при кондиционировании воздуха?
3. Какие типы воздухоохладителей вы знаете?
4. Чем отличаются сухие воздухоохладители от мокрых?
5. Какую роль играет вентилятор в воздухоохладителях и где он устанавливается?
6. Какие приборы для измерения степени влажности воздуха вы знаете?
7. Какие конструктивные формы имеют аппараты для охлаждения жидкостей, не боящихся загрязнений?
8. Какие конструктивные формы придают аппаратам для охлаждения жидкостей, боящихся загрязнений или долженствующих находиться под давлением?

ЗАДАЧИ.

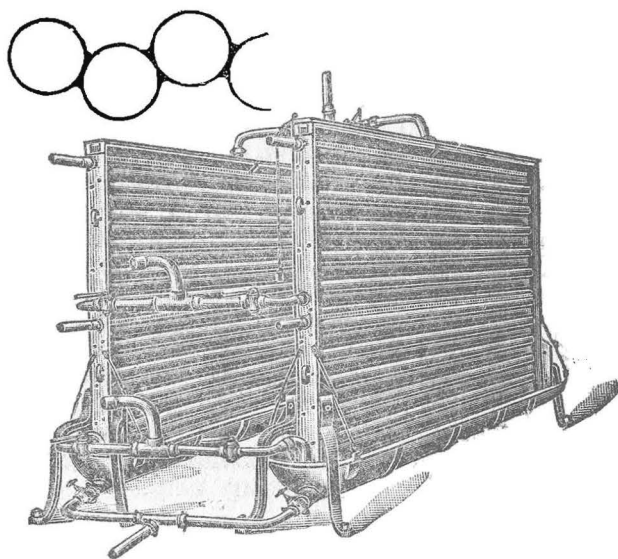
№ 23. Пользуясь таблицами справочника настоящей книги, определить весовое содержание влаги в 1 м³ воздуха при —10° Ц, если психометрическая разность равна 1° Ц.



Фиг. 92. Аппарат для охлаждения молока.



Фиг. 94. Аппарат для охлаждения жидкостей, находящихся под давлением.



Фиг. 93. Аппарат для охлаждения молока и сусла.

1. Расчет как основа решений технических заданий.

В холодильной технике, как и в технике вообще, нельзя применить ту или другую машину известного назначения, если заранее не определить объем работы, которую машина должна будет производить на установке. От объема работы, от величины ее зависит потребная мощность машины, того или другого механизма и т. п. Например, если нужно решить вопрос о том, какого диаметра надо взять вал для приведения в действие ряда станков, надо сперва определить расход двигательной силы, потребной для работы каждого станка, сложить все вместе, определить в каком-нибудь процентном отношении возможные потери в приводах (например в ремнях), установить, с каким числом оборотов вал должен работать, и только тогда можно, пользуясь известными формулами, выработанными механикой на основании изучения и опыта, вычислить диаметр вала.

Конструктору той или другой машины надо уметь рассчитать ее основные части, а иногда и отдельные детали, если даже у конструктора есть большой опыт и он владеет формой и величиной детали.

Каждый проект любой машины, любого механизма, любой установки должен быть основан на соответствующих расчетах и эти расчеты составляют неотъемлемую часть проекта.

При объяснении основ действия холодильной машины мы вплотную подошли к примерному определению размеров цилиндра компрессора и установили соотношение между размерами цилиндров аммиачного, углекислотного и сернокислотного компрессоров для одной и той же холодопроизводительности. Мы основывались при этом на свойствах хладагентов, на величинах зависимости между температурой испарения и теплотой испарения, давлением, объемом и пр. Таким же образом покажем на нескольких примерах, как можно применить приобретенные нами сведения по холодильной технике для производства некоторых расчетов, в которых часто встречается надобность на практике в целях определения мощности основных машин (компрессора, конденсатора, испарителя), потребных для той или другой холодильной установки.

Мы при этом будем пользоваться данными, приведенными в предыдущих главах, а также помещенными в качестве вспомогательного материала в небольшом справочнике настоящей книги.

На этих примерах можно будет закрепить свои знания и приобрести навык обращения с данными по холодильной технике, собранными в справочниках по холодильному делу.

2. Расчет теплоотдачи через стены, потолки и полы.

Первый вопрос, с которым мы сталкиваемся при расчетах холодильников, это вопрос о потерях через стены, потолки, полы. Эти потери зависят от того, насколько хорошо изолированы по-

верхности стен, потолков, полов. Изоляцию принято выбирать для холодильников такую, чтобы коэффициент теплопередачи не был выше 0,35—0,4 кал на 1 м² в 1 час. Для междуэтажных перекрытий в холодильниках допускается коэффициент в 0,6 кал.

Если мы при проектировании хотим знать, какие потери холода будут на холодильнике через лучеиспускание, т. е. если мы хотим знать постоянные затраты холода через само здание, нам следует обмерить каждую камеру холодильника по чертежу камеры; установить (путем ли расчета* или на основании имеющихся опытных данных) коэффициенты теплопередачи для стен, потолка и пола каждой камеры в зависимости от выбранного материала для изоляции и, зная все указанное, произвести расчет следующим образом.

Мы уже знаем из первой главы, что коэффициент теплопередачи через стены означает то количество теплоты в калориях, которое будет передаваться через 1 м² в 1 час на 1° разницы между температурами по одну и другую сторону. Отсюда следует, что, помножив коэффициент на число квадратных м стены (или пола или потолка) и на число градусов, составляющее разницу между температурами по одну и другую сторону стены, получим число калорий, теряемых через стену в 1 час, а чтобы узнать сколько будет потеряно в сутк

т. е. в 24 часа, над будет по лученное произведение полножить на 24.

Чтобы сказанное легко было запомнить, выразим это через формулу.

Обозначим величину поверхности буквой F ; число градусов (температуру) снаружи стены—буквой t_1 ; число градусов с внутренней стороны стены—буквой t_2 ; коэффициент теплопередачи—буквой k ; тогда вышесказанные действия можно изобразить следующим образом: количество теплоты, проходящее через стену в сутки, равно:

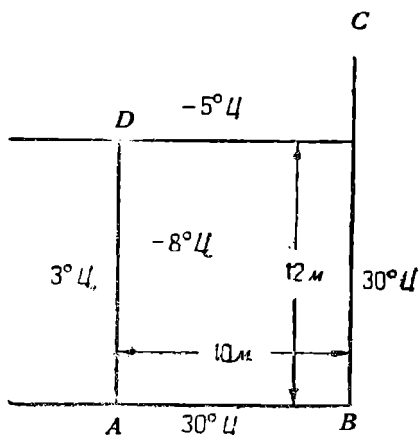
$$Fk(t_1 - t_2) \cdot 24. \quad (\text{формула } 9)$$

Поверхность $\times$ коэффициент теплопередачи $\times$ разность температуры $\times$ 24 часа.

Эта формула годится также для вычисления потерь через потолки и полы.

Вычислив по этой формуле шаг за шагом потери через стены,

* Объем настоящей книги и предназначение ее не позволяют нам привести способы расчетов теплопередачи через стены из разных слоев материалов и мы пользуемся здесь общепринятыми известными коэффициентами теплопередачи при определенной толщине стенки изоляции.



Фиг. 95.

потолки и полы здания холодильника и сложив полученные результаты, получим сумму всех потерь через стены холодильника.

Мы один небольшой пример уже показали в первой главе. Возьмем теперь другой пример.

Пример 18. Пусть имеем камеру $ABCD$ (фиг. 95) с температурой внутри ее -8° ; предположим, что наружная температура стен AB и BC будет $+30^\circ$; что наружная температура стены AD будет $+3^\circ$, а стены DC будет -5° , температуру за полом $+15^\circ$, а над потолком -2° (такой случай может быть в холодильнике). Длина камеры пусть будет 12 м, ширина 10 м, а высота камеры 3,5 м. Спрашивается, сколько калорий нужно в сутки для этой камеры на потери через стены, пол и потолок, если коэффициент теплопередачи через стены и пол будет 0,4, а через потолок 0,6.

По данной формуле (9) мы получим следующие потери:

1) Через стену AB	$10 \cdot 3,5 \cdot 0,4 \cdot (30 + 8)^* \cdot 24 = 12\,768$	кал.
2) » » BC	$12 \cdot 3,5 \cdot 0,4 \cdot (30 + 8) \cdot 24 = 15\,321,6$	»
3) » » AD	$12 \cdot 3,5 \cdot 0,4 \cdot (3 + 8) \cdot 24 \cong 4\,435,2$	»
4) Через стену DC	$10 \cdot 3,5 \cdot 0,4 \cdot (8 - 5)^{**} \cdot 24 \cong 1\,008$	»
5) » пол	$12 \cdot 10 \cdot 0,4 \cdot (15 + 8) \cdot 24 = 26\,496$	»
6) » потолок	$12 \cdot 10 \cdot 0,6 \cdot (8 - 2) \cdot 24 = 10\,368$	»
Итого .		70 396,8 кал в сутки

Если бы мы задались рассчитать потери через стены, потолки и полы целого холодильника, надо было бы указанным образом рассчитать потери для каждой камеры в отдельности и потом сложить все результаты вычислений.

3. Расчет теплоты на охлаждение продуктов.

Второй вопрос, который приходится решать при расчетах холодильников, это относительно того количества теплоты, которое нужно отнять у привезенных продуктов, чтобы понизить их температуру до той температуры, при которой они будут содержаться в камере холодильника.

При этом могут быть два случая.

Первый случай—когда продукты не замораживаются. Это может иметь место например для овощей или мяса, которое желают сохранить в свежем состоянии.

Мы уже знаем, что каждый продукт (как и всякое тело) имеет определенную теплоемкость; при этом продукты, содержащие

* Здесь разность температур будет $30 + 8$ потому, что на термометре между делением, показывающим -8° , и делением, показывающим $+30^\circ$, будет $30 + 8 = 38$ делений. Это не противоречит нашей формуле. Кто знает алгебру, тот знает, что вычесть отрицательное число — значит прибавить его абсолютную величину. Здесь мы из $+30$ вычли -8 , т. е. произвели действие $30 - (-8) = 30 + 8$.

** То же самое, что в предыдущем примечании: разность на термометре между делением -8° и делением -5° будет 3 деления, т. е. разность между обеими температурами будет $8 - 5 = 3$.

воду, обычно имеют одну теплоемкость в свежем, не замороженном виде и другую теплоемкость в замороженном виде. Когда продукт только охлаждают, не замораживают, т. е. когда температуру продукта не опускают ниже нуля, то при знании теплоемкости продукта при температуре выше 0° и веса продукта можно рассчитать, сколько теплоты надо отнять у продукта, чтобы понизить его температуру на определенное число градусов, следующим образом:

Надо теплоемкость продукта, которая выражается в *кал* на 1 *кг* и на 1° помножить на вес продукта, заданный в *кг*, и полученное произведение помножить на число градусов, составляющее разность между первоначальной температурой продукта и конечной температурой его, т. е. той, которую желаем достигнуть.

Сказанное можно выразить через формулу. Обозначим вес продукта в *кг* буквой G , теплоемкость буквой c , первоначальную температуру буквой t_1 ; конечную температуру буквой t_2 , тогда вышеуказанные действия можно изобразить следующим образом:

Количество теплоты, которое нужно затратить на охлаждение продукта, не замораживая его, будет равно:

$$G \cdot c \cdot (t_1 - t_2). \quad (\text{формула } 10)$$

[Вес $\times$ теплоемкость $\times$ разность температур.]

Пример 19. Сколько калорий нужно затратить на охлаждение 6 *т* свежееубитого мяса с температурой в 30° до 5° зная, что теплоемкость свежееубитого мяса составляет 0,68 * *кал* (1 *т* = 1000 *кг*)?

Ответ:

$$6\,000 \cdot 0,68 \cdot (30 - 5) = 102\,000 \text{ кал.}$$

4. Расчет теплоты на замораживание продуктов.

Второй случай это тот, когда продукт надо заморозить. Тогда нужно сделать следующее:

1) Рассчитать сначала, сколько теплоты надо израсходовать, чтобы понизить температуру продукта до 0° . Это делается по формуле 10.

2) Рассчитать, сколько теплоты следует затратить на то, чтобы заморозить содержащуюся в продукте воду. Если известна влажность продукта, т. е. содержание в нем воды, даваемое обычно в процентах, то надо число килограммов продукта помножить на 80 (скрытая теплота плавления льда—80 *кал*), полученное произведение помножить на содержание влаги и делить на 100.

* Число 0,68 мы получили, взяв из табл. 13. Справочника средней арифметической теплоемкости для тощего и жирного мяса:

$$\frac{0,76 + 0,60}{2} = 0,68.$$

Формулой можно выразить это так:

Обозначая вес, как раньше, буквой G , а содержание влаги в процентах буквой p , количество калорий, которое надо затратить на замораживание воды, заключающейся в продукте, будет равно:

$$G \cdot 80 \cdot \frac{p}{100} \quad (\text{формула 11})$$
$$\left[\frac{\text{Вес} \cdot 80 \cdot \text{на число процентов}}{100} \right]$$

3) Наконец нужно рассчитать, сколько калорий потребуется, чтобы понизить температуру продукта с 0° до конечной температуры, после того как вода в нем замерзла. Это делается по формуле 10.

Все три действия можно объединить, а именно:

Пусть вес продукта = G килограммов

- » теплоемкость выше $0^\circ = c_1$
- » » ниже $0^\circ = c_2$
- » начальная температура = t_1
- » конечная » = t_2
- » содержание влаги = $p\%$

Тогда количество теплоты, которое нужно израсходовать, чтобы заморозить продукт, выразится формулой:

$$G \cdot c_1 \cdot t_1 + G \cdot 80 \cdot \frac{p}{100} + G \cdot (c_2 \cdot t_2) = G (c_1 \cdot t_1 + 80 \cdot \frac{p}{100} + c_2 t_2) \quad (\text{формула 12})$$

[Вес, умноженный на сумму произведений: теплоемкости продукта до замерзания на начальную температуру, теплоемкости продукта после замерзания на конечную температуру и теплоты таяния льда на содержание воды в продукте.]

Пример 20. Сколько нужно калорий теплоты, чтобы охладить 6 *т* мяса с температуры $+5^\circ$ до температуры -8° , если известно, что теплоемкость мяса до затвердевания составляет 0,76 кал; теплоемкость после затвердевания 0,41 кал, а содержание влаги 70% *.

Ответ:

$$6000 \cdot (0,76 \cdot 5 + 80 \cdot \frac{70}{100} + 0,41 \cdot 8) =$$
$$= 6000 \cdot (3,8 + 56 + 3,28) = 6000 \cdot 63,08 = 378480 \text{ кал.}$$

Известно, что продукты питания при замораживании теряют известный процент своего веса, что объясняется испарением содержащейся в них влаги, на что расходуется теплота.

* Теплоемкость и содержание влаги взяты из табл. 13 справочника для тощего мяса.

Данные о нормах убыли пищевых продуктов приведены в табл. 14 (см. таблицу в конце книги). Убыль при замораживании мяса равна 3%.

На этом основании в полученный нами в предыдущем примере результат нужно внести корректив (исправление), а именно: вес мяса равнялся 6000 кг. 3% от 6000 кг составит 180 кг. На испарение 1 кг воды требуется около 610 кал. Следовательно расход на испарение 180 кг воды будет:

$$610 \cdot 180 = 109\,800 \text{ кал.}$$

К ранее полученному нами числу калорий в 378 480 надо прибавить 109 800 кал, получим:

$$378\,480 + 109\,800 = 488\,280 \text{ кал.}$$

Обобщая сказанное, нужно указать следующее:

Если все замораживаемого продукта равен G килограммов, потери при замораживании равны p_1 процентов, то теплота, затраченная на испарение или убыль продукта при замораживании, равна:

$$\frac{G \cdot 610 \cdot p_1}{100}. \quad (\text{формула 13})$$

Если эту величину ввести в формулу 12, то получим, что вся теплота на замораживание, включая убыль в весе, будет:

$$G \cdot \left(c_1 \cdot t_1 + \frac{80 \cdot p}{100} + \frac{61 \cdot p_1}{100} + c_2 t_2 \right). \quad (\text{формула 14})$$

5. Расчет теплоты при переходе тела из жидкого в твердое состояние

Если температура замораживания или затвердевания продукта не 0° , а другая, и теплота плавления другая, то формула 12 должна быть преобразована, а именно:

Обозначая вес через G килограммов, начальную температуру через t_1 , температуру плавления через t_n , теплоту плавления в калориях через Q_n и конечную температуру через t_2 , теплоемкость до температуры плавления через c_1 , теплоемкость после температуры плавления (после затвердевания) через c_2 , мы количество затраченной теплоты на перевод тела из жидкого состояния в твердое должны будем исчислять следующим образом:

1) Количество теплоты, которое надо отнять у тела, чтобы понизить его температуру до температуры плавления, будет равняться:

$$G \cdot c_1 (t_1 - t_n).$$

2) Теплота плавления (или затвердевания) будет равна:

$$G \cdot Q_n.$$

3) Количество теплоты, которое надо отнять у тела, чтобы

понизить его температуру с точки плавления до конечной температуры, будет равно:

$$G \cdot c_2 (t_n - t')_2$$

Откуда общее количество теплоты, которое нужно затратить, чтобы перевести тело из жидкого состояния в твердое, будет:

$$\begin{aligned} & G \cdot [c_1 \cdot (t_1 - t_n) + G \cdot Q + G \cdot c_{r,2} (t_n - t_2)] = \\ & = G [c_1 (t_1 - t_n) + Q + c_2 (t_n - t_2)] \end{aligned} \quad (\text{формула 15})$$

Пример 21. Сколько холода требуется в 1 час для холодильного шкафа шоколадной фабрики, вырабатывающей 150 кг шоколада в час, если известно, что шоколад, поступающий в шкаф в жидком состоянии, имеет температуру 60°, что теплоемкость шоколада в жидком состоянии 0,6 кал, а теплоемкость в твердом состоянии 0,4 кал, что температура затвердевания 33°, теплота плавления 30 кал на 1 кг и что шоколад вынимается из шкафа при температуре +2°?

Ответ:

$$150 \cdot [0,6 \cdot (60 - 33) + 30 + 0,4 \cdot (33 - 2)] = 150 \cdot (16,2 + 30 + 12,4) = 150 \cdot 58,6 = 8790 \text{ кал/час}^*.$$

6. Расчет теплоты на вентиляцию.

При расчете затрат теплоты на вентиляцию холодильника следует считаться с влажностью воздуха в помещении, температурой в помещении, температурой наружного воздуха и его влажностью, объемом воздуха в помещении, многократностью вентиляции или обмена воздуха в сутки.

Обозначим объем помещения в м³ (буквой V ; температуру воздуха внутри помещения буквой t_1 , а относительную влажность его в процентах через p_1 ; количество граммов водяных насыщенных паров, содержащихся в воздухе при температуре t_1 (абсолютную влажность), обозначим через g_1 ; температуру наружного воздуха через t_2 , относительную его влажность в процентах через p_2 и абсолютную влажность через g_2 ; многократность обмена в сутки буквой n . Теплоемкость воздуха известна, она равна 0,31 кал на 1 м³ (0,24 · 1,293 = 0,31, стр. 21). Теплота испарения нам тоже известна, она равна 610 кал на 1 кг, или 0,61 кал на 1 г. Расчет теплоты на вентиляцию будем вести следующим образом:

1) На охлаждение 1 м³ наружного воздуха, поступающего в камеру с температурой t_2 до потребной температуры t_1 в камере холодильника, потребуется:

$$0,31 \cdot (t_2 - t_1). \quad (\text{формула 16})$$

2) Абсолютная влажность наружного воздуха при температуре t_2 равна g_2 граммов, а относительная влажность p_2 процентов, что означает, что в 1 м³ поступающего в камеру более теплого наружного воздуха содержится:

$$g_2 \cdot \frac{p_2}{100} \text{ г воды.}$$

* Расчет произведен без учета потерь через стенки шкафа.

По охлаждении в 1 м^3 воздуха при температуре t_1 и потребной в камере влажности p_1 в 1 м^3 воздуха должно содержаться:

$$g_1 \cdot \frac{p_1}{100} \text{ г воды.}$$

Следовательно нужно испарить из 1 м^3 поступающего свежего воздуха:

$$g_2 \cdot \frac{p_2}{100} - g_1 \cdot \frac{p_1}{100} \text{ г воды.}$$

На это будет израсходовано:

$$0,61 \cdot (g_2 \cdot \frac{p_2}{100} - g_1 \cdot \frac{p_1}{100}) \text{ кал.} \quad (\text{формула 17})$$

Таким образом при вентиляции на каждый куб. метр поступающего наружного воздуха придется затратить для его охлаждения и выделения излишней влаги:

$$0,31 \cdot (t_2 - t_1) + 0,61 \cdot (g_2 \cdot \frac{p_2}{100} - g_1 \cdot \frac{p_1}{100}). \quad (\text{формула 18,})$$

Так как объем камеры V , а число раз обмена в сутки n , то на вентиляцию данного помещения придется израсходовать:

$$V \cdot n \cdot [0,31 \cdot (t_2 - t_1) + 0,61 \cdot (g_2 \cdot \frac{p_2}{100} - g_1 \cdot \frac{p_1}{100})]. \quad (\text{формула 19})$$

[Объем в м^3 на многократность обмена $\times$ на теплоту, затраченную на охлаждение воздуха с одной температуры до другой, сложенную с теплотой, затраченной на испарение излишка воды из поступившего при определенной влажности в камеру воздуха до влажности, предписанной для камеры.]

Пример 22. Пусть объем камеры холодильника равен 420 м^3 , температура камеры -8° Ц , влажность 70% , температура наружного воздуха $+30^\circ \text{ Ц}$, влажность его 80% . Сколько теплоты тратится в сутки на трехкратный обмен воздуха в этой камере?

Из табл. 5 справочника находим:

содержание влаги в 1 м^3 воздуха при $+30^\circ \text{ Ц} = 30,21 \text{ г}$;

то же при $-8^\circ \text{ Ц} = 2,69 \text{ г}$.

Ответ:

$$\begin{aligned} & 420 \cdot 3 \cdot [0,31 \cdot (30 + 8^*) + 0,61 \cdot (30,21 \cdot \frac{80}{100} - 2,69 \cdot \frac{70}{100})] = \\ & = 420 \cdot 3 \cdot [11,78 + 0,61 \cdot (24,168 - 1,883)] = 420 \cdot 3 \cdot (11,78 + \\ & + 0,61 \cdot 22,285) = 420 \cdot 3 \cdot 25,37 \approx 31\,966 \text{ кал в сутки.} \end{aligned}$$

При расчетах необходимого холода для холодильника надо еще принять во внимание ряд потерь, а именно:

* См. примечания на стр. 118.

1) На освещение, так как электрические лампы выделяют теплоту (около 1 кал/час на 1 нормальную свечу).

2) Потери на пребывание рабочих в камерах при загрузках, выгрузках и т. п. Эти потери следует считать около 180 кал/час на 1 чел.

3) Потери при открывании дверей.

4) Потери на работу вентиляторов в камерах (1 л. с.-час эквивалента 632 кал—см. первую главу стр. 25).

Обычно при расчетах для учета всех потерь делается накидка в 15% с исчисленных величин на потери через здание, на охлаждение продуктов и вентиляцию.

Расчеты потребного количества холода для холодильника надо вести при наиболее неблагоприятных условиях работы в жаркое летнее время. При этом следует принять во внимание количества продуктов, которые будут храниться при соответствующих температурных условиях; количества грузов, которые будут периодически поступать в холодильник; количества грузов, которые подлежат замораживанию или хранению в свежем состоянии. В справочнике помещена табл. 16 норм загрузок на 1 м² площади для разных продуктов и табл. 15 наиболее благоприятных температур для хранения разных продуктов. Эти сведения должны служить материалом при определении потребных площадей камер для определенных продуктов и для расчетов потребной мощности установки.

Когда потребное количество холода установлено, остается выбор машин: компрессора, конденсатора, испарителя. Поверхности выбранного конденсатора и испарителя можно ориентировочно определить по тем данным относительно производительности этих аппаратов, которые были указаны в третьей главе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Как выразить формулой суточную потерю через стены (потолок, пол) камеры холодильника, если известна поверхность стен (потолка, пола), коэффициент теплопередачи через стены и температуры по ту и другую сторону стен?

2. Как выразить формулой количество теплоты, которое нужно затратить на охлаждение продукта, не замораживая его, если известен вес продукта, его теплоемкость, начальная и конечная температуры?

3. Как выразить формулой количество теплоты на замораживание воды, содержащейся в продукте, если известны вес продукта, процентное содержание в нем влаги и скрытая теплота плавления льда, равная 80 кал на 1 кг?

4. Как выразить формулой количество теплоты, потребное для замораживания продукта, если известен вес продукта, его первоначальная температура, теплоемкость до замерзания, процентное содержание влаги, теплоемкость после замерзания и конечная температура продукта?

5. Как выразить формулой количество теплоты, которое требуется для охлаждения 1 м³ воздуха, если известна теплоемкость 1 м³ воздуха (0,31 кал), начальная и конечная температура воздуха?

6. Как выразить формулой количество теплоты, затрачиваемое на вентиляцию помещения, если известны объем помещения, многократность обмена воздуха, теплоемкость воздуха, температура воздуха в помещении и относительная влажность его, температура наружного воздуха и относительная влажность его?

ЗАДАЧИ.

№ 24. Определить потребную суточную холодопроизводительность трех камер холодильника, изображенных на фиг. 96, если известны: требующиеся

температуры и влажность в камерах, обозначенные на фиг. 96; высота всех трех камер равна 3,5 м.

В камере № 1 ежедневно замораживается 6 т груза; теплоемкость груза до замораживания равна 0,70 ккал; теплоемкость его после замораживания равна 0,40 ккал; первоначальная температура груза +5° Ц; содержание влаги в грузе 60%; потери при замораживании 3%; конечная температура груза после замораживания — 10° Ц.

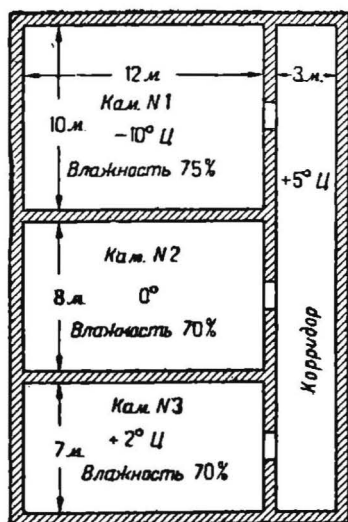
В камеру № 2 ежедневно поступает 18 т груза при температуре +25° Ц; теплоемкость груза равна 0,70 ккал; груз охлаждается до 0° Ц (т. е. без замораживания).

В камеру № 3 ежедневно поступает 12 т груза теплоемкостью 0,76 ккал при температуре +15° Ц.

Температура наружного воздуха равна +20° Ц, влажность его 80%.

Температура снаружи потолка камер +25° Ц и температура под полом +15° Ц, потери через двери, на освещение и т. п. равны 10%.

Коэффициент теплопередачи через стены, потолок и пол = 0,4 ккал.



Фиг. 96.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

МОНТАЖ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ И УХОД ЗА НЕЮ

1. МОНТАЖ

1. Общие указания по производству монтажа

Монтаж холодильной машины и уход за нею требуют знакомства со свойствами хладагентов, принципами работы холодильной машины и устройством ее отдельных частей и аппаратуры; большого навыка в сборке и пригонке некоторых деталей; умения обращаться с монтажным инструментом, измерительными приборами и знания двигателей, насосов, вентиляторов; знания свойств раскисов; общего знакомства и умения обращаться с разного рода механизмами: подъемными приспособлениями, кранами и т. п., одним словом, требует большой практической, а также известной теоретической подготовки.

Монтаж производится на основании подробно разработанного монтажного чертежа, на котором должно быть нанесено точное месторасположение компрессоров, конденсатора, испарителя, общее расположение трубопроводов с указанием диаметров основных линий, расположение батарей и т. д. Чем подробнее разработан монтажный чертеж, тем легче вести работу. Для устройства фундаментов под машины должны быть даны специальные фундаментные чертежи. Кроме монтажных чертежей для контроля всех соединений необходимо иметь чертеж общей схемы установки. Посылаемое на установку оборудование должно сопровождаться заводом-поставщиком подробными спецификациями содержимого

в каждой отдельной упаковке с тем, чтобы на месте монтажа не приходилось распаковывать сразу все прибывшие грузы, а лишь по мере надобности в зависимости от хода монтажных работ.

Работы следует производить по определенному плану, в известном порядке, методично, не разбрасываясь.

Обычно начинают с установки компрессора. Заблаговременное приготовление фундаментов под компрессора и главные аппараты лежит на обязанности строителя. Но часто бывает, что фундаменты делают под руководством монтера в начале монтажа. Монтеру следует тогда сделать точную разбивку фундаментов; руководить устройством шаблона для кладки фундамента, если фундамент делается из кирпича, и устройством форм, если фундамент делается бетонным. Очертание шаблона должно отображать подошву устанавливаемой машины. Отверстия для фундаментных болтов следует оставлять при устройстве фундаментов, чтобы не приходилось по окончании кладки фундаментов пробивать отверстия для болтов. Вообще при всех бетонных работах следует строителю заранее оставлять отверстия для прохода трубопроводов, для чего подробные монтажные чертежи нужно иметь уже к началу постройки.

Когда фундаменты под компрессоры готовы и просохли настолько, что можно начать их установку, то сперва устанавливают рамы компрессоров и по тщательной проверке их горизонтальности приступают к заливке.

После просушки устанавливают главный вал; пришабровывают, если это оказывается нужным, подшипники; насаживают маховик, устанавливают цилиндр и т. д.

Когда работа по монтажу компрессоров подвинулась настолько, что не требует всего внимания главного монтера, приступают к монтажу конденсатора, переохладителя и водоподающих и водоотводящих устройств. За этим следует монтаж испарителя и рассольных устройств. По установке компрессоров, конденсатора и испарителя приступают к монтажу нагнетательного и всасывающего трубопроводов.

Монтаж воздухоохладителей, рассольных систем в камерах и магистралей обычно производится после окончания работ по установке основного оборудования.

Проба на давление, наполнение холодильной машины хладагентом, приготовление рассола и пуск в ход производятся после окончания всех монтажных работ и полной уборки помещений.

2. Притирка и пришабровка клапанов компрессора.

При монтаже компрессора приходится произвести тщательную очистку всех движущихся частей, пришабровку вкладышей подшипников, притирку клапанов, проверку правильности установки поршня, произвести тщательное уплотнение сальников и т. д.

Пришабровку подшипников, притирку клапанов и уплотнение сальников приходится производить и при ремонтах машины, почему остановимся на них подробнее.

При притирке шпиндельных тарельчатых клапанов к их седлам конус клапана смазывается маслом, обсыпается наждачной или карборундовой пылью, вставляется в седло, и клапан с легким нажимом от руки поворачивается на $\frac{1}{4}$ оборота; потом, приподняв его, вращают в обратную сторону, опять опускают и повторяют первоначальную манипуляцию. Время от времени клапан вынимают из седла, очищают конус и седло, вытирая их «концами»; смотрят, есть ли на притираемых поверхностях черные пятнышки и продолжают описанную операцию до тех пор, пока пятнышки исчезнут. Когда клапаны установлены в гнездах, дается уплотнение под крышки, которые притягиваются равномерно болтами так, чтобы не было перекоса.

У пластинчатых клапанов для правильной их работы требуется плотное прилегание пластинок к опорным поверхностям. Для пригонки пластинок клапаны сначала промывают керосином, потом пришабровывают забоины и царапины и производят тщательную притирку пластинок.

3. Уплотнение сальников

Для уплотнения сальников штока компрессора применяют, как это было указано в третьей главе, хлопчатобумажную или металлическую набивку.

При применении хлопчатобумажного шнура его нарезают на куски равной длины, смотря по диаметру штока. В обернутом вокруг штока виде они должны плотно охватывать его по окружности. Концы шнура срезавают в косом направлении и их обшивают нитками, чтобы шнур не размотался. Перед набивкой заготовленные кольца пропитывают в растопленном горячем сале. Вполне пропитанные и остывшие кольца закладывают одно за другим, повертывая их стыки на 90° и надавливают шнуры легкими ударами на деревянную буксу, предназначенную для обратного выдавливания. Особое внимание следует обращать на правильное вкладывание колец, чтобы они не ложились косо и чтобы не получилось ущелений. Примерно по середине сальника закладывается так называемый фонарь, который должен совпадать с отверстием трубопровода, ведущего к всасывающей линии. После последнего кольца хлопчатобумажной набивки насаживают два кольца из твердой резины, причем стыки одного кольца при насадке не должны приходиться против стыков другого кольца.

Металлическая набивка, нашедшая широкое применение благодаря своим уплотняющим качествам и уменьшающим нагрев штока, состоит из колец, сделанных из мягкого металла.

Кольца бывают полые или с хлопчатобумажной прокладкой внутри. Кольца перед окончательной закладкой надо предварительно пригнать к штоку поршня. Для этого обе парные половинки каждого кольца прижимают крепко рукой к штоку, чтобы исследовать, нет ли зазора. При надобности срезы колец обеих половинок подпиливают напильником настолько, чтобы получить плотное прилегание кольца к штоку. Потом обе половинки вращают вместе вокруг штока; если обнаруживаются неплотности касания, то внутренняя поверхность кольца пришабровывается. Пригнанные металлические кольца вкладывают в компрессорное масло, чтобы

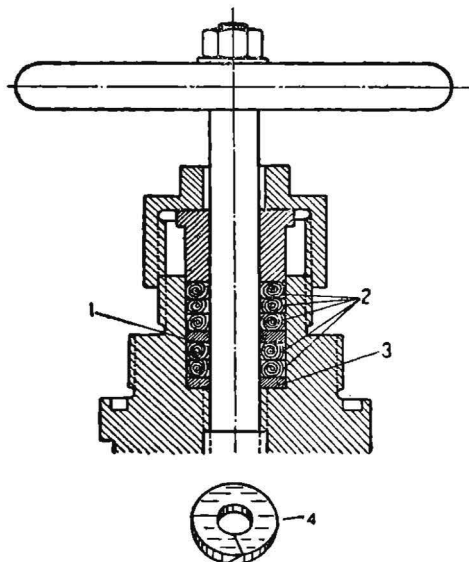
их хлопчатобумажная прокладка хорошо пропиталась. Как и при хлопчатобумажной набивке сальника, надо следить, чтобы фонарь пришелся против отверстия трубопровода, ведущего к всасывающей линии. При набивке сальника необходимо следить, чтобы стыки смежных колец не приходились друг против друга, чтобы не было перекосов колец и зажимов кромок.

Окончанием для набивки служат два железных кольца с резиновым кольцом между ними. Затем насаживают нажимную втулку. Преднабивочная букса набивается хлопчатобумажным шнуром способом, описанным выше.

Применяемая для углекислотных машин сальниковая набивка из кожаных манжет тоже требует тщательной пригонки манжет с охватывающими их резиновыми кольцами к выточкам в баббитовых кольцах.

Кожаные манжеты следует перед закладкой несколько пропитать глицерином. Затяжка набивки должна быть равномерная и не слишком сильная.

Набивка сальников запорных вентилей на всасывающем и нагнетательном трубопроводах производится посредством хлопчатобумажных колец способом, описанным выше для компрессоров. На фиг. 97 представлено изображение части запорного вентиля с наполненной набивкой. И здесь срез колец делается косой, причем кольца пригоняются по диаметру шпинделя. Кольца запикиваются в горловину сальниковой коробки при помощи деревянной палочки. При этом следует обращать внимание на то, чтобы срезы колец не приходились друг против друга.



Фиг. 97. Уплотнение вентиля: 1) резиновое кольцо; 2) кольца из хлопчатобумажного шнура; 3) железное кольцо; 4) пример косого среза хлопчатобумажного кольца.

4. Пригонка вкладышей подшипников.

Пригонка вкладышей подшипников к шейкам вала компрессора производится путем пришабровки. Это делается для того, чтобы вкладыши подшипников соприкасались со всей поверхностью шейки, не оставляя неровных мест, вызывающих сверхнормальное нагревание подшипников.

Для того чтобы пригнать вкладыши подшипников к шейке вала, последнюю покрывают тонким ровным слоем смеси масла с сажей, вал вкладывают в подшипники, накладывают верхние вкладыши и вращают несколько раз. При этом возвышения, имеющиеся на поверхности вкладыша, по снятии вала оказываются окрашенными сажей. Все возвышения, отмеченные таким образом,

следует осторожно счистить шабером. Проверка и пришабровывание продолжаются до тех пор, пока вся обрабатываемая поверхность не покроется бликами—маленькими пятнами, расположенными близко друг от друга. Вкладыши шейки вала после пригонки тщательно вытирают и смазывают маслом.

5. Сборка аппаратуры и трубопроводов.

Для небольших установок аппараты (конденсатор, испаритель) отправляются заводами-поставщиками в собранном виде. Их приходится по мере установки при монтаже просмотреть, вычистить и установить на фундаменты. При этом у испарителей следует предварительно изолировать основание, чтобы не было потерь холода, а по окончании монтажа следует изолировать стенки испарителя, за исключением тех случаев, когда холод от стенки испарителя отдается рассолу, как это имеет место например в трубчато-кожуховых испарителях, помещаемых в ледогенераторный бак при производстве льда (фиг. 75).

Для крупных установок некоторые части, например поддоны конденсаторов, прибывают на установку в несобранном или в частично собранном виде. Тогда на месте монтажа производятся сборка и склепка частей, а иногда и приварка, для чего на установке приходится иметь аппарат для автогенной сварки. Главный монтер обязательно должен уметь обращаться с этим прибором.

Что же касается сборки трубопроводов и рассольных систем, со связанным при этом иногда гнутьем и прирезкой труб, насадкой фланцев и т. п., то эта работа производится почти исключительно на месте установки. Работа должна быть произведена тщательно, чтобы системы не пропускали.

6. Опробование холодильной машины по окончании сборки.

По окончании монтажа производится проба змеевиков, трубопроводов и рассольных систем на давление.

Рассольные системы испытываются давлением на 2—3 атмосферы водой. Всякие неплотности во фланцах, обнаруженные при пробе, должны быть устранены подтягиванием болтов фланцев или сменой прокладок.

Трубопроводы и змеевики для хладагента испытываются воздушным давлением. Перед этим производится продувка воздухом всей системы холодильной машины в целях удаления из системы возможных засорений: окалины, пыли и т. п.

Продувание системы и проба на давление воздухом производятся при помощи самого компрессора холодильной машины. Компрессор засасывает воздух через специальный кран на соединительном рукаве у цилиндра и нагнетает его в трубчатые системы конденсатора и испарителя; при производстве этой работы всасывающий вентиль должен быть закрыт.

Аммиачные холодильные машины испытываются воздушным давлением на 12—15 ат, углекислотные на 60—80 ат, а серно-кислотные на 5—8 ат. Так как цилиндры при испытании углекислотных машин сильно нагреваются, то во избежание сгорания на-

бивки и манжет проба производится в несколько приемов, причем давление повышают не сразу, а постепенно, давая цилиндру остынуть.

Пропуски воздуха обнаруживаются в открытых местах путем смазывания подозрительных мест мыльной водой. Выходящий воздух образует в этих местах мыльные пузыри. Что же касается трубчатых систем погружных конденсаторов и испарителей, то при пропуске воздуха пузырьки его поднимаются через воду, наливаемую при пробе в баки этих аппаратов.

Все найденные дефекты должны быть устранены; по устранении проба возобновляется, причем система холодильной машины оставляется под давлением около 12 час. Если давление по показаниям манометров за это время не понизилось, то можно приступить к наполнению машины хладагентом. Перед наполнением следует удалить воздух из машины. Для этого у нагнетательной стороны компрессора имеется кран, через который воздух выкачивается компрессором из системы при постепенном закрывании нагнетательного вентиля.

7. Наполнение машины хладагентом.

Первое наполнение машины хладагентом производится таким образом, чтобы змеевики конденсатора были заполнены жидкостью примерно на $\frac{1}{3}$ их объема, испарителя на $\frac{1}{10}$, а ресивер (общий сборник жидкого хладагента у конденсатора) должен быть заполнен целиком. Количество хладагента, засасываемого при первом наполнении системы холодильной машины, зависит от заданной холодопроизводительности. При этом на 1000 кал/час при рассольном охлаждении требуется 2—3 кг для аммиачных машин, около 5—7 кг для углекислотных машин и около 3—5 кг для серно-кислотных машин.

Хладагент доставляется в жидком состоянии в стальных баллонах, на которых имеется вентиль. На баллонах обычно указывается вес самого баллона (тара) и общий вес баллона с хладагентом (вес брутто). Баллон кладут в несколько наклонном положении (фиг. 8) на десятичные весы, чтобы по убывающему весу можно было судить о степени его опорожнения. Баллон присоединяется посредством трубки к всасывающему трубопроводу через особый наполнительный вентиль.

После удаления воздуха, т. е. по достижении вакуума, открывают наполнительный вентиль на всасывающем трубопроводе, потом вентиль на баллоне. Хладагент начинает испаряться в рефрижератор. Вследствие работы компрессора при почти закрытом регулирующем вентиле происходит отсасывание хладагента из испарителя и нагнетание его в конденсатор. Хладагент из баллона постепенно испаряется таким образом в испаритель, а компрессор отсасывает его в конденсатор.

8. Приготовление рассола.

При применении на холодильнике охлаждения камер посредством рассола последний следует приготовить такой концентрации, чтобы температура его замерзания была значительно ниже температуры в камерах (примерно на 10—15°). Наиболее низкая

температура рассола должна всегда отставать не меньше чем на 3° от температуры замерзания его, иначе, как это было указано в третьей главе, начнется выделение соли и замерзание рассола.

Концентрация рассола, как это также было указано в третьей главе, определяется по таблицам. По этим же таблицам можно определять вес соли для наполнения системы.

Так например, если температура в камерах должна быть -5° , то следует приготовить раствор, замерзающий при -15° . Если мы выберем для рассола поваренную соль, то в табл. 7 справочника мы отыскиваем в пятом столбце, показывающем температуры замерзания поваренной соли, число $-15,1^{\circ}$; в первом столбце по строке, где напечатано $-15,1^{\circ}$, находим, что концентрация рассола должна быть 17° Бе. В четвертом столбце по той же строке находим цифру 21,8, которая означает, что на 100 частей воды надо взять при приготовлении рассола 21,8 частей соли. Это означает, что на 1 кг или 1 л воды следует взять 0,218 кг поваренной соли. Если число литров рассола известно, то надо будет 0,218 кг помножить на потребное число литров рассола.

Пример 23.

Пусть диаметр бака цилиндрического испарителя будет 1 200 мм, высота бака 1 800 мм, длина всех рассольных змеевиков 1 500 м при внутреннем диаметре в 51 мм. Температура в камерах -5° Ц. Температура рассола из поваренной соли -15° Ц. Объем бака будет $3,14 \frac{D}{4}$. H (чтобы получить емкость в литрах, D , и H надо взять в дециметрах*, т. е. $=12$ дм, а $H=15$ дм). Откуда емкость бака будет:

$$\frac{3,14 \cdot 12^3}{4} \cdot 18 = \frac{3,14 \cdot 144 \cdot 18}{4} \cong 2\,034 \text{ л.}$$

Емкость 1 пог. м змеевиков в л, на основании сказанного, будет:

$$3,14 \cdot \frac{0,51^2}{4} \cdot 10 \cong 2 \text{ л,}$$

а емкость 1 500 пог. м змеевиков будет:

$$2 \cdot 1\,500 = 3\,000 \text{ л.}$$

Всего емкость испарителя и рассольных змеевиков будет:

$$2\,034 + 3\,000 = 5\,034 \text{ л.}$$

На 1 л потребуется, как мы подсчитали, 0,218 кг поваренной соли, а на 5 034 л потребуется:

$$0,218 \cdot 5\,034 \cong 1\,097 \text{ кг.}$$

II. ПУСК В ХОД ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ И РЕГУЛИРОВКА ЕЕ.

1. Пуск в ход холодильной машины.

При приведении машины в действие надо обязательно помнить следующее:

1. Так как компрессор представляет собой не что иное, как

* 1 дм = 10 см = 100 мм.

всасывающий и нагнетательный насос, то прежде всего надо озаботиться, чтобы при первых же оборотах компрессора все выходы на нагнетательной стороне были открыты, равно были бы открыты краны у манометров.

2. При первых же оборотах компрессора должны функционировать все приборы, подающие масло к движущимся частям компрессора.

3. При наличии у цилиндра компрессора охлаждающей рубашки следует заботиться о том, чтобы при первых же оборотах компрессора цилиндр его получил охлаждение.

4. Так как нагнетание хладагента с первых же оборотов компрессора сопровождается приобретением большого количества теплоты парами хладагента, каковая теплота должна быть с самого начала отведена, то после первых же оборотов компрессора должна быть пущена охлаждающая вода на змеевики конденсатора, а при погружном типе конденсатора с самого начала должна быть использована работа мешалки конденсатора.

5. Всасывание из испарителя или испарительных систем должно начаться лишь после того, как указанные в пунктах 1—4 мероприятия уже проделаны.

6. Регулировка работы машины может начаться лишь после того, как все вышеуказанное предпринято и проделано.

Отсюда следует, что для приведения компрессора в действие необходимо:

I. Произвести внешний осмотр компрессора, чтобы удостовериться, все ли в порядке; открыть (если они были закрыты) краны у манометров; добавить масла в масленки и открыть их; несколько отжать нажимную втулку сальника штока поршня, если во время прежней работы она была сильно прижата по причине слабости и изношенности набивки.

II. Удостовериться, открыты ли все запорные клапаны на нагнетательной линии и открыть после этого вентиль у компрессора, соединяющий нагнетательную сторону его с нагнетательным трубопроводом. Регулирующий вентиль временно остается закрытым.

III. Пустить охлаждающую воду на конденсатор (пустить мешалку в случае погружного конденсатора). При наличии охлаждающей рубашки у цилиндра компрессора пустить воду и для цилиндра.

IV. Пустить мешалку у испарителя.

V. Медленно пустить в ход компрессор, предварительно подготовив и пустив двигатель или соединительный механизм от двигателя.

VI. Наблюдая давление по нагнетательному манометру, медленно открыть запорный вентиль у компрессора, соединяющий его со всасывающим трубопроводом. Помнить, что скорое открывание его может повлечь за собой засасывание жидкого хладагента, вследствие чего могут получиться удары в цилиндре и повреждения его.

VII. Наблюдая температуру испарения по всасывающему манометру, открыть слегка—спустя 1—2 мин.—регулирующий вентиль и постепенно установить его.

VIII. Пустить в ход насос для жидкого хладагента при наличии его в устройствах для перегрева.

2. Остановка холодильной машины

При остановке компрессора, т. е. при прекращении работы холодильной машины, все манипуляции (действия) следует производить в обратном порядке, нежели при пуске, а именно:

I. Закрыть регулирующий вентиль.

II. Закрыть запорный вентиль у компрессора, соединяющий его со всасывающим трубопроводом.

III. Остановить компрессор, предварительно остановив двигатель, приводящий в движение компрессор, или выключив соединительный механизм от двигателя.

IV. Остановить действие масленок компрессора.

V. Остановить подачу воды в охлаждающую рубашку цилиндра компрессора, если таковая у него имеется, и подачу воды на конденсатор. Остановить мешалку у конденсатора, если он погружного типа.

VI. Закрыть запорный вентиль у компрессора, соединяющий его с нагнетательным трубопроводом, если перерыв в работе машины более или менее продолжительный.

VII. По надобности, особенно при остановке машины на продолжительный период времени, закрыть запорные клапаны у конденсатора и у рефрижератора (испарителя). Перед пуском в ход машины после долговременной остановки ее следует самым тщательным образом проконтролировать, действительно ли открыты запорные клапаны у конденсатора и испарителя, закрытые согласно указанию настоящего пункта правил.

VIII. Остановить насос для жидкого хладагента при наличии такового в случае работы с перегревом.

В мороз на время остановок следует отвести охлаждающую воду из рубашки цилиндра компрессора, удалить ее из конденсатора, трубопроводов и насосов.

Каждый раз после остановки компрессора и двигателей надо обязательно обтереть машину от излишков смазки и оставить ее в полном порядке.

3. Регулирование холодильной машины.

Когда работа холодильной машины в полном ходу, приходится постоянно следить за манометрами, чтобы знать, что происходит в испарителе и конденсаторе. Увеличение давления в испарителе вызывается увеличением поступления в него жидкого хладагента, и, как мы можем усмотреть из табл. I, II и III (столбец седьмой и первый, стр. 34, 37 и 38), увеличению давления хладагента соответствует повышение температуры его паров. Это означает, что если температура испарения в испарителе выше той, которая нужна для поддержания потребной температуры в камерах, то ее нужно понизить, а понизить можно путем уменьшения подачи хладагента в испаритель: регулирующий вентиль надо несколько закрыть. Регулирование работы холодильной машины заключается в регулировании по мере надобности подачи хладагента через регулирующий вентиль, в зависимости от хода машины. Правиль-

ная установка регулирующего вентиля достигается путем опыта и требует постоянного корректирования при изменении условий давления.

Температура испарения в испарителе всегда должна быть на несколько градусов ниже температуры, окружающей змеевиковую систему испарителя среды, т. е. ниже температуры рассола или температуры воздуха при непосредственном испарении, ниже температуры воды, молока и т. п. в аппаратах для охлаждения жидкостей, описанных в четвертой главе. При охлаждении воздуха системами непосредственного испарения разница между температурами испарения и температурой воздуха должна быть около 10°C ; при охлаждении рассола эта разница должна быть около 5°C . Таким образом если температура рассола требуется равной -8°C , то температура испарения, отсчитываемая на всасывающем манометре, должна быть -13°C .

Это указание может служить до известной степени руководящей нитью для установки регулирующего вентиля.

Однако следует заметить, что разность между температурой испарения и средой, окружающей испарительный змеевик рефрижератора, подвержена колебаниям, выражающимся в том, что на каждый градус (1°C) повышения или понижения температуры среды указанная разность температур повышается или понижается на 3—4%. Это означает, что если температура рассола например повысилась на 5° , то разность между температурой испарения и температурой рассола повысится не на 5° , а больше, именно на $5 \times 4\% = 20\%$, т. е. она будет равна $5^{\circ} 1,20 = 6^{\circ}$. И наоборот, если температура рассола понизилась на 5° , то это значит, что температура испарения понизилась на 6° .

При системе охлаждения помещений змеевиками непосредственного испарения, когда в камерах холодильника должна быть разная температура, требуется установка такого количества регулирующих вентилях, сколько имеется камер с разной температурой.

Показателями правильности работы холодильной машины могут служить до известной степени температурные состояния всасывающего и нагнетательного трубопроводов у мест присоединений к компрессору. Поэтому рекомендуется иметь наблюдение за температурой нагнетательного и всасывающего трубопроводов.

Нагнетательная труба у аммиачного компрессора, при работе без перегрева должна быть умеренно теплой наощупь, около 40°C . При работе с перегревом ее, температура может дойти до $100-120^{\circ}\text{C}$.

Всасывающая же труба у компрессора должна быть холодной, покрытой инеем, даже при сухом ходе компрессора.

Нагнетательная труба у сернистого компрессора должна быть почти горячая, но во всяком случае достаточно теплая наощупь. Температура всасывающей же трубы должна быть немного выше температуры внутри испарителя, и при температуре испарения до -10°C она не должна покрываться инеем.

Температуры нагнетательной и всасывающей труб у углекислотного компрессора такие же, как и у аммиачного компрессора при работе без перегрева. Работа с перегревом хладагента у углекислотной холодильной машины не допускается при кожаных

манжетах. Сухой ход допускается при металлической набивке и усиленной смазке.

Существенное значение для работы холодильной машины, для ее экономичности и не перегрузки имеет температура конденсации, зависящая от количества и температуры охлаждающей воды, подаваемой к конденсатору. Температура, отсчитываемая на нагнетательном манометре, примерно на 5°Ц выше температуры жидкого хладагента в конденсаторе.

Повышение давления в конденсаторе, отмечаемое нагнетательным манометром, указывает на необходимость прибавления холодной воды на конденсатор, и если к этому есть возможность, то наблюдающий за работой холодильной машины должен прибавить воды. Регулирование подачи воды на конденсатор является также обязанностью машиниста.

Для ориентировки в справочнике настоящей книги помещена табл. 17, показывающая соотношения между температурой отходящей воды и давлениями нагнетания.

Расход воды на каждый кв. метр конденсатора, как было указано в третьей главе, бывает различный в зависимости от типа или конструкции конденсатора. Этот расход воды обыкновенно указывается при условии, что ее температура поступления на конденсатор, или, как выражаются, первоначальная температура, будет равна 10° . Для такой холодной воды допускается нагрев ее конденсатором на 10° . В этом случае температура отходящей воды будет 20° .

Если брать для охлаждения конденсатора воду с первоначальной температурой в 20° , то допускается нагрев ее примерно на 8° , т. е. температура отходящей воды будет около 28° .

Чем выше будет первоначальная температура воды, тем больше потребуется воды для охлаждения конденсатора. Кроме того при повышении температуры охлаждающей воды компрессор будет расходовать больше силы.

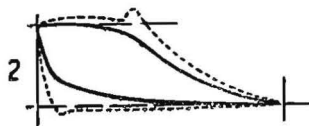
Если известен расход воды на конденсатор для начальной температуры ее в 10° , то увеличение расхода ее на конденсатор и расхода энергии на компрессор будет выражаться приблизительно в 4% на каждый градус (1°) увеличения температуры воды против первоначальной ее температуры. Это означает, что если например для данной конструкции конденсатора требуется в час 3000 л воды при температуре в $+10^{\circ}\text{Ц}$, то при температуре в $+14^{\circ}\text{Ц}$ ее потребуется на $4\% \times (14 - 10) = 16\%$ больше, т. е. $3000 \text{ л} \cdot 1,16 = 3480 \text{ л}$ в 1 час.

4. Анализ работы компрессора по индикаторной диаграмме.

Для анализа работы компрессора в тех случаях, когда на установке имеется индикатор, прибегают к заснятию индикаторной диаграммы. Путем опыта установлены характерные типы диаграмм в разных случаях тех или других дефектов, и один взгляд на заснятую диаграмму показывает на причину ненормальности работы. В целях сравнения приводим здесь некоторые типичные диаграммы с указанием причин, вызывающих отклонение этих диаграмм от нормальной.



1-я диаграмма. Нормальная. Горизонтальная линия на ней, как и на всех последующих диаграммах, есть линия атмосферного давления (пунктирные две кривые линии представляют собой теоретические линии, из которых внутренняя — это так называемая изотермическая, а внешняя — адиабатическая).



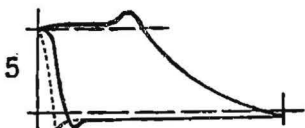
2-я диаграмма. Ненормальная по вине индикатора. Она получает такой вид, когда трехходовой кран индикатора не вполне открыт, т. е. когда сообщение между компрессором и индикатором нарушено. Иногда этот вид обусловлен защемлением поршенька индикатора.



3-я диаграмма. Ненормальная по причине поступления в цилиндр компрессора мокрых паров хладагента или по причине слишком большого вредного пространства между поршнем и крышкой цилиндра компрессора.



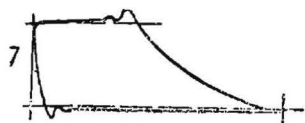
4-я диаграмма. Она показывает отклонение от нормальной по причине излишне высокого подъема нагнетательного клапана компрессора.



5-я диаграмма. Она показывает отклонение от нормальной по причине защемления нагнетательного клапана.



6-я диаграмма. Она показывает отклонение от нормальной по причине большого сопротивления соединительных трубопроводов.

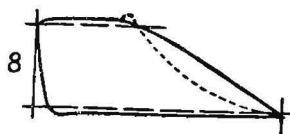


7-я диаграмма. Она указывает на то, что клапаны открываются с трудом, пружины слишком тугие.

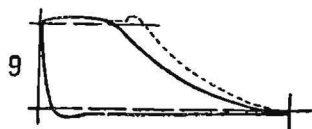
III. УХОД ЗА ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНОЙ.

Холодильная машина требует более чем какая-либо другая машина сознательного отношения и хорошего ухода. Неумелое или небрежное обслуживание ведет к излишнему изнашиванию частей машины, к утечкам хладагента, к расстройствам процесса охлаждения и т. п.

Поэтому наблюдающему за машиной надлежит содержать все части холодильной машины в полном порядке, строго выполнять



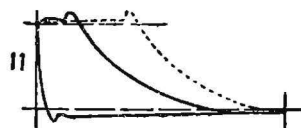
8-я диаграмма. Указывает на неплотность закрывания клапанов.



9-я диаграмма. Ненормальная; линия сжатия паров хладагента близка к прямой по причине неплотности клапанов.



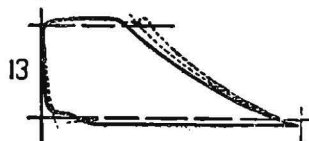
10-я диаграмма. Ненормальная по причине ущемления поршенька индикатора.



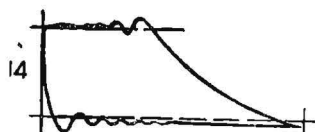
11-я диаграмма. Ненормальная по причине защемления всасывающего клапана, остающегося открытым.



12-я диаграмма. Указывает на то, что поршень в начале хода закрывает соединение с индикатором.



13-я диаграмма. Указывает на неплотность поршня компрессора в цилиндре.



14-я диаграмма. Указывает на неправильный подбор пружин в клапанах.

все правила для обслуживания холодильной машины, которые обычно должны быть вывешены на видном месте в машинном отделении. Кроме того, в машинном отделении должна быть вывешена схема своей установки, которую обслуживающий ее персонал должен хорошо изучить и которой он обязан руководствоваться во всех случаях предпринимаемых ремонтов.

Всякие замеченные неправильности в работе машины должны быть немедленно устранены.

Общие правила ухода, которые следует знать каждому машинисту, наблюдающему за работой холодильной машины, и мероприятия для устранения замеченных ненормальностей в работе будут следующие:

Замеченные ненормальности	Причина	Меры для устранения
Слишком высокое против нормального давление в конденсаторе.	Недостаток воды или слишком теплая вода для охлаждения конденсатора.	Пустить больше воды или более холодную воду на конденсатор.
Слишком низкое против нормального давление в конденсаторе.	Малое наполнение машины хладагентом.	Добавить некоторое количество хладагента в систему. (Способ указан на стр 130 § 7). Правильному давлению, соответствует температура хладагента, которая на 4—5°C выше температуры отходящей воды. (Подробности см. в таблице 17 справочника.)
Быстрое падение давления в испарителе и подъем давления в конденсаторе.	Регулирующий вентиль прикрыт или слишком мало открыт.	Открыть регулирующий вентиль.
Слишком большое давление в испарителе, нагнетательный трубопровод у места соединения с компрессором холоден.	Регулирующий вентиль открыт слишком много.	Прикрыть регулирующий вентиль.
Громкий стук клапанов в цилиндре компрессора.	Поломка клапана в цилиндре.	Сменить пружины клапана.
Ненормальная работа клапанов в цилиндре компрессора.	Загрязнение клапанов в цилиндре.	Осмотреть клапаны.
Уменьшение всасывания хладагента компрессором.	Неплотности в поршне цилиндра.	Осмотреть поршень.
Сальник штока поршня слишком нагревается.	Нагнетательный трубопровод у места соединения с компрессором слишком теплый.	Медленно приоткрыть регулирующий вентиль, добавить некоторое количество хладагента в систему.
Слишком большое давление в конденсаторе, сильное дрожание стрелки нагнетательного манометра и змеевиков конденсатора; температура, показываемая нагнетательным манометром, намного выше температуры отходящей воды.	Перепополнение машины хладагентом, или присутствие воздуха в машине.	Откачать хладагент; удалить воздух из машины.

УДУНТ
(ДІТ)

Замеченные ненормальности	П р и ч и н а	Меры для устранения
Плохое присасывание компрессора, давление в испарителе не понижается быстро при закрытом регулирующем вентиле.	Засорение сетки грязеуловителя.	Очистить или сменить сетку.
Общее ухудшение условий теплообмена, повышение давления конденсации.	Загрязнение внутренней поверхности змеевиков конденсатора и испарителя вследствие попадания масла; загрязнение поверхности конденсатора от отложений воды; загрязнение поверхности испарителя от отложений из рассола.	Проверить работу маслоотделителя; произвести чистку конденсатора и испарителя.
Выделение кристаллов льда в рассоле, обмерзание змеевиков испарителя.	Уменьшение концентрации рассола.	Добавить соль в рассол с частичным обновлением рассола *.
Большая утечка хладагента.	Неплотности в соединениях трубопроводов; образование свищей в змеевиках.	Осмотреть и обнаружить места утечки; подтянуть фланцы, сменить, где нужно, прокладки; змеевики, разъеденные ржавчиной, заварить автогенным способом.
Пропуск хладагента через сальник при слабой натяжке и сильное нагревание поршневого штока при усилении затяжки, несмотря на излишний расход смазки.	Несоответствующая набивка сальника.	Сменить набивку.
Нагревание поршневого штока, вкладышей подшипников и кривошипного механизма.	Недостаточная или неподходящая смазка.	Урегулировать подачу масла, заменить масло другим лучшего качества
Стук в подшипниках компрессора.	Разработка вкладышей, неправильное положение вала.	Осмотреть вкладыши, пришабрить и пригнать их к валу; выверить положение вала.

Перечисленными общими правилами нельзя исчерпать все возможные случаи могущих встретиться неправильностей в работе холодильной машины. Только значительный опыт при внимательном отношении может помочь во-время заметить ту или другую неправильность и во-время устранить.

* См. табл. 8, 10 и 12 Справочника.

IV. МАТЕРИАЛЫ, ПОТРЕБНЫЕ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ.

1. Аммиак.

Аммиак (NH_3) обладает удушливым запахом и раздражающим образом действует на слизистые оболочки. При содержании его в воздухе свыше 1% он сильно нарушает здоровье обслуживающего машину технического персонала. На медь и сплавы аммиак оказывает разрушительное влияние. Он жадно поглощается водой. Аммиак получается как побочный продукт при производстве светильного газа. Синтетически аммиак добывается под давлением в 200 ат из смеси азота и водорода. Безводный аммиак, применяемый в аммиачных холодильных машинах, не должен содержать больше 0,1% примесей.

2. Углекислота.

Углекислота (CO_2) не имеет запаха и совершенно не действует на металлы. При содержании ее в воздухе свыше 7% она вызывает удушье. Углекислота при температуре $-56,6^\circ \text{C}$ из пара переходит в твердое состояние или, как говорят, наступает сублимация; при этом она осаждается в виде снегообразной массы. Добывается углекислота при сжигании кокса действием кислот на известняки.

3. Сернистая кислота.

Сернистая кислота (SO_2) имеет тяжелый запах, сильно раздражает дыхательные органы даже при содержании в воздухе около 0,2%. При наличии влаги сернистая кислота химически соединяется с водой и образует серную кислоту (H_2SO_4), разъедающую металлы. На масла сернистая кислота действует разлагающим образом; она сама обладает смазочными свойствами.

4. Смазочные масла.

Для смазывания цилиндра и сальника штока холодильных машин требуется смазка, не замерзающая при низких температурах (-40°), без содержания смолистых веществ. Для аммиачных компрессоров применяется специальное компрессорное масло. Для углекислотных машин применяют глицерин. Сернокислотные машины не нуждаются в смазке, так как сернистая кислота сама обладает, как указано выше, смазочными свойствами.

Для смазывания подшипников коренного вала, ползуна и шатуна применяется машинное масло, отличающееся от компрессорного более высокой температурой застывания. Машинное масло применяется также для трансмиссий, вентиляторов и насосов. Для смазывания подшипников мешалок погружных конденсаторов и испарителей применяется технический вазелин, а для зубчатых передач—мазь из графита с салом. Для электромоторов употребляют особое так называемое моторное масло.

5. Разные материалы.

Для рассолов, как уже было указано в третьей главе, применяются поваренная соль (NaCl), хлористая магнезия (MgCl_2) и хлористый кальций (CaCl_2). Выбор той или другой соли зависит от наиболее низких температур, которые необходимо получить. Криогидратные точки для указанных рассолов приведены в третьей главе и в табл. 7, 9 и 11 Справочника.

Для прокладок между фланцами применяются клингерит и резина. Для набивки сальников применяется хлопчатобумажный шнур. Для набивки сальников поршневого штока применяются также специальные металлические кольца разных систем обычно по указанию завода-поставщика машины.

V. ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ.

1. Мелкий ремонт.

Мелкие ремонты холодильной машины следует производить неотложно, не нарушая при этом работы всей установки, т. е. не нарушая охлаждения помещений холодильника и т. п. Такие ремонты легко производить при наличии на установке запасного компрессора; ремонты в трубопроводах (как например смена набивок) должны производиться во время небольших перерывов в работе.

Текущий ремонт холодильной машины обыкновенно приурочивают на холодильниках к зимнему времени, когда машину останавливают на продолжительный срок.

2. Работы по текущему ремонту.

Основные работы по текущему ремонту бывают следующие:

- 1) промывка цилиндра компрессора, клапанов и притирка последних;
- 2) смена изношенных поршневых колец и манжет у углекислотных машин;
- 3) проверка и пришабровка вкладышей подшипников;
- 4) осмотр и притирка запорных вентилей, очистка регулирующего вентиля;
- 5) смена набивки сальников у насосов;
- 6) очистка змеевиков конденсатора и рефрижератора от загрязнений, их покраска и т. д.

При остановке холодильной машины на зимний период следует спустить воду из конденсатора, насосов, трубопроводов.

Надо помнить, что при всяких ремонтах аппаратов, компрессора и вообще частей машины, где циркулирует хладагент, необходимо, прежде чем приступить к ремонту, удалить хладагент из данной части машины путем ли перекачивания из одного аппарата в другой или путем откачивания хладагента в баллоны.

3. Опорожнение компрессора при ремонтах.

Для опорожнения компрессора при перемене сальниковой набивки, осмотре клапанов цилиндра и т. п. следует сперва за-

крыть запорный вентиль на всасывающем трубопроводе; после нескольких оборотов компрессора закрывают также запорный вентиль на нагнетательном трубопроводе. Лишь после этого незначительный остаток хладагента в компрессоре можно удалить из него на воздух или в воду через надетый заблаговременно на воздушный кран нагнетательной стороны резиновый рукав.

4. Опорожнение конденсатора при ремонтах.

Для опорожнения конденсатора, в целях его очистки, хладагент перекачивается из него компрессором в испаритель путем переключения всасывающей стороны компрессора на нагнетательный трубопровод и нагнетательной стороны компрессора на всасывающий трубопровод.

Второй способ удаления хладагента из конденсатора заключается в естественном испарении из него хладагента в трубчатую систему рефрижератора. Для этого следует остановить компрессор и широко открыть регулирующий вентиль; тогда хладагент примерно в полчаса перейдет почти полностью в испаритель и тем скорее, чем ниже температура окружающей испарительную систему среды. Небольшой остаток хладагента отводится наружу или в воду, как это было указано для опорожнения компрессора.

5. Опорожнение испарителя при ремонтах.

Опорожнение испарителя производится при закрытом регулирующем вентиле и при медленном ходе компрессора. Компрессор перекачивает тогда весь хладагент из испарителя в конденсатор. Когда стрелка манометра на всасывающей стороне компрессора дойдет до нуля, закрывают кран этого манометра и после дальнейших нескольких оборотов компрессора останавливают машину и закрывают запорный клапан у всасывающего трубопровода.

VI. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ.

Извлечение из Обязательного постановления Наркомтруда СССР от 23/X 1924 г.
№ 455/482.

1. Для наблюдения давления машины холодильных установок должны быть снабжены манометрами: компрессионные машины по крайней мере двумя манометрами — на конденсаторе и испарителе, а абсорбционные машины по крайней мере тремя манометрами: на конденсаторе, испарителе и абсорбере.

П р и м е ч а н и е. Предельное рабочее давление должно быть обозначено на манометре красной чертой.

2. При углекислотных машинах, обязательна установка двух предохранителей против чрезмерного повышения давления в трубопроводах: одного на 60 ат, соединяющего у компрессора, до запорного вентиля, всасывающий трубопровод с нагнетательным, и другого на 120 ат на нагнетательном трубопроводе для соединения последнего с атмосферой при повышении давления за указанный предел.

При аммиачных машинах, начиная с 15 000 кал/час, необходима установка одного предохранительного клапана у цилиндра машины. Этот клапан должен соединять нагнетательный и всасывающий каналы компрессора при повышении давления за предельное.

Предохранительный клапан должен быть так устроен, чтобы выходящий из него газ не попадал в атмосферу помещения.

Примечание. При новых установках аммиачных машин мощностью свыше 50 000 *ккал/час* на нагнетательном трубопроводе за маслоотделителем должен быть установлен обратный запорный клапан.

3. Машины и трубопроводы для сернистого ангидрида, аммиака, углекислоты и других вредных для здоровья холодильных реагентов должны быть выполнены и смонтированы с наибольшей тщательностью и содержаться в состоянии, обеспечивающем надлежащую плотность их, не допускающую протекания вредных газов в атмосферу рабочих помещений.

Примечание 1. Для трубопроводов сернистоангидридных машин предпочтительнее употребление медных труб ввиду возможности разъедания железных труб образующейся при наличии влаги серной кислоты. Для трубопроводов и частей аммиачных машин, наоборот, применение меди и ее сплавов недопустимо.

Примечание 2. При отыскании неплотностей аммиачных машин целесообразно употреблять например зажженный серный шнур, который при горении дает при действии аммиака густой белый дым. Отыскание неплотностей аммиачных машин по запаху воспрещается.

4. Во всех помещениях, где установлены аппараты и машины, работающие вредными для здоровья газами, должна быть устроена надлежащая вентиляция этих помещений.
5. Во всех вновь проектируемых помещениях для машин и аппаратов, работающих вредными газами, должны быть устроены два независимых друг от друга выхода, чтобы в случае прорыва вредных газов можно было оставить помещение.
6. В каждой установке должны иметься в достаточном числе противогазовые шлемы, которые должны употребляться при взрывах газов и при всех работах у неплотных мест, а также в тех случаях, когда можно опасаться выхода вредных газов, как то: при перебивке сальников, осмотре клапанов, цилиндров и т. п.; шлемы должны храниться у входа в машинное помещение и притом таким образом, чтобы резиновые части их не портились (не высыхали) от высоких температур. Для работ у аммиачных и сернистоангидридных машин рабочие должны снабжаться резиновыми перчатками для предохранения рук от ожогов.
7. Баллоны для жидких сернистого ангидрида, аммиака, углекислоты и других холодильных реагентов должны храниться в помещениях, совершенно изолированных от самих охлаждаемых камер, и ни в коем случае не должны подвергаться нагреву от какого-либо источника тепла, например — солнечных лучей, системы отопления и пр.
8. В помещениях, где установлены аммиачные машины и аппараты, не должно быть приборов освещения с открытым огнем или газонакаливные лампы и т. п. Как наиболее безопасное освещение должно быть применяемо электрическое — лампочками накаливания.
9. При новых установках помещения холодильных камер должны быть совершенно изолированы от машинных помещений, чтобы в случае взрывов или прорывов вредных газов в машинных помещениях рабочие, занятые в холодильных камерах, не могли пострадать.

Примечание. При небольших установках мощностью не свыше 30 000 *ккал/час* допускаются отступления от требований настоящей статьи.

10. При пробе машин и трубопроводов давлением воздуха допускается повышать давление на один прием не более 4—5 *ат*, причем после каждого такого повышения давления необходимо остановить компрессор и дать сжато-му воздуху охладиться.
11. При осмотре частей хлорметилловых и аммиачных машин, компрессоров, маслоотделителей и других аппаратов запрещается вводить в эти части открытый огонь (зажженные свечи и т. п.).
12. При наполнении системы холодильным реагентом запрещается поливать баллоны горячей водой или нагревать их.
13. При отыскании на любой части системы, трубопроводов, цилиндра, вентилей и пр. (после того, как вредные газы отпущены или выпущены) необходимо предварительно слегка отпустить болты откручиваемых фланцев, крышек и т. п. и убедиться, вполне ли отсутствуют вредные газы.
14. Применяемые в холодильных машинах реагенты: аммиак, хлорметил, сернистый ангидрид, углекислота — должны быть свободны от посторонних примесей.

Примечание. В углекислотных машинах можно добавить некоторое количество камфорного масла для придания запаха углекислоте в целях более легкого обнаружения неплотностей машины.

15. Запоры у дверей холодильных камер должны открываться как с наружной, так и с внутренней стороны.
16. Если камеры запираются на замок, каждая из них должна быть соединена с машинным отделением и со сторожем исправной действующей сигнализацией.
17. При работе с некоторыми сортами изоляционных материалов, как например минеральной шерстью, стеклянным шелком и т. п., опасными для глаз и для рук работающих, должны применяться специальные предохранительные очки и рукавицы или перчатки.
18. Рабочие холодильных установок должны снабжаться спецодеждой.
19. Среди обслуживающего холодильную установку персонала должно быть лицо, обученное оказанию первой помощи. При холодильной установке должна иметься аптечка с необходимыми медикаментами.

VII. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ МАСКИ.

Предохранительные респираторы, применяемые для производства работ, указанных в п. 6 Обязательного постановления Наркомтруда, представляют собой маски или шлемы, надеваемые на голову в целях защиты органов дыхания от проникновения вредных газов. Маски устраиваются с прослойкой, поглощающей вредные газы при дыхании. Шлемы-респираторы устраиваются с подачей посредством рукава чистого воздуха производящему работы в отравленном помещении. На фиг. 98 представлен снимок такого респиратора. Вместо шлемов-респираторов можно применять предохранительные маски, устроенные по образцу военных противогазов.



Фиг. 98. Противогазовая маска.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Как производится притирка клапанов?
2. Как производится уплотнение сальника?
3. Как производится пригонка вкладышей подшипников?
4. Как производится опробование холодильной машины?
5. Как произвести наполнение холодильной машины?
6. На сколько градусов температура рассола должна быть ниже температур в камерах?
7. В какой последовательности и какие работы надо производить при пуске холодильной машины?
8. В какой последовательности и какие работы надо производить при остановке холодильной машины?
9. Чем руководствоваться при регулировании холодильной машины?
10. Какие ненормальности в работе холодильной машины бывают и как их устранить?
11. Какое процентное содержание в воздухе паров того или другого хладагента становится опасным для жизни?

12. Какая смазка требуется для цилиндра аммиачного компрессора? То же для цилиндра углекислотного компрессора? Требуется ли особая смазка для цилиндра сернокислотного компрессора?

13. Как произвести опорожнение компрессора при необходимости внутреннего осмотра его цилиндра, клапанов, поршня?

14. Как производится опорожнение конденсатора?

15. Как производится опорожнение испарителя?

16. Что следует сделать при остановках холодильной машины в зимнее время на продолжительный период?

17. Где должны храниться противогазы, маски, шлемы, предназначенные для производства работ при несчастных случаях или при больших утечках хладагента?

ЗАДАЧИ

№ 25. Сколько потребуется поваренной соли для приготовления рассола, долженствующего работать при температуре $-10,2^{\circ}\text{C}$, если объем бака и всех рассольных систем составляет 3 000 л?

ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ

- Задача 1 $+40^{\circ}\text{C}$
 » 2 -10°C
 3 -5°C
 4 $+25^{\circ}\text{C}$
 5 $(16 - 10^{\circ}) \cdot 2\,000 = 12\,000 \text{ кал}$
 6 $(20 - 5^{\circ}) \cdot 3\,000 \cdot 1,03 \cdot 0,92 = 42\,642 \text{ кал}$
 7 $(50 - 1,8) \cdot 5 \cdot 0,48 + 35 \cdot 5 = 259 \text{ кал}$
 9 $5\,390 \text{ кал}$
 10 7987 кал
 11 $632 \cdot 30 = 18\,960 \text{ кал}$
 12 $\frac{311,21 - (13,15 + 28,9)}{0,452} = 595 \text{ кал}$
 13 $\frac{200\,000 \cdot 5 \cdot 0,1}{687,2} \cong 157\,000 \text{ кал}$
 14 $\frac{93,60 - (3,14 + 6,62)}{0,310} = 254 \text{ кал}$
 15 $\frac{50\,000}{251} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D^2}{4} \cdot 1,5 \cdot 160 \cdot 60$

$$\text{Откуда } D^3 = \frac{50\,000 \cdot 4}{251 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 160 \cdot 60} = 0,008$$

$$D = \sqrt[3]{0,008} = 0,2 \text{ м} = 200 \text{ мм}$$

$$H = 200 \cdot 1,5 = 300 \text{ мм}$$

- Задача 16 $\frac{200\,000 \cdot 150}{180} \cong 166\,000 \text{ кал/час}$
 17 около 11 л. с. (решать по формуле 7)
 18 $\frac{85}{0,85} = 100 \text{ л. с.}$
 19 $\frac{350\,000 + 632 \cdot 125}{1\,000} = 429 \text{ м}^2 \cong 430 \text{ м}^2$
 20 $\frac{350\,000}{1\,100} \cong 318 \text{ м}^2$
 21 $\frac{5\,000 \cdot 6}{(10 - 5) \cdot 25} = 240 \text{ пог. м труб}$
 22 1) Поверхность 1 пог. м =

$$= \frac{3,14 \cdot (0,031 + 0,042)}{2} \cong 0,119 \text{ м}^2$$

 2) На 1 м² идет 1 : 0,119 $\cong 8 \text{ пог. м труб}$
 3) $\frac{52\,000 \cdot 8}{1\,000} = 416 \text{ пог. м}$

23. Из табл. 5 справочника находим, что в 1 м^3 при -10°C содержится при абсолютной влажности $2,31 \text{ г}$ воды.

Из табл. 6 находим, что содержание влаги при психометрической разнице в 1°C составляет 66% . Отсюда содержание влаги в 1 м^3 воздуха при указанной относительной влажности составит:

$$2,31 \times 0,66 \cong 1,52 \text{ г воды.}$$

24.

а) Расход холода на теплопередачу через стены, пол и потолок.

Камера № 1. Наружные стены	$(12+10) \cdot 3,5 \cdot (25+10) \cdot 0,4 \cdot 24 \cong 25\,872$
стена в камеру № 2	$12 \cdot 3,5(10+0) \cdot 0,4 \cdot 24 = 4\,032$
стена в коридор	$10 \cdot 3,5(10+5) \cdot 0,4 \cdot 24 = 5\,040$
потолок	$10 \cdot 12 \cdot (25+10) \cdot 0,4 \cdot 24 = 40\,320$
пол	$10 \cdot 12(10+15) \cdot 0,4 \cdot 24 = 28\,800$
	104 064

Камера № 2. Наружная стена	$8 \cdot 3,5(25+0) \cdot 0,4 \cdot 24 = 6\,720$
стена в камеру № 1	потеря нет
стена в камеру № 3	$12 \cdot 3,5(0+2) \cdot 0,4 \cdot 24 \cong 8\,06$
стена в коридор	$8 \cdot 3,5(0+5) \cdot 0,4 \cdot 24 = 1\,341$
потолок	$8 \cdot 12 \cdot (25-0) \cdot 0,4 \cdot 24 = 23\,040$
пол	$8 \cdot 12 \cdot (15-0) \cdot 0,4 \cdot 24 \cong 13\,824$
	45 734

Камера № 3. Наружные стены	$(7+12) \cdot 3,5 \cdot (25-2) \cdot 0,4 \cdot 24 \cong 14\,850$
стена в камеру № 2	потеря нет
стена в коридор	$7 \cdot 3,5(5-2) \cdot 0,4 \cdot 24 \cong 760$
потолок	$7 \cdot 12 \cdot (25-2) \cdot 0,4 \cdot 24 \cong 18\,550$
пол	$7 \cdot 12 \cdot (15-2) \cdot 0,4 \cdot 24 \cong 10\,600$
	44 700

б) Расход холода на охлаждение и замораживание продуктов.

Камера № 1.	$6\,000(0,70 \cdot 5 + 80 \cdot 0,60 + 610 \cdot 0,03 + 0,40 \cdot 10) \cong 442\,800$
Камера № 2.	$18\,000 \cdot 0,70 \cdot (25-0) = 31\,5000$
Камера № 3.	$12\,000 \cdot 0,76 \cdot (15-2) = 118\,560$

в) Расход на охлаждение и осушение воздуха при вентиляции.

Камера № 1.	$12 \cdot 10 \cdot 3,5[0,31(25+10) + 0,61(0,80 \cdot 22,93 - 0,75 \cdot 2,31)] \cong 8\,800$
Камера № 2.	$12 \cdot 8 \cdot 3,5[0,31(25-0) + 0,61 \cdot (0,80 \cdot 22,93 - 0,70 \cdot 4,89)] \cong 5\,660$
Камера № 3.	$12 \cdot 7 \cdot 3,5[0,31(25-2) + 0,61(0,80 \cdot 22,93 - 0,70 \cdot 5,60)] \cong 4\,670$

Итого около $10\,90000 \text{ кал}$ в сутки

г) Потери при открывании дверей, освещение и т. п.

$$1\,090000 \times 0,15 \cong 163\,500 \text{ кал в сутки.}$$

Всего требуется расхода в сутки:

$$1\,090000 + 163\,500 = 1\,253\,500 \text{ кал в сутки.}$$

25. В табл. 7 справочника находим, что при температуре раствора $-10,2^\circ\text{C}$ содержание соли на 100 частей воды должно быть $15,5$, т. е. на 1 кг воды надо взять $0,155 \text{ г}$ поваренной соли, следовательно на $3\,000 \text{ л}$ воды требуется $0,155 \times 3\,000 = 465 \text{ кг}$ соли.

СПРАВОЧНИК

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

Таблица квадратов, кубов, квадратных корней и кубических корней чисел от 1 до 100 включительно.

Метод извлечения корней квадратного и кубического из любого числа знаящим алгебру известен.

Настоящей таблицей можно пользоваться и без знания указанного метода для извлечения квадратных и кубических корней из любого числа, разлагающегося на множители от 2 до 100 включительно.

При этом надо помнить, что квадратный или кубический корень из числа равен произведению квадратных и кубических корней из его множителей.

Так квадратный корень из $135 = \sqrt{135} = \sqrt{5 \times 27} = \sqrt{5} \times \sqrt{27}$. $\sqrt{5}$ и $\sqrt{27}$ имеются в таблице. Перемножив их, получим квадратный корень из 135.

Далее следует помнить, что квадратный или кубический корень из дробного числа равен частному квадратного и кубического корней числителя и знаменателя.

Так например корень кубический из $18,4 = \sqrt[3]{18,4} = \frac{\sqrt[3]{184}}{\sqrt[3]{10}} = \frac{\sqrt[3]{2 \cdot 92}}{\sqrt[3]{10}}; \sqrt[3]{2}, \sqrt[3]{92}$ и $\sqrt[3]{10}$ имеются в таблице.

Число n	Квадрат числа n^2	Куб числа n^3	Квадрат. корень числа $\sqrt{n}$	Кубич. корень числа $\sqrt[3]{n}$
1	1	1	1,00	1,00
2	4	8	1,41	1,26
3	9	27	1,73	1,44
4	16	64	2,00	1,59
5	25	125	2,24	1,71
6	36	216	2,45	1,82
7	49	343	2,65	1,91
8	64	512	2,83	2,00
9	81	729	3,00	2,08
10	100	1 000	3,16	2,15

n	n^2	n^3
11	121	1 331
12	144	1 728
13	169	2 197
14	196	2 744
15	225	3 375
16	256	4 096
17	289	4 913
18	324	5 832
19	361	6 859
20	400	8 000
21	441	9 261
22	484	10 648
23	529	12 167
24	576	13 824
25	625	15 625
26	676	17 576
27	729	19 683
28	784	21 952
29	841	24 389
30	900	27 000
31	961	29 791
32	1 024	32 768
33	1 089	35 937
34	1 156	39 304
35	1 225	42 875
36	1 296	46 656
37	1 369	50 653
38	1 444	54 872
39	1 521	59 319
40	1 600	64 000

$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$
3,32	2,22	41	1 681	68 921	6,40	3,45	71	5 041	357 911	8,43	4,14
3,46	2,29	42	1 764	74 088	6,48	3,48	72	5 184	373 248	8,49	4,16
3,61	2,35	43	1 849	79 507	6,56	3,50	73	5 329	389 017	8,54	4,18
3,74	2,41	44	1 936	85 184	6,63	3,53	74	5 476	405 224	8,60	4,20
3,87	2,47	45	2 025	91 125	6,71	3,56	75	5 625	421 875	8,66	4,22
4,00	2,52	46	2 116	97 336	6,78	3,58	76	5 776	438 976	8,72	4,24
4,12	2,57	47	2 209	103 823	6,86	3,61	77	5 929	456 533	8,78	4,25
4,24	2,62	48	2 304	110 592	6,93	3,63	78	6 084	474 552	8,83	4,27
4,36	2,67	49	2 401	117 649	7,00	3,66	79	6 241	493 039	8,89	4,29
4,47	2,71	50	2 500	125 000	7,07	3,68	80	6 400	512 000	8,94	4,30
4,58	2,76	51	2 601	132 651	7,14	3,70	81	6 561	531 441	9,00	4,33
4,69	2,80	52	2 704	140 608	7,21	3,73	82	6 724	551 268	9,06	4,34
4,80	2,84	53	2 809	148 877	7,28	3,76	83	6 889	571 787	9,11	4,36
4,90	2,88	54	2 916	157 464	7,35	3,78	84	7 056	592 704	9,17	4,38
5,00	2,92	55	3 025	166 375	7,42	3,80	85	7 225	614 125	9,22	4,40
5,10	2,96	56	3 136	175 616	7,48	3,83	86	7 396	636 056	9,27	4,41
5,20	3,00	57	3 249	185 193	7,55	3,85	87	7 569	658 503	9,33	4,43
5,29	3,04	58	3 364	195 112	7,62	3,87	88	7 744	681 472	9,38	4,45
5,39	3,07	59	3 481	205 379	7,68	3,89	89	7 921	704 969	9,43	4,46
5,48	3,11	60	3 600	216 000	7,75	3,91	90	8 100	729 000	9,49	4,48
5,57	3,14	61	3 721	226 981	7,81	3,94	91	8 281	753 571	9,53	4,50
5,66	3,17	62	3 844	238 328	7,87	3,96	92	8 464	778 688	9,59	4,51
5,74	3,21	63	3 969	250 047	7,94	3,98	93	8 649	804 357	9,64	4,53
5,83	3,24	64	4 096	262 144	8,00	4,00	94	8 836	830 584	9,70	4,55
5,92	3,27	65	4 225	274 625	8,06	4,02	95	9 025	857 375	9,75	4,56
6,00	3,30	66	4 356	287 496	8,12	4,04	96	9 216	884 736	9,80	4,58
6,08	3,33	67	4 489	300 763	8,19	4,06	97	9 409	912 673	9,85	4,59
6,16	3,36	68	4 624	314 432	8,25	4,08	98	9 604	941 192	9,90	4,61
6,25	3,39	69	4 761	328 509	8,31	4,10	99	9 801	970 299	9,95	4,63
6,32	3,42	70	4 900	343 000	8,37	4,12	100	10 000	1 000 000	10	4,64

Таблица теоретической холодопроизводительности 1 м³ паров аммиака.
(NH₃)

Температура испарения в °C	Температура перед регулирующим вентилем в ° C										
	+ 10	+ 12,5	+ 15	+ 17,5	+ 20	+ 22,5	+ 25	+ 27,5	+ 30	+ 32,5	+ 35
— 50	104,3	103,3	102,2	101,1	100,0	98,9	97,8	96,7	95,6	94,5	93,3
— 47,5	119,9	118,7	117,5	116,2	115,0	113,8	112,5	111,2	110,0	108,8	107,4
— 45	137,4	136,0	134,6	133,2	131,8	130,4	128,9	127,5	126,1	124,7	123,1
— 42,5	156,9	155,3	153,7	152,2	150,5	148,9	147,3	145,7	144,0	142,4	140,7
— 40	178,7	176,9	175,1	173,3	171,4	169,6	167,7	165,9	164,0	162,2	160,3
— 37,5	202,9	200,9	198,8	196,7	194,6	192,6	190,4	188,3	186,2	184,2	182,0
— 35	229,6	227,3	224,9	222,6	220,3	218,0	215,6	213,2	210,8	208,5	206,1
— 32,5	259,1	256,5	253,9	251,3	248,6	245,1	242,4	240,7	238,0	235,3	232,7
— 30	291,6	288,7	285,8	282,9	279,9	277,0	274,0	271,0	268,0	265,0	262,0
— 27,5	327,3	324,0	320,8	317,6	314,2	311,0	307,6	304,3	300,9	297,6	294,2
— 25	366,4	362,8	359,2	355,6	351,9	348,2	344,4	340,7	336,9	333,3	329,4
— 22,5	409,2	405,2	401,2	397,2	393,0	388,9	384,7	380,6	376,4	372,3	368,0
— 20	456,0	451,5	447,0	442,5	437,9	433,4	428,8	424,2	419,5	414,9	410,2
— 17,5	506,9	501,9	496,9	492,6	486,9	481,9	476,8	471,7	466,5	461,4	456,2
— 15	562,3	556,7	551,2	545,8	540,1	534,6	528,9	523,3	517,6	511,9	506,2
— 12,5	622,3	616,2	610,1	604,1	597,8	591,7	585,5	579,3	573,0	566,7	560,4
— 10	687,2	680,5	673,8	667,1	660,3	653,5	646,7	639,9	633,0	626,0	619,0
— 7,5	757,4	750,0	742,6	735,3	727,8	720,4	712,8	705,4	697,8	690,2	682,5
— 5	833,1	825,0	816,9	808,9	800,7	792,5	784,2	776,0	767,7	759,4	751,0
— 2,5	914,7	905,8	896,9	888,1	879,1	870,1	861,1	852,1	843,0	833,9	824,7
0	1002,5	992,8	983,1	973,3	963,5	953,7	943,9	934,0	924,1	914,1	904,0
+ 2,5	1096,9	1085,3	1075,7	1065,0	1054,3	1043,6	1032,8	1022,0	1011,2	1000,3	989,3
+ 5	1198,1	1186,6	1175,0	1163,4	1151,7	1140,0	1128,3	1116,5	1104,7	1092,8	1080,8
+ 7,5	1306,6	1294,1	1281,5	1269,0	1256,2	1243,5	1230,7	1217,9	1205,0	1192,0	1179,0
+ 10	1422,9	1409,3	1395,6	1381,9	1368,1	1354,3	1340,4	1326,4	1312,4	1298,3	1284,2

Как пользоваться настоящей таблицей при пересчете мощности компрессора заданной при одной температуре испарения и конденсации для работы с другими температурами испарения и конденсации, указано в главе 2. § 8 стр. 40

4

Таблица теоретической холодопроизводительности 1 м³ паров сернистой кислоты (SO₂)

Температура испарения в °C	Температура перед регулирующим вентилем в ° C										
	+ 10	+ 12,5	+ 15	+ 17,5	+ 20	+ 22,5	+ 25	+ 27,5	+ 30	+ 32,5	+ 35
— 30	103,9	102,9	101,8	100,8	99,8	98,7	97,7	96,6	95,6	94,9	93,4
— 27,5	118,2	117,0	115,9	114,7	113,5	112,3	111,1	109,9	108,7	107,5	106,3
— 25	133,8	132,5	131,2	129,9	128,6	127,3	125,9	124,5	123,2	121,8	120,4
— 22,5	150,5	149,0	147,6	146,1	144,6	143,1	141,6	140,1	138,6	137,1	135,5
— 20	168,9	167,3	165,6	164,0	162,3	160,6	158,9	157,2	155,5	153,8	152,0
— 17,5	189,4	187,6	185,7	183,9	182,1	180,2	178,3	176,4	174,5	172,5	170,5
— 15	212,0	210,6	209,0	207,0	205,9	204,8	203,7	202,6	201,5	200,3	199,1
— 12,5	237,1	234,9	232,6	230,5	228,1	225,8	223,4	221,0	218,6	216,2	213,7
— 10,5	264,3	261,8	259,3	256,8	254,2	251,6	249,0	246,3	243,6	240,9	238,2
— 7,2	293,1	290,3	287,5	284,7	281,8	278,9	276,0	273,1	270,2	267,0	264,2
— 5	324,0	320,9	317,7	314,6	311,4	308,2	305,0	301,8	298,6	295,3	292,0
— 2,5	356,9	353,4	349,9	346,5	343,0	339,5	336,0	332,5	328,9	325,3	321,7
0	392,8	389,0	385,2	381,4	377,6	373,9	369,8	365,9	362,0	358,0	354,0
+ 2,5	432,7	428,6	424,4	420,2	416,0	411,8	407,5	403,2	398,8	394,4	389,9
+ 5	476,5	472,0	467,4	462,8	458,2	453,5	448,8	444,0	439,2	434,3	429,4
+ 7,5	524,4	519,4	514,3	509,3	504,2	499,1	493,9	488,7	483,4	478,0	472,6
+ 10	576,5	571,0	565,5	559,9	554,3	548,6	542,9	537,1	531,3	525,4	519,5

Как пользоваться настоящей таблицей при пересчетах мощности компрессора заданной при одной температуре испарения и конденсации для работы с другими температурами испарения и конденсации, указано в главе 2 § 8.

Таблица теоретической холодопроизводительности 1 м³ паров углекислоты (CO₂) при давлении в конденсаторе, равном 80 ат.

Температура испарения в °C	Температура перед регулирующим вентилем в °C										
	+ 10	+ 12,5	+ 15	+ 17,5	+ 20	+ 22,5	+ 25	+ 27,5	+ 30	+ 32,5	+ 35
— 50	897	870	842	810	776	745	712	672	618	475	251
— 47,5	994	963	934	897	861	826	789	745	686	543	280
— 45	1 098	1 065	1 031	993	952	914	873	823	760	615	312
— 42,5	1 212	1 175	1 138	1 095	1 051	1 009	964	910	839	693	347
— 40	1 334	1 295	1 254	1 207	1 157	1 112	1 062	1 002	925	780	384
— 37,5	1 467	1 423	1 378	1 326	1 273	1 223	1 168	1 102	1 018	871	424
— 35	1 609	1 561	1 512	1 454	1 396	1 341	1 282	1 209	1 118	968	467
— 32,5	1 761	1 709	1 655	1 594	1 527	1 468	1 404	1 324	1 225	1 070	513
— 30	1 923	1 867	1 808	1 739	1 669	1 603	1 534	1 446	1 338	1 175	561
— 27,5	2 096	2 033	1 970	1 898	1 818	1 747	1 672	1 576	1 459	1 288	613
— 25	2 279	2 211	2 142	2 061	1 979	1 900	1 818	1 715	1 587	1 405	668
— 22,5	2 472	2 399	2 324	2 236	2 147	2 061	1 972	1 861	1 722	1 528	724
— 20	2 675	2 597	2 515	2 421	2 323	2 231	2 134	2 013	1 863	1 658	783
— 17,5	2 888	2 803	2 714	2 612	2 508	2 409	2 304	2 173	2 010	1 793	844
— 15	3 114	3 022	2 926	2 815	2 703	2 596	2 483	2 340	2 165	1 935	908
— 12,5	3 353	3 255	3 151	3 031	2 910	2 795	2 674	2 518	2 332	2 084	974
— 10	3 608	3 503	3 391	3 261	3 130	3 006	2 877	2 708	2 508	2 242	1 043
— 7,5	3 878	3 765	3 645	3 503	3 364	3 231	3 088	2 912	2 692	2 407	1 115
— 5	4 169	4 046	3 917	3 766	3 615	3 470	3 317	3 128	2 889	2 577	1 190
— 2,5	4 481	4 350	4 210	4 047	3 884	3 726	3 560	3 357	3 101	2 755	1 267
— 0	4 824	4 682	4 530	4 353	4 176	4 007	3 828	3 609	3 332	2 940	1 346

Как пользоваться настоящей таблицей при перерасчете мощности компрессора, заданной при одной температуре испарения и конденсации для работы с другой температурой испарения и конденсации, указано в главе 2, § 8.

Таблица веса 1 м³ воздуха и содержания влаги в 1 м³ воздуха при нормальном давлении (760 мм стр), но при разных температурах (Абсолютная влажность).

Температура в °Ц	Вес 1 м³ в кг	Содержание влаги в г	Температура в °Ц	Вес 1 м³ в кг	Содержание влаги в г	Температура в °Ц	Вес 1 м³ в кг	Содержание влаги в г
-25	1,424	0,64	+ 1	1,288	5,23	+ 26	1,181	24,24
-24	1,418	0,71	+ 2	1,284	5,60	+ 27	1,177	25,64
-23	1,412	0,78	+ 3	1,279	5,98	+ 28	1,173	27,09
-22	1,406	0,86	+ 4	1,275	6,39	+ 29	1,169	28,62
-21	1,401	0,95	+ 5	1,270	6,82	+ 30	1,165	30,21
-20	1,395	1,05	+ 6	1,265	7,28	+ 31	1,161	31,89
-19	1,390	1,15	+ 7	1,261	7,76	+ 32	1,157	33,64
-18	1,384	1,25	+ 8	1,256	8,28	+ 33	1,154	35,48
-17	1,379	1,35	+ 9	1,252	8,82	+ 34	1,149	37,40
-16	1,374	1,46	+ 10	1,247	9,39	+ 35	1,146	39,41
-15	1,368	1,58	+ 11	1,243	10,01	+ 36	1,142	41,51
-14	1,363	1,70	+ 12	1,239	10,64	+ 37	1,139	43,71
-13	1,358	1,83	+ 13	1,235	11,32	+ 38	1,135	46,00
-12	1,353	1,98	+ 14	1,230	12,03	+ 39	1,131	48,40
-11	1,347	2,14	+ 15	1,226	12,82	+ 40	1,128	50,91
-10	1,342	2,31	+ 16	1,222	13,59	+ 41	1,124	53,52
- 9	1,337	2,49	+ 17	1,217	14,49	+ 42	1,121	56,25
- 8	1,332	2,69	+ 18	1,213	15,31	+ 43	1,117	59,09
- 7	1,327	2,90	+ 19	1,209	16,25	+ 44	1,114	62,05
- 6	1,322	3,13	+ 20	1,205	17,22	+ 45	1,110	65,14
- 5	1,317	3,37	+ 21	1,201	18,25	+ 46	1,107	68,36
- 4	1,312	3,64	+ 22	1,197	19,33	+ 47	1,103	71,73
- 3	1,308	3,92	+ 23	1,193	20,48	+ 48	1,100	75,22
- 2	1,303	4,22	+ 24	1,189	21,68	+ 49	1,096	78,86
- 1	1,298	4,55	+ 25	1,185	22,93	+ 50	1,09	82,63
0	1,293	4,89						

Как пользоваться настоящей таблицей при расчете теплоты на вентиляцию см главу Б, §6

6.

Таблица для определения относительной влажности воздуха по психометру.

При температуре, показываемой сухим термометром °C	При разнице между сухим и смоченным термометром в °C						
	0,5°	1°	1,5°	2°	3°	4°	
— 10	83	66	49	32	—	—	Относительная влажность в процентах
— 9	84	68	52	37	—	—	
— 8	85	70	55	40	—	—	
— 7	86	72	58	45	—	—	
— 6	87	74	61	48	—	—	
— 5	88	75	63	51	—	—	
— 4	88	77	65	54	—	—	
— 3	89	78	67	56	36	—	
— 2	90	79	69	58	40	—	
— 1	90	80	71	61	43	—	
— 0	90	81	72	63	45	28	
+ 1	91	83	74	65	48	32	
+ 2	92	84	76	68	50	35	
+ 3	92	85	77	69	51	37	
+ 4	93	85	78	71	52	39	
+ 5	93	86	79	72	54	39	
+ 6	93	86	80	73	56	42	
+ 7	94	87	80	74	57	44	
+ 8	94	87	81	75	59	46	
+ 9	94	88	82	76	61	48	
+ 10	94	88	82	77	62	50	

Таблица рассолов из поваренной соли (хлористого натрия NaCl) 7

° Be	Удельный вес в кг	Процентное содержание соли в % в растворе	Содержание соли в 100 частях воды	Температура замерзания в °C	Теплоемкость (на 1 кг)	Теплосодержание 1 л рассола
1	2	3	4	5	6	7
0	0,999	0,0	0,0	0,0	1,000	0,999
1	1,006	0,9	0,9	— 0,5	0,986	0,992
2	1,013	1,9	1,9	— 1,1	0,972	0,985
3	1,020	2,9	3,0	— 1,7	0,961	0,980
4	1,028	3,9	4,1	— 2,4	0,950	0,976
5	1,035	4,9	5,2	— 3,1	0,939	0,972
6	1,042	5,9	6,3	— 3,8	0,929	0,968
7	1,050	7,0	7,5	— 4,5	0,919	0,965
8	1,058	8,0	8,7	— 5,3	0,909	0,961
9	1,066	9,1	10,0	— 6,1	0,899	0,958
10	1,074	10,2	11,3	— 7,0	0,889	0,955
11	1,082	11,3	12,7	— 8,0	0,880	0,952
12	1,090	12,3	14,1	— 9,1	0,871	0,949
13	1,098	13,4	15,5	— 10,2	0,863	0,947
14	1,106	14,5	17,0	— 11,3	0,855	0,946
15	1,115	15,6	18,5	— 12,5	0,847	0,944
16	1,124	16,7	20,1	— 13,7	0,839	0,943
17	1,133	17,9	21,8	— 15,1	0,832	0,942
18	1,142	19,0	23,5	— 16,5	0,824	0,941
19	1,151	20,1	25,2	— 17,9	0,817	0,940
20	1,160	21,2	26,9	— 19,4	0,810	0,940
21	1,169	22,3	28,7	— 21,0	0,803	0,939
21,1	1,170	22,4	28,9	— 21,2 *	0,802	0,939

* Криогидратная точка.

Таблица для производства расчета при добавлении соли с частичным обновлением рассола из поваренной соли (хлористого натрия — NaCl) с 10%-ным содержанием воды.

° Be	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	21,1°	
0	{ 52,7 135,0	{ 58,7 149,1	{ 64,9 163,6	{ 71,2 178,4	{ 77,7 193,7	{ 84,4 209,2	{ 91,3 325,1	{ 98,4 241,0	{ 105,6 257,0	{ 112,9 273,2	{ 120,5 289,5	{ 121,3 191,1	л кг
5	{ 32,7 80,9	{ 38,7 95,6	{ 45,0 110,3	{ 51,4 125,4	{ 58,0 140,6	{ 64,8 156,5	{ 71,8 172,2	{ 78,9 188,5	{ 86,2 205,1	{ 93,6 222,0	{ 101,2 239,0	{ 102,0 240,7	л кг
10	{ 6,4 14,6	{ 12,7 29,6	{ 19,2 44,9	{ 25,8 60,7	{ 32,7 77,4	{ 39,6 93,1	{ 46,8 109,8	{ 54,1 126,2	{ 61,5 143,1	{ 69,1 160,1	{ 76,9 177,5	{ 77,7 179,2	л кг
11	{ — —	{ 6,6 15,0	{ 13,2 30,4	{ 19,9 46,1	{ 26,8 62,3	{ 33,8 79,5	{ 41,0 95,5	{ 48,4 112,7	{ 55,9 129,4	{ 63,5 145,7	{ 71,3 154,0	{ 71,1 165,7	л кг
12	{ — —	{ — —	{ 6,7 15,4	{ 13,7 31,2	{ 20,6 47,3	{ 27,7 63,9	{ 35,0 81,6	{ 42,4 97,9	{ 50,0 115,5	{ 57,7 132,6	{ 65,5 150,2	{ 66,3 152,0	л кг
13	{ — —	{ — —	{ — —	{ 7,1 15,8	{ 14,2 32,0	{ 21,4 48,5	{ 28,7 65,5	{ 36,2 83,6	{ 43,8 100,3	{ 51,6 118,4	{ 59,5 135,8	{ 60,3 137,5	л кг
14	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ 7,4 16,2	{ 14,7 32,8	{ 22,1 49,7	{ 29,6 67,1	{ 37,4 85,7	{ 45,2 102,8	{ 52,2 121,2	{ 54,0 123,0	л кг
15	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ 7,7 16,6	{ 15,2 33,5	{ 22,8 50,9	{ 30,6 68,7	{ 38,8 87,8	{ 46,6 105,2	{ 47,4 106,9	л кг
16	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ 7,9 16,9	{ 15,7 34,3	{ 23,5 52,1	{ 31,5 70,3	{ 39,7 82,9	{ 40,5 91,9	л кг
17	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ 8,2 17,3	{ 16,2 35,1	{ 24,3 53,3	{ 32,5 71,9	{ 33,3 73,8	л кг
18	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ 8,5 17,7	{ 16,7 35,9	{ 25,0 51,5	{ 25,8 56,4	л кг
19	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ 8,7 18,1	{ 17,2 36,7	{ 18,0 38,6	л кг
20	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ 9,0 18,5	{ 9,8 20,4	л кг
21,1	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ — —	{ 0,9 18,4	л кг

Пользование настоящей таблицей:

Числа, показанные в каждой скобке, против напечатанных жирным шрифтом Be, обозначают: верхнее число — количество литров рассола, которое надо удалить из 1 м³ рассола с концентрацией, обозначенной в °Be по горизонтали, а нижнее число — количество килограммов соли (с содержанием 10% влажности), которое нужно прибавить, чтобы получить 1 м³ рассола с концентрацией, показанной в °Be по вертикали. Так например, если имеется 50 м³ рассола в 10°Be и хочет концентрацию довести до 15°Be, то следует при частичном обновлении рассола удалить: 32,7 л. × 50 = 1635 и прибавить соли: 77,4 кг. × 50 = 3870 кг соли.

Таблица рассолов из хлористого кальция (CaCl_2).

°Be	Удельный вес в кг	Процентное содержание соли в растворе в %	Содержание соли на 100 частей воды	Температура замерзания в °C	Теплоемкость на кг	Теплосодержание 1 л рассола
1	2	3	4	5	6	7
0	0,999	0,0	0,0	— 0,0	1,000	0,999
1	1,006	0,8	0,8	— 0,4	0,985	0,991
2	1,013	1,6	1,6	— 0,8	0,971	0,984
3	1,020	2,5	2,5	— 1,2	0,956	0,975
4	1,028	3,0	3,5	— 1,7	0,941	0,967
5	1,035	4,2	4,4	— 2,1	0,928	0,960
6	1,042	5,0	5,3	— 2,5	0,916	0,954
7	1,050	5,9	6,3	— 3,0	0,904	0,949
8	1,058	6,8	7,3	— 3,5	0,892	0,944
9	1,066	7,8	8,4	— 4,1	0,880	0,938
10	1,074	8,7	9,5	— 4,6	0,868	0,933
11	1,082	9,6	10,6	— 5,3	0,857	0,929
12	1,090	10,5	11,7	— 6,1	0,847	0,924
13	1,098	11,3	12,8	— 6,9	0,838	0,920
14	1,106	12,2	13,9	— 7,7	0,828	0,916
15	1,115	13,1	15,1	— 8,6	0,819	0,913
16	1,124	14,1	16,4	— 9,6	0,809	0,909
17	1,134	15,0	17,7	— 10,6	0,799	0,905
18	1,142	16,0	19,0	— 11,8	0,789	0,909
19	1,151	16,9	20,3	— 13,1	0,780	0,897
20	1,160	17,8	21,7	— 14,4	0,770	0,893
21	1,169	18,8	23,1	— 16,0	0,760	0,889
22	1,179	19,8	24,6	— 17,8	0,751	0,886
23	1,189	20,8	26,2	— 19,6	0,743	0,883
24	1,199	21,8	27,8	— 21,6	0,735	0,881
25	1,209	22,7	29,4	— 23,6	0,728	0,879
26	1,219	23,7	31,1	— 26,1	0,720	0,877
27	1,229	24,7	32,8	— 28,9	0,713	0,876
28	1,240	25,7	34,5	— 32,1	0,705	0,875
29	1,250	26,6	36,3	— 35,1	0,699	0,874
30	1,261	27,6	38,2	— 39,0	0,692	0,873
31	1,273	28,7	40,2	— 45,0	0,684	0,872
32	1,284	29,7	42,3	— 52,5	0,678	0,871
32,3	1,286	29,9	42,7	— 55,0*	0,676	0,871

* Криогидратная точка.

Таблица для произведения расчета при добавлении соли с частичным обновлением рассола из хлористого кальция (CaCl_2) с 30% ным содержанием воды

°Be	11°	16°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	32,2	
0 {	67 1-8	103 226	145 314	154 333	164 353	174 373	184 393	194 413	204 433	214 455	225 475	236 497	248 521	261 545	263 549	л кг
5 {	39 89	78 169	124 258	131 278	141 300	151 320	161 340	172 361	183 383	193 405	203 427	214 449	226 473	238 497	241 502	л кг
10 {	8 16	46 99	91 193	101 213	112 234	122 255	132 276	143 298	154 320	165 343	176 367	188 391	201 416	214 440	217 445	л кг
15 {	—	9 19	57 117	67 138	78 160	80 182	100 204	111 227	122 250	133 273	145 296	157 320	171 350	185 370	188 375	л кг
20 {	—	—	12 22	23 44	34 67	45 90	57 114	69 138	80 163	92 188	104 214	117 240	131 266	145 294	148 299	л кг
21 {	—	—	—	12 23	23 46	35 70	47 94	59 118	71 142	82 168	94 194	107 220	121 247	136 274	139 279	л кг
22 {	—	—	—	—	12 24	23 43	35 72	47 96	59 120	72 145	85 171	98 198	112 226	126 254	129 259	л кг
23 {	—	—	—	—	—	12 25	23 48	35 72	48 97	61 122	74 148	88 174	102 202	116 232	119 238	л кг
24 {	—	—	—	—	—	—	12 25	24 48	37 74	50 100	63 127	76 151	90 182	105 210	108 216	л кг
25 {	—	—	—	—	—	—	—	13 26	26 52	39 78	53 105	67 132	81 160	95 190	98 196	л кг
26 {	—	—	—	—	—	—	—	—	13 27	26 54	39 82	53 110	68 138	83 166	88 172	л кг
27 {	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14 28	27 55	41 83	56 112	71 142	74 148	л кг
28 {	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14 28	27 57	42 86	58 115	62 122	л кг
29 {	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15 30	32 62	47 92	50 98	л кг
30 {	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15 32	32 64	36 70	л кг
31 {	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16 32	20 38	л кг
32 {	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4 6	л кг
32,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Пользование настоящей таблицей такое же, как и табл. 8 на стр. 154.

Таблица рассолов из хлористой магнeзии ($MgCl_2$)

$^{\circ}Be$	Удельный	Процентное содержание соли в растворе в %	Содержание соли на 100 частей воды	Темпера- тура замерзания в $^{\circ}C$	Теплоем- кость (на 1 кг)	Теплосодер- жание 1 л рассола
0	0,999	0,0	0,0	0,0	1,000	0,999
1	1,006	0,9	0,9	— 0,4	0,986	0,992
2	1,013	1,7	1,7	— 0,9	0,972	0,985
3	1,020	2,6	2,7	— 1,4	0,959	0,978
4	1,028	3,5	3,6	— 2,0	0,946	0,970
5	1,035	4,4	4,6	— 2,6	0,933	0,966
6	1,042	5,2	5,5	— 3,3	0,921	0,960
7	1,050	6,1	6,5	— 4,0	0,909	0,954
8	1,058	7,0	7,8	— 4,8	0,897	0,948
9	1,066	7,8	8,5	— 5,6	0,885	0,943
10	1,074	8,7	9,5	— 6,5	0,873	0,937
11	1,082	9,6	10,6	— 7,5	0,861	0,932
12	1,090	10,5	11,7	— 8,7	0,849	0,925
13	1,098	11,4	12,9	— 10,0	0,839	0,920
14	1,106	12,3	14,0	— 11,6	0,827	0,915
15	1,115	13,2	15,2	— 13,4	0,817	0,911
16	1,124	14,1	16,4	— 15,5	0,805	0,905
17	1,133	15,1	17,8	— 17,9	0,793	0,898
18	1,142	16,1	19,2	— 20,3	0,783	0,894
19	1,151	17,1	20,6	— 23,3	0,771	0,888
20	1,160	18,1	22,1	— 26,3	0,760	0,882
21	1,169	19,1	23,6	— 29,2	0,749	0,874
22	1,179	20,1	25,2	— 32,2	0,737	0,868
23,5	1,184	20,6	25,9	— 33,6 *	0,732	0,866

* Криогидратная точка.

Таблица для производства расчетов при добавлении соли с частичным обновлением рассола из хлористого магния ($MgCl_2$) с 50%-ным содержанием воды.

° Be	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	22,5	
0	126 208	138 229	151 251	165 273	179 296	193 319	208 343	224 368	241 393	259 419	276 446	294 473	303 487	л кг
5	75 124	89 146	103 169	118 192	133 216	148 241	164 267	181 293	199 321	217 349	236 378	255 407	265 421	л кг
10	14 22	28 46	43 71	58 96	74 122	91 149	109 177	128 205	147 233	166 264	185 295	205 326	216 341	л кг
11	— —	15 23	30 48	46 74	62 100	79 127	96 155	115 184	134 214	153 244	173 275	194 307	205 323	л кг
12	— —	— —	15 24	31 51	48 77	65 105	83 133	101 162	120 193	140 224	160 255	181 287	192 303	л кг
13	— —	— —	— —	16 25	33 53	50 81	63 110	87 139	107 170	127 201	147 233	168 266	179 282	л кг
14	— —	— —	— —	— —	17 27	35 55	53 85	72 115	92 146	112 178	133 211	154 244	165 261	л кг
15	— —	— —	— —	— —	— —	18 28	36 58	55 89	75 120	96 152	117 186	139 220	151 237	л кг
16	— —	— —	— —	— —	— —	— —	18 29	37 61	58 93	79 126	101 159	123 193	135 211	л кг
17	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	19 30	40 63	61 98	83 132	106 167	118 185	л кг
18	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	21 32	42 66	64 102	87 138	99 156	л кг
19	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	22 33	44 69	67 106	79 125	л кг
20	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	23 35	47 72	59 92	л кг
21	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	24 36	38 56	л кг
22	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	13 19	л кг

Пользование настоящей таблицей такое же, как и табл. 8 на стр 154.

Таблица содержания влаги в продуктах, теплоты затвердевания и теплоемкости

Род продуктов	Содержание влаги в %	Теплота затвердевания кал/кг	Теплоемкость	
			до затвердевания кал/кг	после затвердевания кал/кг
Мясо тощее	70	56	0,76	0,41
Мясо жирное	50	40	0,60	0,35
Свинина жирная	40	32	0,52	0,32
Птица и дичь тощая	70	56	0,76	0,41
Рыба тощая	75	60	0,80	0,43
Рыба жирная	60	48	0,68	0,38
Яйца	70	56	0,76	0,41
Масло сливочное	15	12	0,64	0,30
Икра	43	34	0,70	0,31
Масло топленое	1	—	0,60	0,25
Сыр тощий	50	—	0,60	0,35
Сыр жирный	30	—	0,44	0,29
Сметана	73	—	0,68	0,32
Творог	80	—	0,70	0,45
Сливки	75	48	0,85	0,50
Молоко	87	70	0,94	0,60
Сало топленое	1	30	0,60	0,40
Растительные масла	—	—	0,50	0,35
Шоколад	1	30	0,6	0,4
Фрукты	75—90	60—72	0,8—0,9	0,4—0,5
Овощи и зелень	75—90	60—72	0,8—0,9	0,4—0,5
Пиво	91	78	0,95	—
Вина	95—99	78	0,99	—

Таблица норм убыли в процентах пищевых продуктов при замораживании и холодном хранении

Наименование продуктов	При охлаждении и замораживании	Продолжительность хранения в месяцах					
		1	2	3	4	5	6
Мясо крупного скота охлажден.	2,5	1,2	—	—	—	—	—
Мясо крупного скота морожен.	3,0	0,8	1,4	1,8	2,2	2,5	2,8
Свинина охлажденная	2,5	1,0	—	—	—	—	—
Свинина мороженая	3,0	0,8	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
Баранина	3,5	1,0	1,5	1,9	2,3	2,7	3,0
Сало сырое мороженое	—	0,5	0,8	1,0	1,2	—	—
Сало топленое	—	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
Птица и дичь	—	0,6	1,0	1,3	1,6	1,8	2,0
Рыба красная мороженая	1,5	0,6	1,0	1,3	1,6	1,8	2,0
Рыба частиковая мороженая	2,0	0,8	1,3	1,7	2,0	2,3	2,5
Рыба соленая	—	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0
Рыба копченая	—	0,8	1,4	1,8	2,2	2,5	2,8
Икра зернистая	—	0,2	0,4	0,6	0,8	—	—
Икра паюсная	—	0,1	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5
Масло сливочное	—	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	—
Масло топленое	—	0,1	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5
Сметана	—	1,0	1,5	2,0	—	—	—
Творог	—	2,0	2,5	3,0	—	—	—
Сыры (при + 6°С)	—	1,5	2,2	2,8	3,3	3,7	4,0
Яйца	—	0,3	0,6	0,9	1,1	1,3	1,5
Яблоки (при + 2°С)	—	1,5	3,0	5,0	7,0	9,0	12,0
Груши	—	1,5	3,0	5,0	—	—	—
Виноград	—	1,5	2,5	3,5	—	—	—
Лук	—	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0

Таблица 15

наиболее благоприятных температур для хранения пищевых продуктов в камерах холодильников, потребной влажности и вентиляции воздуха.

Наименование продуктов	Температура в °С	Относительная влажность воз- духа в %	Вентиляция: число раз об- мена воздуха в сутки	Наименование продуктов	Температура в °С	Относительная влажность воз- духа в %	Вентиляция: число раз об- мена воздуха в сутки
1. Мясо							
Остывочная при бойне	От + 8 до + 12	80—90	4—6	Замораживание частиковой рыбы	От - 14 до - 10	90—100	0—1
Охлажденное мясо крупного скота	» + 2 » + 4	80—85	2—4	Хранение частиковой рыбы	» - 10 » - 6	90—95	0—1
Охлажденная баранина	» + 0 » + 2	75—80	2—4	Хранение копченой рыбы	» - 0 » + 2	80—85	1—2
Охлажденная свинина	» - 2 » 0	75—80	2—4	Хранение сушеной рыбы	» + 2 » + 4	75—80	1—2
Камеры для замораживания:				Хранение сельдеш в бочках	» + 2 » + 6	80—95	1—2
Мяса крупного скота	» - 12 » - 10	85—90	1—2	Хранение паюсной икры	» - 7 » - 4	85—90	0—1
Баранины	» - 12 » - 8	80—85	1—2	Хранение зернистой икры	» - 2 » 0	85—90	1—2
Свинины	» - 12 » - 8	80—85	1—2	4. Яйца			
Камеры для быстрого замораживания мяса				При осмотре	» + 4 » + 8	75—80	0—1
Замороженное мясо крупного скота	» - 10 » - 8	85—90	1—2	При хранении	» - 1 » + 1	75—80	2—4
Замороженная баранина	» - 6 » - 4	85—90	1—2	При отеплении перед выпуском из холодиль.	» + 6 » + 8	70—75	4—6
Замороженная свинина	» - 7 » - 5	85—90	1—2	5. Молоко, молочные продукты			
Камеры для хранения:				Молоко в бидонах	» + 2 » + 12	90—95	0—1
Солонины	» + 1 » + 4	85—90	0—1	Хранение сгущенного молока в банках	» 0 » + 2	80—85	0—1
Бэкона	» + 2 » + 4	80—85	1—2	Хранение сметаны и творога	» + 1 » + 4	75—80	1—2
Шпика	» + 2 » + 4	80—85	1—2	Хранение масла	» - 6 » - 4	80—90	1—2
Сала-сырца	» - 6 » - 4	80—85	0—1	Хранение сыра	» + 1 » + 4	80—85	1—2
Сала топленого	» 0 » + 5	80—85	0—1	Хранение растительных масел	» + 1 » + 4	80—85	0—1
Копченостей	» + 2 » + 4	70—75	1—2	Хранение маргарина	» + 1 » + 4	75—80	0—1
Колбас вареных	» + 4 » + 8	80—85	1—2	6. Фрукты и ягоды			
Колбас копченых	» + 0 » + 4	65—70	1—2	Хранение яблок, груш и слив	» + 1 » + 3	75—80	—4
Мясных консервов	» + 1 » + 4	80—85	—	Хранение апельсинов, мандаринов, лимон.	» + 2 » + 4	80—85	2—4
2. Битая птица и дичь				Хранение винограда	» + 2 » + 5	80—90	2—4
Охлаждение битой птицы	» + 0 » + 1	80—85	4—6	Хранение клубники, малины	» + 1 » + 4	80—85	2—4
Замораживание битой птицы и дичи	» - 14 » - 10	85—90	1—2	Хранение сушеных фруктов	» + 4 » + 6	75—80	1—2
Хранение битой птицы и дичи	» - 10 » - 6	85—90	1—2	7. Овощи и зелень			
3. Рыба				Хранение картофеля	» + 1 » + 3	80—85	2—4
Охлаждение свежей рыбы	» - 2 » 0	90—100	0—1	Хранение помидоров	» + 2 » + 6	80—85	1—2
Замораживание красной рыбы	» - 20 » - 12	90—100	0—1	Хранение капусты	» + 0 » + 2	80—85	2—4
Хранение красной рыбы	» - 12 » - 8	90—95	0—1	Хранение лука	» 0 » + 4	80—85	1—2

Таблица норм загрузок на 1 м² площади камер холодильника и способ упаковки.

Род продуктов	Нагрузка на 1 м ² в кг	Способ упаковки и загрузки
1. Мясо		
Остывочное	125—160	Подвес на рельсовых путях
Охлажденное	125—160	
Замораживаемое	180—200	
Мороженое	500—650	Штабелями
2. Птица и дичь		
Замораживаемая	110—150	Стеллажи, подвесы, ящики, корзины
Мороженая	500—600	
3. Рыба		
Замораживаемая	110—150	Подвесы, стеллажи
Мороженая	500—600	
		Штабелями в корзинах, ящиках, бочках
4. Яйца	450—500	В ящиках
5. Сыр	400—450	На полках
6. Масло	650—700	В бочках
7. Фрукты и ягоды	400—450	В различной упаковке: ящиках, корзинах, решетках
8. Овощи и зелень	500—650	Различная укладка

Таблица соотношений между давлением нагнетания хладагентов и температурой отходящей воды из конденсатора.

Температура отходящей воды в ° Ц	Давление нагнетания		
	NH ₃	SO ₂	CO ₂
13	6,6	2,1	54,1
14	7,2	2,2	55,6
15	7,8	2,3	57,1
16	8,1	2,4	58,6
17	8,4	2,5	60,0
18	8,7	2,6	61,5
19	9,0	2,7	62,9
20	9,3	2,9	64,4
21	9,7	3,1	65,9
22	10,0	3,2	67,5
23	10,3	3,3	69,0
24	10,7	3,4	70,6
25	11,0	3,6	72,1
26	11,4	3,8	73,7
27	11,8	3,9	74,3
28	12,2	4,0	76,5
29	12,5	4,2	78,7
30	12,9	4,4	81,0
31	13,3	4,6	—
32	13,7	4,8	—
33	14,2	5,0	—
34	14,6	5,1	—

З а м е ч е н н ы е о п е ч а т к и .

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
3	5 сверху	о теплоте, и применение	о теплоте и применение
4	26 »	вухтрубный	Двухтрубный
4	28 »	ля	для
4	17 снизу	эмевиками и бак.	змеевиками и баком
10	13 »	силами, сцепления	силами сцепления
12	9 сверху	$1^{\circ}\text{Ц} = \frac{80}{180} = \frac{4^{\circ}}{9} \text{Р};$	$1^{\circ}\text{Ф} = \frac{80}{180} = \frac{4^{\circ}}{9} \text{Р};$
12	14 »	помножить на дробь $\frac{4}{5}$; $32 \times \frac{4}{5} = 40^{\circ}\text{Ц}$	помножить на дробь $\frac{5}{4}$; $32 \times \frac{5}{4} = 40^{\circ}\text{Ц}.$
13	25 »	от шкалы Цельсия, тем	от шкалы Цельсия тем,
13	15 снизу	$273 + 15 = 288^{\circ} \text{Ц}$ абсолют- ных	$273 + 15 = 288^{\circ}$ абсолют- ных.
17	1 сверху	Вот это определенная	Вот эта определенная
17	3 снизу	97,5	97,25
17	1 снизу	121850	12150
20	10 сверху	кротическая	критическая
20	17 »	NH	NH ₃
23	15 снизу	3,55 м	3,5 м
23	2	кал в 1 час, а сутки $126,4 \times = 3033,6 \text{ кал}$	кал в 1 час при разности в 1°, а в сутки $26,4 \times 25 \times$ $\times 24 = 75840 \text{ кал}$
23	1 »	3033 кал	75850 кал
24	6 сверху	$8550 + 3033 = 11583 \text{ кал}$	$8550 + 75850 = 84400 \text{ кал}$
25	6 »	Эта линия есть 0—3—0—5	эта линия есть 0—3—0'—5
26	21 »	5 Ц	5°Ц
27	5 »	водная	водяная
30	4 »	испарителя замерзнуть	испарителя и замерзнуть
34 (в табли- це 1 в столб- це 5)	{ 4 »	317,24	317,29
	{ 5 »	309,62	306,64
	{ 6 »	301,59	301,52
35	22 снизу	изначает	означает
38	в заголовке столбца 3	} теплосодержание 1 к	теплосодержание 1 кг
38 в табл. III	в заголовке столбца 7	} кг/см ₂	кг/см ²
38	в столбце 5 строка 1	90,20	99,20
40	8 сверху	парев	паров
40	11 »	условиях, которых	условиях, которым
40	23 »	температура испарения	температура испарения
40	21 снизу	10°Ц	-10°Ц
41	16 »	$2,96 \text{ кг}^{-1}$	$2,97 \text{ кг}$
42 в табли- це IV	в заголовке под чертой	$2,93 \text{ кг/см}^2$	$2,97 \text{ кг/см}^2$
		хладагенты	хладагенты
		NO ₄ CO ₂ SO ₂	NH ₃ CO ₂ SO ₂
43 (в при- мечании)	{ 6 снизу	π—обозначает отношение	π обозначает отношение
	{ 5 »	длины окружности к диа- метру, равное 3,14. D ²	длины окружности к диа- метру, равное 3,14.
		D.D. есть диаметр в квад- рате	D ² =D.D есть диаметр в квдрате.
44 в приме- чании	5	$V = (2 \cdot \frac{\pi D^2}{4} - \frac{d^2}{4}) \cdot H \cdot n \cdot 60$	$V = (2 \cdot \frac{\pi D^2}{4} - \frac{d^2}{4}) \cdot H \cdot n \cdot 60$
47	13 сверху	будет возрастать	будет уменьшаться
48	12 снизу	а ход H оставим m, то умножив	а ход H оставим в m, то умножив в формуле

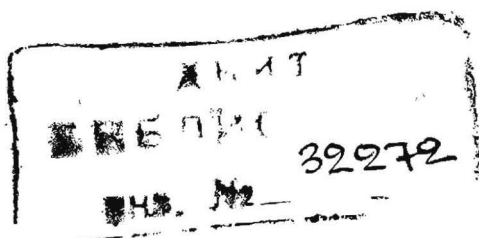
З а м е ч е н н ы е о п е ч а т к и .

Страница	Строка	Напечатано	должно быть
48	5 снизу	лошадиных сил, которые обозначим через букву <i>N</i> со значком <i>i</i>	<i>эта строка должна быть опущена, как дважды набранная</i>
63	3 сверху (над фиг. 21)	} 6. свинцовая прокладка	7. Свинцовая прокладка
74	7 сверху	кран <i>L</i>	кран <i>I</i>
78	16 »	поршень индикаторов	поршень индикатора
78	18 »	надетый	надетом
83	12 »	на подшипник	на подпятник
90	2 снизу	охлаждающая, вода	охлаждающая вода
91	2 сверху	элементарными конденса- торами	элементными конденса- торами
94	16 »	на трубу	на трубы
95 (в приме- чании)	2 снизу	способа Оттензеи	способа Оттезена
104	5 »	Лесселя	Глесселя
109	13—14 (в пе- реносе)	по-поставленные	поставленные
112	1 сверху	переработки	переборки
114	16 снизу	конденционирования	кондиционирования
114	2 »	психометрическая	психрометрическая
116	20 сверху	владеет	владеет
117	20 снизу	в сутк	в сутки
120	19 »	$G \cdot (c_2 t_2$	$G \cdot c_2 \cdot t_2$
121	14 сверху	все	вес
122		222	122
122	3 сверху	$G \cdot c_2 (t_n - t_2)$	$G \cdot c_2 (t_n - t_2)$
122	7 »	c_2	c_2
125	3 »	Равна	равна
131	24	$3,14 \frac{D}{4} \cdot H$	$3,14 \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H$
131	25 »	Hg	H
131	26 »	$= 12 \text{ дм}$	$D = 12 \text{ дм}$
134	26 »	$5^\circ 1,20$	$5^\circ 1,20$
137	9 снизу	своей установки	всей установки
145	(в ответе за- дачу 15)	D^2	D^3
150	в таблице 2 в столбце под + 15°, 14 стро- ка сверху	} 469,9	496,9
150	в таблице 2 в столбце под + 25°, 8-ая стро- ка сверху	} 213,4	243,4
150	в таблице 4 в столбце «темпе- ратура испаре- ния в °Ц	{ строка 9 сверху — 10,5 » 10 » — 7,2	{ — 10 — 7,5
152	в таблице 5 про- тив температуры + 17° показано содержание вла- ги	} 14,49	14,43

НБ
УДКУНТ
(ДНТ)

З а м е ч е н н ы е о п е ч а т к и.

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
153	строка 2 сверху	психометру	психометру
153	в таблице 6 под столбцом 1° 2-ая строка снизу	97	87
154 (таблица 8)	в столбце под 15°	1-ая строка сверху 777	77,7
	» 17°	2-ая сверху 325,1	225,1
	» 21°	11-ая снизу 82,9	89,9
	» 21°	7-ая снизу 51,9	54,5
154	8 строка снизу	Бе	°Бе
155	в таблице 9	в столбце 4-ом 4-ая строка сверху 25	2,5
		» 7-ом 16.ая строка снизу 0,909	0,901
156	в таблице 10	в столбце под 24° 7-ая строка сверху 80	89
		в столбце под 32,2° 14-ая строка снизу 88	86
158	(Пропущен № таблицы)		12
159	в таблице 15, 10-ая строка снизу	- 4	2—4



НЕ
УДУНТ
(ДИТ)

Сканувала Тараненко Т.В.

НБ
УДКУНТ
(ДІП)