

назначенные обычно для складирования груза, играют роль воздухо-распределяющего устройства. Их основные размеры (высота, количество и диаметр отверстий, шаг между отверстиями в продольном и поперечном направлении) выбирают в результате аэродинамического расчета, а не из конструктивных соображений, как для обычных решеток. Высота воздухо-распределяющих

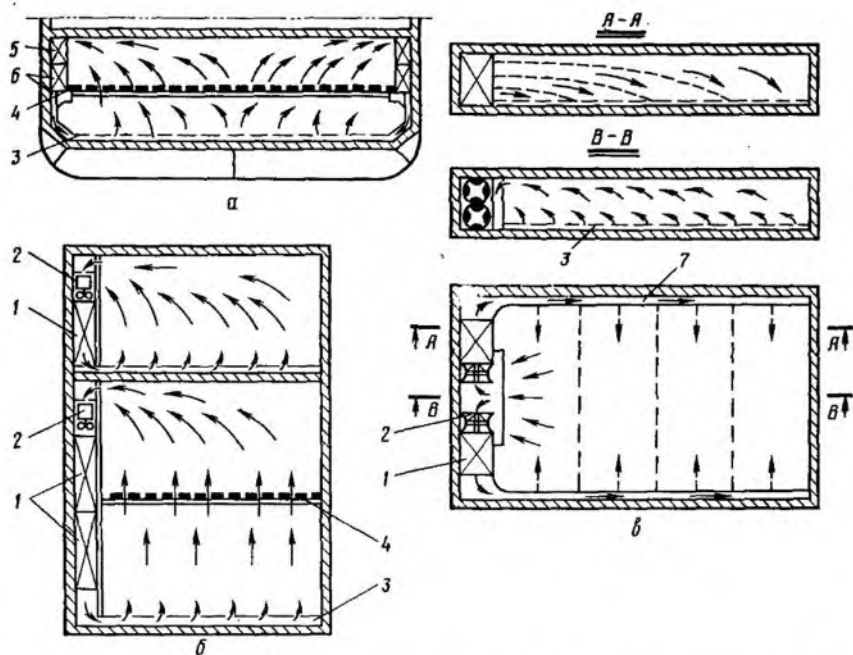


Рис. XVII.4. Схема воздушной системы охлаждения с вертикальным воздухо-распределением:

а — с бортовыми всасывающими и нагнетательным каналами; б — с грузовыми решетками, используемыми в качестве воздухо-распределяющего устройства; в — с бортовыми нагнетательными каналами (система «Робсон»); 1 — воздухоохладитель; 2 — электровентилятор; 3 — грузовая решетка; 4 — промежуточная перфорированная палуба; 5 — бортовой всасывающий канал; 6, 7 — бортовые нагнетательные каналы.

решеток зависит от размеров трюма, производительности, напора вентиляторов и составляет 200—450 мм (против 60—80 мм для обычных решеток). Элемент воздухо-распределяющей решетки, примененной на транспортных рефрижераторах типа «Уральские горы», изображен на рис. XVII.5.

Из охлаждаемого помещения воздух (см. рис. XVII.4) через всасывающие окна осевыми вентиляторами 2 подается в воздухоохладитель 1, а затем под грузовые решетки 3. Воздух под грузовыми решетками находится под небольшим избыточным статическим давлением, что способствует его равномерному истечению по всей площади трюма. Это достигается тем, что суммарное сечение выходных отверстий в решетках в 2—3 раза меньше живого сечения подводных каналов. Как правило, трюмы с одним твиндеком сообщаются через перфорированную палубу 4 и представляют собой один охлаждаемый контур с общими воздухоохладителями на оба эти помещения.

Система воздушного охлаждения такой конструкции обеспечивает достаточно равномерное распределение воздуха по всему объему трюма, однако в загруженных трюмах наблюдается явление байпасирования воздуха, заключаю-

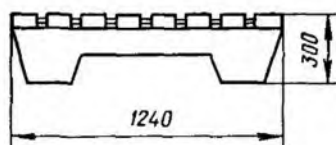
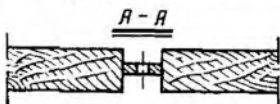
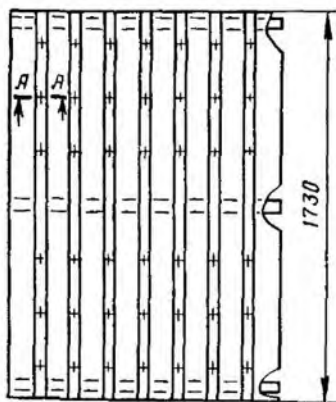


Рис. XVII.5. Грузовая воздухораспределительная решетка.



щегося в том, что часть воздуха обходит штабель груза, не принимая участия в его охлаждении. Исследования показывают, что только часть воздуха (40—60%) охлаждает груз; этим объясняется то, что температура воздуха у всасывающей полости воздухоохладителя пониженная. Из-за неравномерности температурного поля в твиндеке и трюме фактическая продолжительность охлаждения груза увеличивается по сравнению с теоретической.

На современных рефрижераторных судах обычно применяют системы охлаждения при непосредственном кипении R22 в воздухоохладителях. Напор вентиляторов составляет 0,3—0,6 кПа, а их производительность соответствует кратности циркуляции, равной 40—120 объемам в час по отношению к объему пустых трюмов.

Меньшие значения кратности циркуляции характерны для судов, перевозящих мороженные и другие грузы, не требующие большого доохлаждения. Большие значения кратности циркуляции применяют на судах, предназначенных для перевозки фруктов.

## ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ХОЛОДИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

**Рефрижераторный подвижной состав.** Изотермические вагоны классифицируют в зависимости от эксплуатационного назначения — на универсальные и специальные. По способу охлаждения вагоны могут быть с машинным охлаждением, с охлаждением водным льдом или льдосоляной смесью. По комплектации различают вагоны, обращающиеся секциями (12-вагонная секция, 5-вагонная секция) и автономные вагоны.

Все рефрижераторные вагоны имеют стандартные наружные габариты. Вагон обычно цельносварной конструкции, наружная обшивка кузова имеет горизонтальные гофры, внутренняя — вертикальные. В соответствии с последними требованиями МПС СССР длина вагона составляет 21 м, ширина 3,1 м (вспомогательные вагоны могут быть меньшей длины). В центральной части грузовые вагоны имеют герметично закрывающиеся двери, проем которых составляет не менее 2000 мм в высоту и 1430 мм в ширину и обеспечивает возможность проезда погрузчика с поддонами.

Холодильные установки совместно с отопительным оборудованием полностью автоматизированы и обеспечивают поддержание заданных температур воздуха в грузовом объеме с отклонениями  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

Все типы рефрижераторных вагонов имеют центральное энергоснабжение, смонтированное в одном из вагонов поезда или секции, а в автономном вагоне дизельгенераторные установки смонтированы внизу на одной раме с холодильно-отопительной установкой. Силовые агрегаты имеют защитную автоматику.

Основные характеристики наиболее характерных рефрижераторных вагонов приведены в табл. XVII.1.

**Автономный рефрижераторный вагон.** Вагон предназначен для вывоза скоропортящихся продуктов с небольших предприятий пищевой промышленности, из колхозов, совхозов, с продовольственных баз. Автономная энергети-

Таблица XVII.1

Рефрижераторный подвижной состав	Геометрические характеристики грузового вагона		Грузоподъемность, т	Средний коэффициент теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Система охлаждения	Температура воздуха в грузовом помещении, °С		Холодильная установка			Суммарная мощность электродвигателя, кВт
	длина, м	погрузочный объем, м <sup>3</sup>				при охлаждении	при отоплении	Хладагент	количество агрегатов	общая холодопроизводительность, кВт	
			19	21	21						17
Автономный вагон (ГДР) с кузовом	88,0	40	0,32	Воздушная	-18	14	R12	2	18,6 ( $t_0 = -15^{\circ}\text{C}$ ; $t_K = 50^{\circ}\text{C}$ )	12,0	
с панелями «сандвич»	110,0	40	0,28	Воздушная	-20 ÷ -30	14	R12	2	21,2 ( $t_0 = -15^{\circ}\text{C}$ ; $t_K = 50^{\circ}\text{C}$ )	12,0	
5-вагонная секция (БМЗ)	108,0	42,0	0,30	Воздушная	-20	12	R12	2	27,8 ( $t_0 = -14^{\circ}\text{C}$ ; $t_K = 50^{\circ}\text{C}$ )	10,0	
12-вагонная секция	78,0	41,0	0,31	Рассольные батареи	-12	12	Аммиак	2	109 ( $t_0 = -20^{\circ}\text{C}$ ; $t_K = 45^{\circ}\text{C}$ )	16,0	

ческая и холодильно-отопительная установка позволяет подключить этот вагон к любому железнодорожному составу.

Запасы топлива, смазки, воды достаточны для непрерывной работы установки в течение 8 сут. Пополнение этих запасов, обслуживание и текущий ремонт вагонов выполняют на специальных пунктах в пути следования и в местах погрузки и выгрузки. Некоторые автономные вагоны имеют также служебное помещение.

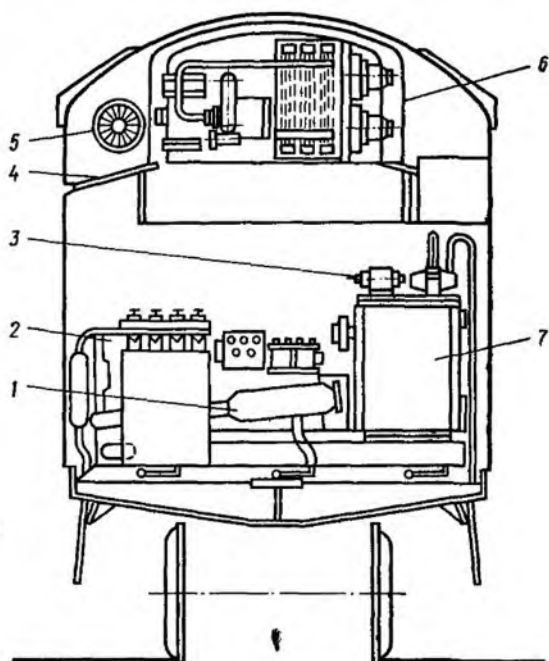


Рис. XVII.6. Схема размещения оборудования в автономном рефрижераторном вагоне: 1 — установка для подогрева дизеля; 2 — дизель-генератор; 3 — топливный электронасос; 4 — канал для подачи свежего воздуха; 5 — вентилятор; 6 — канал для подачи свежего воздуха; 7 — топливный бак; 8 — канал для подачи свежего воздуха.

Автономный рефрижераторный вагон (рис. XVII.6) имеет две самостоятельные энергетические и холодильно-отопительные установки, смонтированные на общей раме и расположенные в двух машинных отделениях у торцевых переборок вагона.

В нижней части установлен дизель-генератор переменного тока со щитом управления, с трубопроводами, регулирующей и защитной арматурой. Мощность двигателя — 20,2 кВт.

Холодильно-отопительная установка находится в верхней части под крышей вагона и состоит из компрессорно-конденсаторного агрегата со щитом управления, расположенного в машинном отделении.

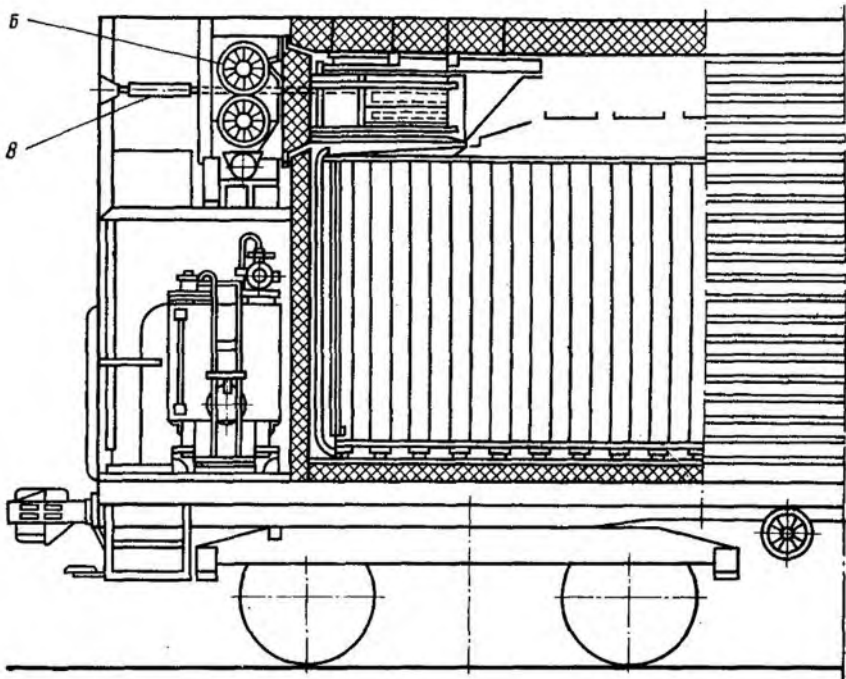
Воздушные конденсаторы площадью поверхности 72 м<sup>2</sup> позволяют эксплуатировать холодильную установку при сравнительно высокой температуре конденсации (до 65 °С).

Воздухоохладитель площадью поверхности 64 м<sup>2</sup> с регулирующей арматурой, двумя электровентильными и электропечью размещены в грузовом помещении.

Схема холодильной установки изображена на рис. XVII.7. Установка может работать с температурой от -40 до +5 °С при максимальной темпера-

туре и конденсации равной  $65^{\circ}\text{C}$ . Включение и выключение холодильно-отопительной установки, а также процесс оттаивания воздухоохладителя автоматизированы.

Завод Дессау (ГДР) изготавливает автономные рефрижераторные вагоны с кузовом в виде панелей типа «сэндвич», в которых применяют вспененные заливочные изоляционные материалы. Такая панель является несущим элементом изоляционной конструкции. Толщина изоляции такого кузова меньше,



вагоне:

4 — сток для отвода дождевой воды; 5 — электровентилятор машинного отделения; 6 —

а коэффициент теплопередачи изоляционной конструкции вагона не выше, чем в обычной конструкции из-за полного исключения тепловых мостиков.

**5-Вагонные рефрижераторные секции.** В состав отечественного парка изо-термических вагонов входят три типа 5-вагонных рефрижераторных секций: постройки ГДР с пятью грузовыми вагонами; постройки ГДР с четырьмя грузовыми вагонами; отечественной постройки Брянского машиностроительного завода (БМЗ). Принципиальные схемы холодильно-отопительных установок и охлаждающих систем у этих рефрижераторных секций примерно одинаковы. Различие их состоит в компоновке энергетического и холодильно-отопительного оборудования, его мощности, размерах и грузоподъемности вагонов.

Рефрижераторные секции (рис. XVII.8 и XVII.9) имеют одинаковую схему размещения оборудования. В состав секции входят четыре чисто грузовых вагона длиной 21 м с машинными отделениями по торцам каждого вагона, в которых расположено холодильно-отопительное оборудование, и один вспомогательный вагон длиной 17 м. В этом вагоне размещены служебные помещения и дизель-электростанция для централизованного снабжения электроэнергией всех вагонов. В состав дизель-электростанции секции ГДР входят два дизель-генератора мощностью по 66,7 кВт и один мощностью 20,2 кВт, а в состав секции БМЗ — два дизель-генератора мощностью по 75 кВт.

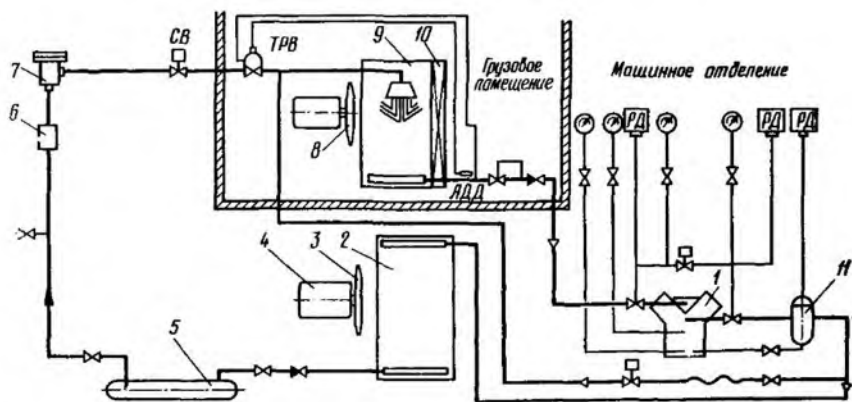


Рис. XVII.7. Принципиальная схема холодильной установки автономного рефрижераторного вагона:

1 — компрессор; 2 — конденсатор; 3 — вентилятор конденсатора; 4 — электродвигатель; 5 — линейный ресивер; 6 — фильтр-осушитель; 7 — фильтр; 8 — вентилятор воздухоохладителя; 9 — воздухоохладитель; 10 — электронагреватель; 11 — маслоотделитель.

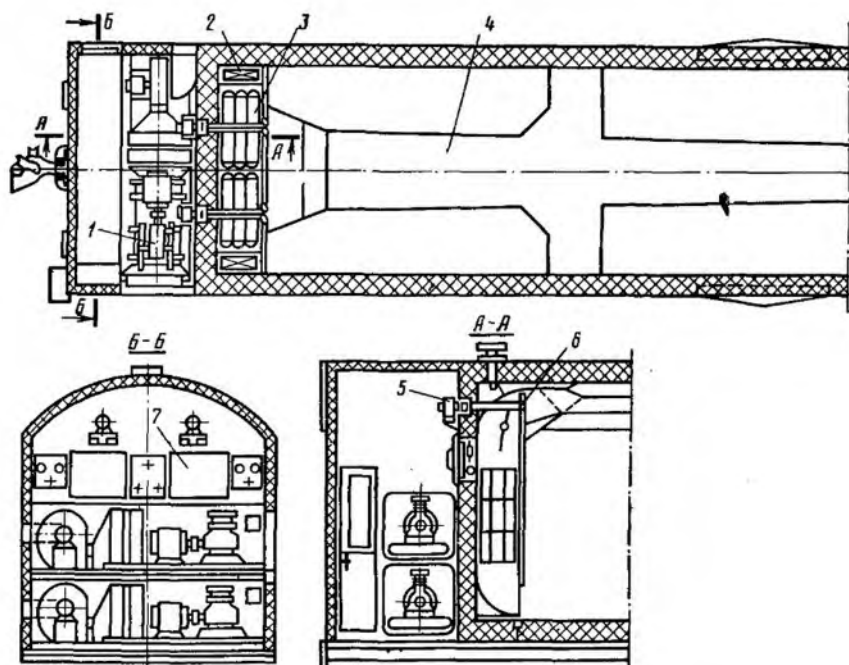


Рис. XVII.8. Грузовой вагон 5-вагонной рефрижераторной секции ГДР (с пятью грузовыми вагонами):

1 — компрессорный агрегат; 2 — электронагреватель; 3 — воздухоохладитель; 4 — воздушный канал; 5 — электродвигатель вентилятора; 6 — вентилятор; 7 — регулирующая станция.

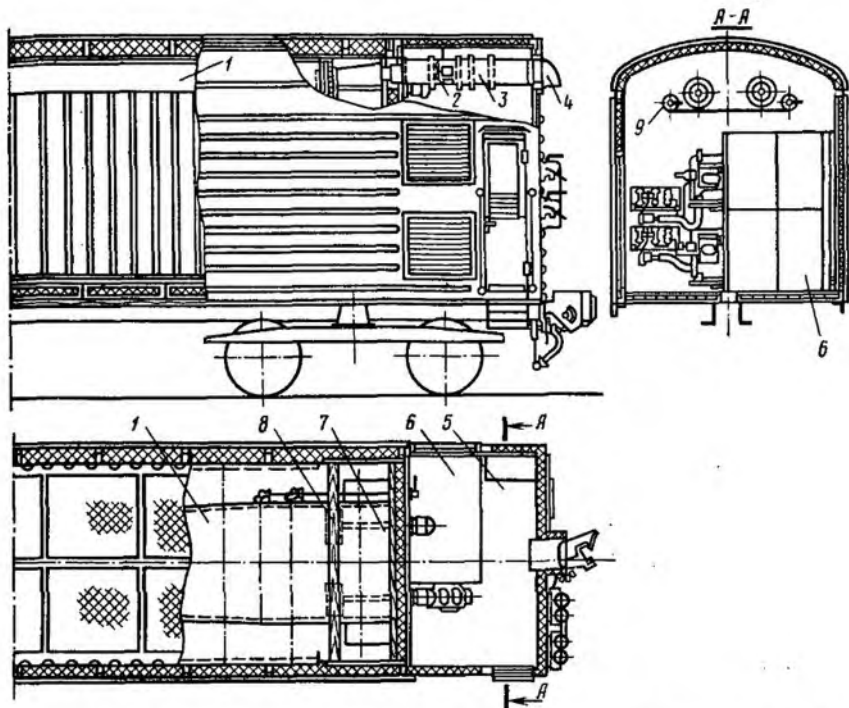


Рис. XVII.9. Грузовой вагон 5-вагонной рефрижераторной секции БМЗ:

1 — воздуховод подачи воздуха в грузовое помещение; 2 — вентилятор подачи свежего воздуха; 3 — воздуховод подачи свежего воздуха в отсек воздухоохлаждителя; 4 — воздухоприемное отверстие свежего воздуха; 5 — машинное отделение; 6 — компрессорно-конденсаторные агрегаты; 7 — воздухоохлаждитель; 8 — вентилятор циркуляционного воздуха в грузовом помещении; 9 — рукоятки заслонок на воздуховоде подачи свежего воздуха.

Различие между 5-вагонными секциями БМЗ и ГДР состоит в том, что грузовые вагоны БМЗ имеют одномашинное отделение с двумя холодильно-отопительными установками, а грузовые вагоны ГДР — два машинных отделения с одной холодильной установкой в каждой.

Общая длина секции составляет 85—101 м, поэтому секция целиком может размещаться на железнодорожной платформе стационарного холодильника, длина которой около 120 м. Таким образом, грузовые операции могут проводиться во всех грузовых вагонах секции одновременно, в результате чего простой вагонов во время грузовых операций будет минимальным.

**12-Вагонная рефрижераторная секция.** Такая секция состоит из 10 грузовых вагонов-холодильников и двух вспомогательных вагонов: одного вагона, в котором размещены служебные помещения и дизель-электростанция, состоящая из трех дизель-генераторов мощностью 66,7 кВт каждый, и одного вагона — машинного отделения.

Внутри находятся вспомогательные вагоны секции, а с каждой стороны от них — по пяти грузовых вагонов. Из-за большой длины 12-вагонной секции осуществлять погрузочно-разгрузочные операции на железнодорожной платформе холодильника можно только в пяти вагонах одновременно.

Холодильное оборудование размещено в вагоне — машинном отделении и состоит из двух аммиачных машин двухступенчатого сжатия.

Рассольная система в грузовом вагоне состоит из четырех оребренных батарей, которые размещены под потолком вагона с уклоном к боковым стенам. Между вагонами магистральные рассолопроводы соединены гибкими шлангами,

по концам которых имеются специальные головки с клапанами, не позволяющими рассолу вытекать при расцепке вагонов.

**Специальные вагоны.** К числу специальных вагонов относятся цистерны-термосы для перевозки молока, цистерны-термосы и вагоны-термосы для перевозки вина и вагоны для перевозки живой рыбы. Эти вагоны имеют теплоизоляцию из мипоры толщиной 200—300 мм, коэффициент теплопередачи которой составляет 0,28—0,6 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Вагоны представляют собой изотермические емкости и не имеют холодильной установки. Вагон-термос для перевозки вина и вагон для перевозки живой рыбы имеют баки со льдом.

## АВТОМОБИЛЬНЫЙ ХОЛОДИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

На автомобильном холодильном транспорте перевозят продукты в замороженном и в охлажденном виде. При этом осуществляют как внутригородские, так и международные перевозки на значительные расстояния, исчисляемые несколькими тысячами километров.

**Средства автомобильного транспорта.** Характеристики некоторых изотермических автомобилей и авторефрижераторов, эксплуатируемых в СССР, приведены в табл. XVII.2.

Изотермический кузов имеет деревянно-металлическую или облегченную цельнометаллическую конструкцию. В первом случае несущей конструкцией является деревянный каркас, во втором наружный металлический корпус, а внутренняя зашивка крепится к нему с помощью деталей с низким коэффициентом теплопроводности.

Перспективным также являются ограждающие конструкции типа «сандвич» с коэффициентом теплопередачи не выше 0,3 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Способы охлаждения авторефрижераторов могут быть различными.

Таблица XVII.2

Модель автомобиля	Грузоподъемность, т	Температура в кузове, °С	Коэффициент теплопередачи кузова, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Способ охлаждения
<b>Изотермические автомобили</b>				
НИСА-521	0,88	+1	0,35	Сухим льдом
Ераз-762И	0,8	—	0,4	
ГЗСА-950	3,0	—	0,60	
<b>Авторефрижераторы</b>				
ЛуМз-946	0,575	от 4 до -2	0,70	Машинно-аккумуляционное
ЛуМз-890	2,5	от 4 до -15	0,65	Машинное (встроенная холодильная установка АР-4 с приводом от автономного бензинового двигателя)
ЕрАз-3730	0,7	от 5 до -20	0,40	Азотное
Н-7Х (полу-прицеп)	0,7	от 5 до -18	0,35	Машинное (встроенная холодильная установка)
Н-10Х	10,0	от 5 до -18	0,35	То же
Н-12Х	12,0	от 12 до -20	0,35	Машинное (навесная холодильная обогревательная установка Вис-31 с приводом от автономного бензинового двигателя)



**Охлаждение водным льдом или льдосоляной смесью.** В настоящее время такой способ охлаждения применяют редко. При охлаждении водным льдом температуру в кузове можно поддерживать до  $6^{\circ}\text{C}$ , а льдосоляной смесью — до  $-6^{\circ}\text{C}$ . Приборы охлаждения выполняют в виде металлических бачков с водным льдом или льдосоляной смесью и размещают в кузове под потолок.

**Охлаждение зероторами с эвтектическими растворами.** Как и предыдущий, этот способ охлаждения в настоящее время не является распространенным. Кузов охлаждают с помощью эвтектических растворов с низкой температурой замерзания. Этими эвтектическими растворами заполняют герметически закрытые металлические сосуды-зероторы различных геометрических форм. Зероторы замораживают в специальных холодильных камерах до температуры на  $8-10^{\circ}\text{C}$  ниже температуры замерзания эвтектического раствора. Затем зероторы подвешивают под потолком или на стенах в кузове автомобиля. Воздух в кузове охлаждается за счет теплоты плавления замороженного эвтектического раствора.

**Охлаждение сухим льдом.** Этот способ применяют при перевозке замороженных пищевых продуктов и мороженого. Дробленный сухой лед загружают в металлические решетчатые контейнеры или закрытые камеры. Для более равномерного распределения температур и концентрации углекислоты используют вентилятор, который обдувает этот контейнер. Часто сухой лед кладут непосредственно на продукты или в пакетах между продуктами. Работой вентиляторов (пуском, остановкой) управляет термореле, контролирующее температуру воздуха в камере.

Иногда при охлаждении сухим льдом используют вторичный хладагент (R12 или R22) для поддержания температуры в кузове. Такая установка состоит из системы полых плит, размещенных в камере и в бункере с сухим льдом и соединенных между собой трубопроводами. По принципу термосифона фреон циркулирует, перенося теплоту из кузова к сухому льду. Однако такие установки сложны и применяются редко.

Преимуществом охлаждения сухим льдом является простота и надежность в работе, небольшая масса и объем оборудования, а главный недостаток этого способа охлаждения заключается в ограниченной возможности регулирования температуры воздуха.

**Машинно-аккумуляционное охлаждение.** Этот способ охлаждения применяют в основном в малотоннажных авторефрижераторах для внутригородских перевозок. Холодильная установка включает в себя небольшой герметичный компрессорно-конденсаторный агрегат, установленный в кабине водителя или под полом кузова, и аккумуляционные охлаждающие приборы, размещенные внутри грузового объема кузова. Аккумуляционные охлаждающие приборы представляют собой металлические плоские плиты, выполненные обычно из нержавеющей стали. Внутри плит находится змеевик, по которому циркулирует хладагент и который, таким образом, является испарителем холодильной машины. Внутренняя полость плиты на 90% объема заполнена эвтектическим раствором NaCl или KCl с эвтектической температурой, соответственно равной  $-21,2^{\circ}\text{C}$  и  $-11,1^{\circ}\text{C}$  в зависимости от требуемого температурного режима внутри кузова.

Эвтектический раствор замораживают путем включения в работу холодильной машины от внешней электросети во время стоянки автомобиля. Днем, при движении автомобиля, холодильная установка не работает, а охлаждение кузова осуществляется за счет холода, аккумулируемого плитами. Эвтектический раствор, как и в зероторах, плавится в результате поглощения наружных и внутренних теплотитоков.

Установка надежна, проста в обслуживании и не требует ухода в пути. Недостатками установки являются ее большая масса, невозможность регулирования температуры воздуха в кузове и ограниченное время работы между двумя зарядками. Такие установки работают на отечественных авторефрижераторах ЛуМз-946.

**Машинное охлаждение.** Этот способ охлаждения применяют в авторефрижераторах различной грузоподъемности для поддержания и регулирования температур воздуха в кузове в широком диапазоне от  $+12$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Установка представляет собой автоматизированную компрессорную холодильную

машину, работающую на R12. Конденсатор и воздухоохладитель, как правило, воздушные.

Агрегатированную холодильную установку в виде единого моноблока монтируют обычно в верхней лобовой части кузова авторефрижератора, при этом компрессор с конденсатором размещены снаружи кузова, а воздухоохладитель — в проеме лобовой стенки кузова авторефрижератора. Конденсатор размещен спереди агрегата и закрыт специальными жалюзийными решетками. В ряде случаев эти жалюзийные решетки имеют автоматическое управление для регулирования количества воздуха, поступающего на конденсатор, в зависимости от его наружной температуры. В этом случае давление конденсации регулируется с помощью реле давления, которое через специальный механизм меняет положение жалюзийных решеток, регулируя таким образом поступление воздуха к конденсатору.

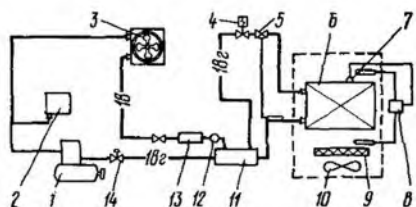


Рис. XVII.10. Принципиальная схема холодильной установки авторефрижератора:

1 — компрессор; 2 — реле давления; 3 — конденсатор; 4 — соленоидный вентиль; 5 — терморегулирующий вентиль; 6 — воздухоохладитель; 7 — термореле конца цикла оттаивания; 8 — реле разности давления; 9 — электронагреватель; 10 — вентиль; 11 — регенеративный теплообменник; 12 — смотровое стекло; 13 — фильтр-осушитель; 14 — регулятор давления всасывания.

Схемы отличаются обычно способами оттаивания и регулирования. Оттаивание воздухоохладителя может осуществляться как горячими парами (путем автоматического переключения на работу по обращенному циклу), так и с помощью электронагревателей.

На большегрузных авторефрижераторах Н-12Х (ЧССР) смонтирована холодильно-обогревательная установка Bis-31 (рис. XVII.11).

Когда температура окружающей среды ниже температуры, которую

охлаждает установка, компрессор работает по обратному циклу, и тепло от конденсатора передается в воздухоохладитель.

Когда температура окружающей среды выше температуры, которую

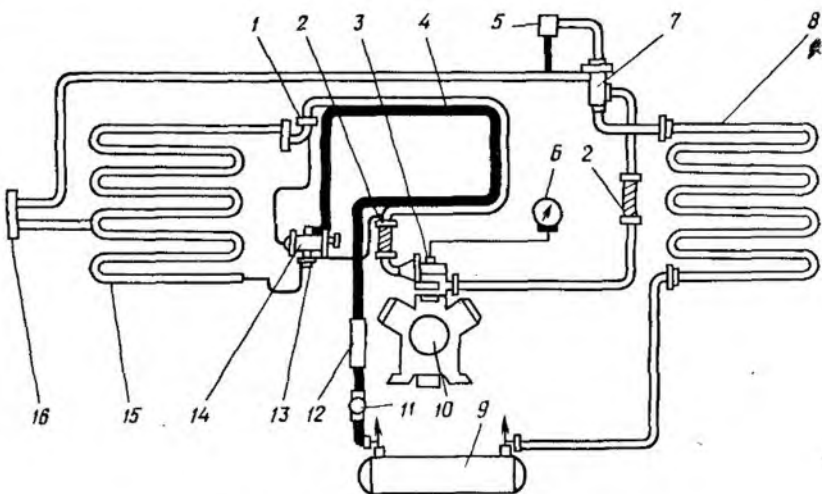


Рис. XVII.11. Схема холодильно-обогревательной установки:

1 — всасывающий коллектор; 2 — гибкое соединение; 3 — регулятор давления всасывания; 4 — регенеративный теплообменник; 5 — соленоидный вентиль; 6 — мановакуумметр; 7 — двухходовой клапан; 8 — конденсатор; 9 — ресивер; 10 — смотровое стекло; 11 — фильтр-осушитель; 12 — распределитель фреона; 13 — терморегулирующий вентиль; 14 — испаритель; 15 — распределительный коллектор системы оттаивания и режима обогрева.

нужно поддерживать в кузове (например, при перевозке фруктов), установка работает по схеме обогрева, переключение на которую производят вручную.

Холодильные установки на авторефрижераторах могут иметь привод от автономного бензинового двигателя в авторефрижераторах внутреннего сгорания. Преимущества такого привода заключаются в возможности работы холодильной установки при движении и стоянке авторефрижератора, что особенно важно для внутригородских перевозок, а недостаток — в увеличенной массе установки. Существуют и другие способы привода от двигателя автомобиля.

На крупнотоннажных авторефрижераторах применяют иногда небольшой автономный дизель-генератор для выработки электроэнергии и питания ею электродвигателя компрессора.

#### Охлаждение сжиженными газами.

Для этих целей используют азот, воздух или углекислоту. Наиболее распространено охлаждение жидким азотом, который получается в виде побочного продукта при производстве кислорода. Система охлаждения жидким азотом<sup>1</sup> (рис. XVII.12) обеспечивает поддержание в кузове температуры воздуха до  $-20^{\circ}\text{C}$  при температуре наружного воздуха до  $45^{\circ}\text{C}$ . Сосуд 2 с жидким азотом, имеющий вакуумно-поршневую изоляцию, размещен внутри кузова авторефрижератора. Для поддержания избыточного давления в сосуде служит испаритель 5, в который жидкий азот поступает через вентиль 3 и регулятор давления 4.

К расшилительному коллектору 10 жидкий азот подается автоматически с помощью электромагнитного клапана 9. Заданный температурный режим внутри кузова поддерживается автоматически с помощью регулятора температуры.

Основное преимущество охлаждения жидким азотом состоит в простоте конструкции и эксплуатации, в возможности регулирования температуры в широком диапазоне, в быстром понижении температуры воздуха в кузове. К недостаткам относятся сравнительно высокая стоимость азота и необходимость сети заправочных станций.

## РЕФРИЖЕРАТОРНЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ

Перевозка скоропортящихся грузов в охлаждаемых контейнерах позволяет сделать холодильную цепь совершенно непрерывной и избежать использования дорогостоящих холодильных складов для временного хранения грузов на промежуточных этапах. По данным Института комплексных транспортных проблем, производительность труда во всей технологической сети повышается в этом случае в 2—4 раза. Контейнеры участвуют в международных

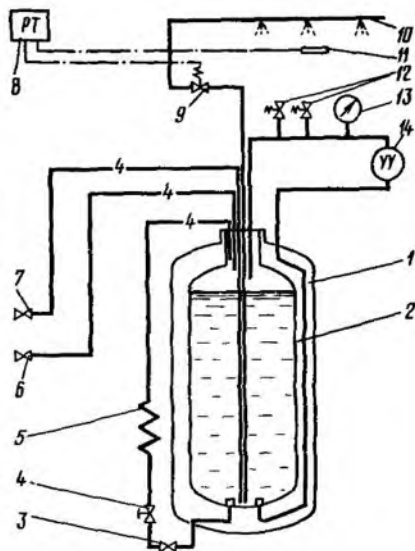


Рис. XVII.12. Принципиальная схема азотной установки:

1 — наружный кожух; 2 — внутренний сосуд; 3 — вентиль; 4 — регулятор давления; 5 — испаритель; 6 — вентиль газосброса; 7 — вентиль заправки; 8 — регулятор температуры; 9 — электромагнитный клапан; 10 — расшилительный коллектор; 11 — датчик регулятора температуры; 12 — предохранительные клапаны; 13 — манометр; 14 — указатель уровня.

<sup>1</sup> Такая система охлаждения создана на малотоннажном авторефрижераторе ЕрАз-3770 Ереванским автомобильным заводом совместно с ВНИИХИ и НТО «Гелиймаш».

перевозках на разных видах транспорта, поэтому для облегчения транспортных и перегрузочных операций наружные размеры контейнеров, их масса брутто и основные конструктивные элементы регламентированы стандартами ИСО<sup>1</sup> и соответствующими Правилами Регистра СССР, Английского Ллойда и др.

Основные параметры ряда крупнотоннажных контейнеров приведены в табл. XVII.3.

Таблица XVII.3

Типоразмеры контейнеров по Правилам Регистра СССР и ИСО	Габаритные размеры, мм			Масса брутто, кг
	длина	ширина	высота	
1AA	12192	2438	2591	30480
1BB	9125	2438	2591	25400
1CC	6058	2438	2591	20320
1D	2991	2438	2438	10160

Все контейнеры для перевозки скоропортящихся грузов имеют изолированный кузов и согласно классификации ИСО подразделяются на пять видов: изотермические контейнеры, не имеющие устройств для поддержания заданных температур;

рефрижераторные контейнеры с расходуемым хладагентом (сухим льдом, сжиженным газом);

рефрижераторные контейнеры с индивидуальной абсорбционной или машинной холодильной установкой;

отопливаемые контейнеры с обогревающей установкой;

рефрижераторные контейнеры с установкой для охлаждения или обогрева.

В соответствии с рекомендациями ИСО коэффициент теплопередачи кузова должен быть не менее  $0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , а в грузовом объеме должна поддерживаться температура не выше  $-18^\circ\text{C}$  при температуре окружающей среды не ниже  $+38^\circ\text{C}$ . Для отопливаемых контейнеров температура в кузове должна быть  $+16^\circ\text{C}$  при температуре окружающей среды  $-20^\circ\text{C}$ .

Рефрижераторный контейнер в общем случае содержит кузов и машинное отделение, в котором могут быть размещены автоматизированная холодильная машина и дизель-генераторная установка или система охлаждения сжиженным газом.

Кузов состоит из несущего каркаса, ограждения, дверей с запорными устройствами и уплотнениями и внутреннего оборудования.

Некоторые зарубежные фирмы используют в качестве изоляционных конструкций многослойные панели типа «сэндвич», толщина которых 85 и 100 мм. Уменьшение толщины изоляции при тех же наружных габаритных размерах позволяет увеличить внутренние размеры, вследствие чего грузоемкость таких рефрижераторных контейнеров возрастает на 5—10 % по сравнению с обычными.

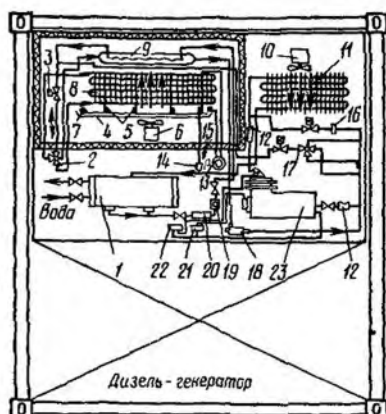
Холодильное и энергетическое оборудование контейнеров должно обладать высокой надежностью и быть полностью автоматизированным, так как в пути следования отсутствует эксплуатационное обслуживание. Должно быть предусмотрено управление процессом оттаивания воздухоохладителей через реле времени либо по сигналу пневмодатчика, отрегулированному на изменение аэродинамического сопротивления воздухоохладителя при осадении на его теплопередающей поверхности. Автоматически также осуществляется и переключение режимов (охлаждение — отепление). Холодильная установка осуществляет регулирование холодопроизводительности и поддержание заданных температурных режимов с записью на ленте термографа.

Компрессоры применяют главным образом герметичные или полугерметичные, бессальниковые. Хладагент R12.

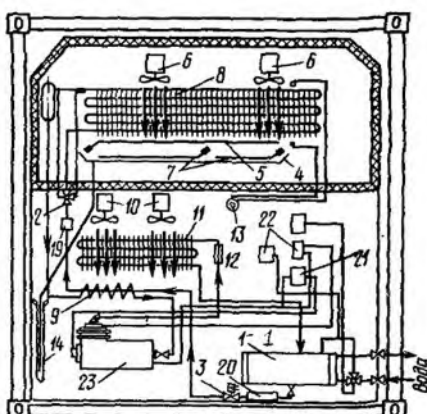
<sup>1</sup> Международная организация по стандартизации.

Теплообменные поверхности аппаратов холодильных установок (испарители, воздухоохладители, конденсаторы) выполняют, как правило, из антикоррозионных и высокотеплопроводных материалов (медь, алюминий), с компактным расположением труб и ребер.

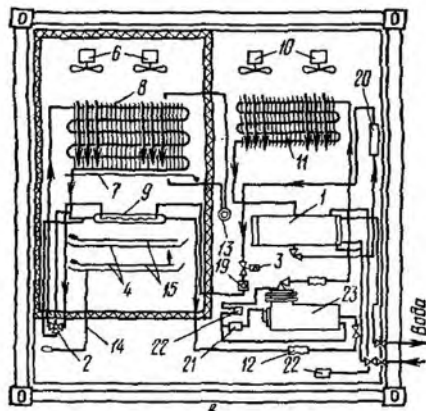
Воздухоохладители размещают в теплоизолированном объеме, для доступа к воздухоохладителю имеется съемная крышка. Теплый воздух забирается снизу, а охлажденный подается в верхнюю часть через отверстия в торцевой стенке. Циркуляция воздуха обеспечивается несколькими осевыми вентиляторами.



а



б



в

Рис. XVII.13. Общий вид рефрижераторного контейнера фирмы «Ниссин» со съемной холодильной установкой и собственным дизель-генератором:

- 1 — водяной конденсатор; 2 — ТРВ; 3 — селективный вентиль; 4 — дренажный поддон; 5 — электронагреватели; 6 — воздухоохладитель с вентилятором; 7, 15 — нагреватели; 8 — испаритель; 9 — регенеративный теплообменник; 10 — осевой вентилятор; 11 — воздушный конденсатор; 12 — виброгаситель; 13 — реле давления воздуха; 14 — трубка; 16 — дросселирующее устройство; 17 — вентиль; 18 — регулятор давления; 19 — смотровое стекло; 20 — фильтр-осушитель; 21 — реле контроля смазки; 22 — реле давления; 23 — конденсатор.

Для оттаивания воздухоохладителей, поддонов, дренажных трубок для слива талой воды от поддонов используют электронагреватели. Объем, занимаемый холодильной машиной, составляет 1,5—1,6 м<sup>3</sup>, масса машин — от 600 до 800 кг, глубина машинного отделения — от 350 до 650 мм. Холодильные машины работают от сети переменного тока напряжением 200—220 В или 380—440 В с частотой 50—60 Гц, мощность всей установки не должна превышать 10 кВт.

Различают несколько конструктивных решений компоновки холодильного и энергетического оборудования с кузовом контейнера. Холодильные машины могут быть встроенные в кузов контейнера (или иначе интегральные), съемные (с дизель-генераторной установкой или без нее), прицепные и групповые. Особое место занимает контейнеры с азотным охлаждением.

Схема холодильной установки контейнера приведена на рис. XVII.13.

## ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Задача эксплуатации холодильных установок — создание и поддержание нормативных температурно-влажностных режимов в охлаждаемых помещениях либо обеспечение заданных технологических процессов производства при минимальных затратах на выработку холода и при условии безопасной и надежной работы оборудования.

В задачу технической эксплуатации холодильной установки входит ее обслуживание — пуск, остановка, регулирование режима работы, который характеризуется температурами кипения, конденсации, переохлаждения, всасывания и нагнетания, поддержание заданного температурного режима в охлаждаемых объектах, подача хладоносителя в производственные цехи, устранение неисправностей в работе, проведение мелкого текущего ремонта оборудования, а также ведение учета работы холодильной установки.

### НЕПОЛАДКИ В РАБОТЕ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Правильная организация эксплуатации холодильной установки позволяет снизить расходы на выработку холода. В процессе эксплуатации необходимо обеспечить надежность работы оборудования для бесперебойного производства и транспортировки искусственного холода, надежность поддержания технологических условий, необходимых для эффективной холодильной обработки продукта; безопасность работы обслуживающего персонала; долговечность работы холодильного оборудования в экономических режимах, определяемых расчетным путем отдельно для каждого конкретного случая.

Важную роль при этом играет подготовка обслуживающего персонала, способного управлять современным автоматизированным холодильным оборудованием.

Обслуживающий персонал холодильной установки должен иметь соответствующую квалификацию и хорошо знать оборудование и правила его эксплуатации.

В компрессорном цехе холодильного предприятия вывешивают инструкции, определяющие права, обязанности и ответственность механика, машиниста, помощника машиниста, электрика, механика по автоматике, а также производственные инструкции по обслуживанию всей установки в целом, отдельных ее агрегатов и элементов. Производственные инструкции должны содержать краткое описание агрегата или элемента установки и схему его присоединения к магистральным трубопроводам; порядок его обслуживания при автоматизированном и ручном управлении как при нормальном режиме, так и при отклонении от него; последовательность выполнения операций при пуске и остановке; меры безопасности при обслуживании и ремонте; меры, которые следует принимать при аварийном состоя-

нии, в частности при прорыве рабочего тела в местах нарушения герметичности; порядок ремонта, осмотра и проверки оборудования.

В действующие инструкции следует своевременно вносить изменения, связанные с усовершенствованием и автоматизацией оборудования, а также с изменением правил безопасности.

В процессе эксплуатации могут возникать различные неполадки в результате неправильного обслуживания, неисправности компрессора, аппаратов, приборов охлаждения, а также изменения внешних условий. Эти неполадки нарушают нормальную работу установки и вызывают отклонение от оптимального режима.

**Понижение давления (температуры) кипения хладагента.** Температура кипения должна соответствовать технологическим требованиям. Работа на более низких температурах кипения невыгодна, так как при этом снижается холодопроизводительность установки и повышается удельный расход электроэнергии (примерно на 4—4,5% на 1°C).

Понижение температуры кипения хладагента приводит к увеличению перепада температур между воздухом охлаждаемого помещения и хладагентом. С одной стороны, увеличение  $\Delta t$  при постоянной температуре воздуха интенсифицирует процесс отвода теплоты, с другой — вызывает значительный расход электроэнергии и снижение холодопроизводительности компрессора. Так, с понижением температуры кипения на 5°C (от -15°C до -20°C) холодопроизводительность компрессора снижается примерно на 25%, а удельный расход электроэнергии возрастает на 19%. Следовательно, экономически нецелесообразно поддержание большого перепада температур между кипящим хладагентом и воздухом охлаждаемого помещения.

**Повышение давления (температуры) кипения хладагента.** В этом случае уменьшается необходимый перепад температур между воздухом камеры и хладагентом и ухудшаются условия теплопередачи. Одновременно повышается температура воздуха в охлаждаемых помещениях, нарушается температурно-влажностный режим, отвечающий требованиям технологии холодильной обработки и хранения продуктов.

**Повышение давления (температуры) конденсации.** При нормальном режиме работы температура конденсации должна превышать температуру воды, отходящей с конденсатора, на 4—6°C либо быть на 2—4°C выше температуры воды, поступающей на охлаждение.

Температура конденсации зависит от температуры и количества воды, подаваемой на конденсатор. Обычно охлаждающая вода подается в таком количестве, чтобы подогреть ее составляя в оросительных конденсаторах 2—3°C, а в конденсаторах закрытого типа — 4—6°C.

Верхний предел давления конденсации ограничен прочностью элементов оборудования, и превышение его может вызвать опасные последствия. Повышенная температура конденсации приводит к понижению холодопроизводительности компрессора и одновременно к увеличению удельного расхода электроэнергии и температуры нагнетания. Так, повышение температуры конденсации на 1°C вызы-

вает перерасход электроэнергии на работу компрессора в среднем на 2—2,5%.

Повышение температуры конденсации может быть обусловлено различными причинами, которые можно объединить в два вида.

К первому виду относятся причины, вызывающие повышение давления в конденсаторе, которое может приблизиться к предельно допустимому значению даже при оптимальном перепаде между температурой конденсации и средним значением температуры охлаждающей воды. В этом случае давление конденсации может повыситься из-за изменения температуры или расхода охлаждающей воды. Второй вид причин обусловлен изменением перепада температур против оптимального значения.

**Повышение температуры нагнетания.** Температура нагнетаемого пара не должна превышать теоретическое значение на 10—15°C. В соответствии с Правилами безопасности на аммиачных холодильных установках определены предельные значения температуры нагнетания: 150°C — для бескрейцкопфных и оппозитных компрессоров и 135°C — для тихоходных горизонтальных. Чрезмерно высокая температура нагнетания может вызвать разложение смазочного масла, в результате чего выделившиеся из него летучие вещества, соединяясь с парами аммиака, могут образовать взрывоопасную смесь.

Следует, однако, иметь в виду, что высокая температура паров на нагнетании не всегда является результатом каких-либо отклонений в работе холодильной установки. Так, в летнее время при относительно высокой температуре конденсации и низкой температуре кипения хладагента аммиачный одноступенчатый компрессор работает с высокой температурой нагнетания, равной 150°C при  $t_0 = -28^\circ\text{C}$  и  $t_k = 36^\circ\text{C}$ . Этот режим работы нежелателен, но он не зависит от состояния оборудования.

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ УДАРЫ И МЕРЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

Работа компрессора в режиме влажного хода в отдельных случаях может привести к гидравлическому удару.

Гидравлические удары могут быть вызваны поступлением в цилиндр компрессора жидкого хладагента, паров повышенного влаго-содержания (при их сжатии в цилиндрах влажный пар превращается в жидкость или смеси масла с хладагентом). Чаще всего это происходит из-за несовершенства охлаждающих систем, а также из-за нарушения режимов эксплуатации.

Основной причиной поступления жидкого хладагента в компрессор является неправильное регулирование подачи его в отделитель жидкости. Обычно кратность циркуляции хладагента  $n > 1$ . Чтобы избежать неправильного регулирования подачи жидкости, необходимо уровень жидкости в отделителе поддерживать постоянным. Для этого на отделителях жидкости устанавливают указатели уровня, а иногда поплавковые регулирующие вентили. При переменном тепловом потоке установка этих приборов не исключает возможности поступления жидкости из отделителя в компрессор. С повышением



величины теплового потока в камерах происходит выброс части жидкости из батарей в отделитель жидкости. Уровень ее в отделителе повышается, поплавковый клапан прекращает подачу жидкости из конденсатора, а жидкость в отделитель может продолжать поступать из батарей, что и приводит к гидравлическим ударам.

Отделитель жидкости, чтобы избежать его переполнения, соединяют с ресивером трубой перелива, а запорный клапан на трубопроводе пломбируют в открытом состоянии. Это приводит к необходимости установки ресиверов повышенного объема.

Причиной поступления жидкого хладагента в компрессор может быть и уменьшение плотности парожидкостной смеси в батареях при повышении теплового потока в камерах. Чем больше удельный тепловой поток, тем выше паросодержание в парожидкостной смеси, заполняющей батареи. В камерах с нестационарным тепловым режимом изменение заполнения батарей жидким аммиаком происходит непрерывно. Повышение теплового потока сопровождается интенсивным парообразованием и приводит к уменьшению плотности парожидкостной смеси в батареях. К таким же последствиям приводит и резкое снижение давления в системе, при котором пар выделяется во всей толще жидкости, вызывая ее взбухание, переполнение батарей и других сосудов охлаждающей системы. Это наблюдается при включении в систему дополнительных компрессоров, а также при включении части потребителей холода.

Чтобы исключить подобные явления, необходимо осуществлять плавный переход от одного давления к другому, а потребителей холода подключать постепенно или останавливать компрессоры при включении или выключении потребителей холода.

Жидкость в компрессор может поступать также из всасывающих трубопроводов, если в них есть участки, способствующие выделению жидкости из пара, особенно при нижней разводке трубопроводов. Сечение коллекторов бывает обычно больше, чем сечение основного трубопровода. Поэтому в них постепенно собирается жидкость, которая с течением времени уменьшает сечение прохода пара. При этом увеличивается скорость пара в них, что и приводит к уносу жидкости в компрессор и гидравлическому удару. Удалять жидкость из коллекторов трудно, так как они изолированы и испарение жидкости происходит медленно.

Для предотвращения накапливания жидкости во всасывающем трубопроводе (при нижней разводке) устанавливают ресиверы жидкого аммиака. Применение указанных ресиверов облегчает эксплуатацию установки. Удаление жидкого аммиака из ресивера-сборника на регулируемую станцию производится с помощью горячих паров. Это делается так же, как и при оттаивании батарей с дренажным ресивером.

Жидкостные «мешки» могут образовываться также из-за конструктивных недостатков всасывающего канала компрессора.

При резком снижении давления (при закрытии всасывающего клапана компрессора) могут произойти взбухание аммиачно-масляной смеси и выброс ее в компрессор.

Жидкость может накапливаться во всасывающем трубопроводе в результате конденсации паров при длительной остановке компрессора и понижении температуры окружающего воздуха. Если всасывающий трубопровод имеет уклон в сторону компрессора, то конденсат накапливается у всасывающего вентиля. При пуске компрессора, когда открывается всасывающий вентиль, может произойти гидравлический удар, поэтому всасывающий трубопровод должен иметь уклон от компрессора.

Гидравлические удары могут возникать в компрессоре при поступлении в него жидкости через нагнетательный трубопровод. Это может произойти при конденсации пара в нагнетательном трубопроводе во время стоянки компрессора — при охлаждении его наружным воздухом, температура которого ниже температуры конденсации (если нагнетательный трубопровод имеет уклон в сторону компрессора).

Чтобы предотвратить эти явления, необходимо нагнетательный трубопровод устанавливать с наклоном в сторону от компрессора к конденсатору. Если конденсатор расположен выше компрессора, то надо устанавливать дополнительный сборник жидкого аммиака, в сторону которого должен быть уклон нагнетательного трубопровода от компрессора. Из этого сборника жидкий аммиак следует своевременно удалять.

В двухступенчатых компрессорах могут возникать гидравлические удары из-за поступления жидкости из промежуточного сосуда, что имеет место в 50% от общего количества гидравлических ударов, зарегистрированных в промышленности. Это объясняется тем, что промежуточные сосуды заполнены жидким хладагентом для охлаждения нагнетаемого пара после с. н. д. Предотвратить гидравлический удар можно при переходе на работу промежуточного сосуда в сухом режиме. Для этого применяют специальные устройства — термокомпрессоры, устанавливаемые непосредственно на нагнетательной линии с. н. д. перед промежуточным сосудом.

Для обеспечения сухого хода компрессора необходимо поддерживать температуру всасываемых паров в аммиачных установках одноступенчатого сжатия на  $5-10^{\circ}\text{C}$  выше температуры кипения, а в фреоновых установках — на  $15-25^{\circ}\text{C}$ . В установках двухступенчатого сжатия температура всасываемых паров должна быть на  $5-10^{\circ}\text{C}$  выше  $t_0$ , а при наличии на всасывающей стороне теплообменных аппаратов — на  $15^{\circ}\text{C}$ . Температура всасывания у ц. в. д. должна быть на  $5^{\circ}\text{C}$  выше температуры кипения при промежуточном давлении.

Признаками начала влажного хода компрессора являются следующие показатели: температура всасывания равна температуре кипения, температура нагнетания значительно ниже нормальной, на стенках цилиндров появляется иней.

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Под надежностью понимают свойство объекта выполнять определенные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующи-

щих данному режиму. Уровень надежности холодильной машины определяется затратами, связанными с аварийными и плановыми простоями при ремонтах, а также стоимостью ремонтов и технического обслуживания при эксплуатации.

Надежность и долговечность холодильных компрессоров во многом зависят от основных характеристик, которыми являются холодопроизводительность, давление конденсации, температура нагнетания. Нарушение хотя бы одной из перечисленных характеристик в условиях эксплуатации холодильной установки приводит к отклонению остальных параметров от оптимальных значений. К числу факторов, вызывающих подобные отклонения, относятся следующие.

1. Поломка пластинок клапанов, поршневых колец. При этом наблюдается усиление стуков, которые становятся резкими, а иногда и неритмичными. Поломка клапанов может привести к особенно тяжелым последствиям при попадании даже мелких кусков пластинок в цилиндр. Причинами, нарушающими нормальный режим работы клапанов компрессора, являются заедание клапанных пластин при неправильной сборке и загрязнении; установка пружин с жесткостью, не соответствующей расчетной, наличие нагара на деталях клапана, износ седла и клапанных пластин и др. Недостаточная долговечность клапанов обусловлена также тяжелыми условиями работы компрессора, приводящими пластины к усталостному разрушению.

2. Нарушение герметичности клапанов. На этот дефект указывает повышение температуры перегрева пара, выходящего из компрессора.

3. Увеличение зазоров между сопрягаемыми трущимися деталями из-за износа. Это сопровождается увеличением стука, так как с увеличением зазора возрастает сила удара при знакопеременном движении кривошипного механизма. Особое значение при работе компрессора имеет вибрация. Даже незначительное движение компрессора на фундаменте в процессе эксплуатации может привести к аварии. Для предотвращения возможных перемещений компрессора на фундаменте во время работы необходимо соблюдать все требования, предъявляемые при их монтаже.

4. Повышенный нагрев трущихся деталей в местах сопряжений и уплотнений (подшипников, крейцкопфа, цилиндра, сальника и др.). Основными причинами нагрева подшипников с принудительной циркуляцией масла являются неправильно выбранный сорт его; загрязнение (засорение) маслопроводов и фильтров; неточная подгонка вкладышей подшипника к шейкам вала; перекос или искривление оси вала и чрезмерная затяжка подшипников. При незначительном нагреве подшипников рекомендуется увеличить давление масла в системе, проверить и отрегулировать зазоры между цапфами и вкладышами.

Следует иметь в виду, что во всех случаях, когда возникают ненормальные шумы и стуки в компрессоре либо когда контролируемые параметры достигают предельно допустимых значений (за исключением тех параметров, отклонения которых от нормального значения должны устраняться только во время работы компрессора, например повышение температуры нагнетания), необходимо остановить машину и, выяснив неполадки, приступить к их устранению.

В процессе эксплуатации двухступенчатых компрессоров или агрегатов желательно систематически сравнивать фактически установившееся промежуточное давление с его расчетным значением. Существенное отклонение фактического давления от его расчетного значения указывает на ухудшение работы определенной ступени компрессора, в частности на уменьшение коэффициента подачи из-за пропусков в клапанах, поршневых кольцах и т. п. Так, повышение промежуточного давления против расчетного при данных рабочих условиях характеризует ухудшение работы ступени высокого давления.

## **ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

Холодильное хозяйство многих предприятий, находящихся длительное время в эксплуатации, не обеспечивает необходимых условий для осуществления технологических режимов. Охлаждающие системы таких предприятий имеют серьезные недостатки, которые приводят к опасным условиям работы, например из-за влажного хода, следствием которого может быть гидравлический удар. Такие системы лишены частичной (в том числе защитной) и комплексной автоматизации. Это безнасосные системы с питанием батарей жидким хладагентом через отделители жидкости или непосредственно от регулирующей станции, а также насосно-циркуляционные системы непосредственного охлаждения, не обеспечивающие безопасную эксплуатацию компрессоров.

Несовершенство технологических процессов холодильной обработки и хранения пищевых продуктов, энергетическое несоответствие между отдельными элементами холодильной установки, невысокая эффективность охлаждающих систем, применение устаревшего оборудования компрессорного цеха, часто наступающие опасные режимы работы компрессора — все это характерные признаки того, что предприятие нуждается в усовершенствовании (реконструкции) холодильной установки. К характерным недостаткам испарительного контура систем охлаждения относятся отсутствие защитных емкостей (отделителей жидкости, дренажных ресиверов) на всасывающих магистральных безнасосных систем охлаждения или их недостаточная емкость; малая вместимость циркуляционных ресиверов и недостаточная высота расположения циркуляционных ресиверов относительно аммиачных насосов; неравномерное распределение жидкого аммиака по приборам охлаждения; малоинтенсивный процесс теплообмена в аппаратах и приборах охлаждения; неравномерность температурного поля по объему объектов, потребляющих холод.

Необходимым условием правильной эксплуатации холодильного хозяйства является перевод аммиачных безнасосных многоиспарительных систем на насосно-циркуляционные, а также усовершенствование неэффективных аммиачных насосно-циркуляционных систем путем применения принудительной циркуляции воздуха и т. п. При этом следует иметь в виду, что развитие предприятия, связанное

с увеличением его фактической производственной мощности, требует соответствующего увеличения производительности холодильной установки, т. е. на предприятиях с малоинтенсивными методами охлаждения и замораживания усовершенствование охлаждающих систем целесообразно осуществлять одновременно с внедрением новой технологии. Последнее вызывает в ряде случаев необходимость перепланировки цехов или камер холодильника, упорядочения грузовых потоков на базе их механизации и автоматизации, реконструкции существующих систем охлаждения.

При увеличении производственной мощности предприятий иногда расширяют старые либо строят новые потребители холода, вводят дополнительные приборы охлаждения либо технологические аппараты, не увеличивая при этом мощность компрессорного парка, поверхности конденсаторов и испарителей, производительность насосов и не приводя в соответствие сечение магистральных трубопроводов с гидравлической нагрузкой. Теплоограждающие конструкции различных потребителей холода с течением времени перестают удовлетворять предъявляемым к ним требованиям (малая эффективность изоляционного материала, низкое качество монтажных работ, нарушение целостности гидроизоляционного покрытия), что приводит не только к увеличению затрат на производство холода, но и к нарушению технологических режимов (холодильной обработки и хранения продуктов, увеличению естественных потерь продуктов), а также неоправданным затратам энергии.

Внедрение автоматической защиты на холодильных установках, техническое состояние которых не обеспечивает нормальной эксплуатации, вынуждает обслуживающий персонал компрессорных цехов отказываться от использования систем автоматики и переходить на местный (неавтоматический) режим работы из-за частых отключений компрессоров по аварийному уровню в сосудах испарительных систем. Надежная эксплуатация системы автоматической защиты таких установок может быть обеспечена только при их соответствующей подготовке. При подготовке холодильной установки к автоматизации следует учитывать требования действующих основных нормативных документов и рекомендаций: правил техники безопасности на холодильных установках (с учетом вида хладагента); рекомендаций по повышению безопасности эксплуатации холодильных установок соответствующих предприятий; рекомендаций по проектированию холодильных установок; правил устройства электроустановок.

Отмеченные выше недостатки для безнасосных систем охлаждения в значительной степени устраняются при переводе их на насосно-циркуляционные системы с верхней или нижней подачей аммиака в приборы охлаждения, с совмещенным сливом и отсосом хладагента в вертикальный циркуляционный ресивер, выполняющий также функцию отделителя жидкости. Насосно-циркуляционные системы охлаждения, работающие по такой схеме, обеспечивают сухой ход компрессора и максимальную теплопередачу приборов охлаждения, обусловленную упорядоченным распределением и непрерывной циркуляцией жидкого аммиака. При наличии в системах охлаждения кожухо-

трубных и панельных испарителей жидкий аммиак может подаваться в них насосом при подключении всасывающего патрубка испарителя к вертикальным циркуляционным ресиверам соответствующей температуры кипения. При переводе безнасосных систем охлаждения на насосно-циркуляционную целесообразно заменять малоэффективные аммиакоемкие приборы охлаждения (пристенные и потолочные батареи) эффективными воздухоохладителями либо вертикальными кожухотрубными испарителями.

При правильном размещении, эксплуатации и подборе воздухоохладители обеспечивают необходимую температуру воздуха и равномерное распределение его по объему помещения, которое они обслуживают. Для эффективной работы рассольных воздухоохладителей необходимо, чтобы скорость рассола в шлангах воздухоохладителя была не менее 1,5 м/с. Поскольку батареей воздухоохладителя обычно делают из труб диаметром 25 × 2,0 мм, необходимо следить за чистотой рассола и применять антикоррозионные присадки. При выборе способа оттаивания воздухоохладителя следует учитывать специфику его работы. Если работа аппарата автоматизирована, то целесообразно применять электрическое оттаивание. При работе воздухоохладителя в камерах с температурой воздуха 2°C и выше батареи оттаивают воздухом. При работе аппаратов в камерах с температурой ниже 2°C и при оттаивании инеей горячими парами аммиака или горячим рассолом следует применять воздухоохладитель без электрических нагревателей в батарее, но с электронагревателями в поддоне для сбора талой воды. Дренажные трубки рекомендуется обогревать с помощью электрической энергии (из расчета 100 Вт на 1 м трубки). В качестве нагревателя можно использовать провод с высоким сопротивлением, который укладывают на поверхность трубы. При эксплуатации воздухоохладителей следует иметь в виду, что продолжительность оттаивания находится в прямой зависимости от количества инеей, образовавшегося на поверхности. Поэтому там, где позволяет технология, нужно проводить оттаивание как можно чаще, что способствует сокращению этого процесса.

В насосно-циркуляционные системы с отдельным сливом жидкости и отсосом паров для повышения безопасности их эксплуатации вносят следующие изменения: жидкость в приборы охлаждения подают непосредственно от насосов; жидкость во время оттаивания сливают в специальный ресивер; увеличивают диаметры сливных и уравнильных трубопроводов между отделителями жидкости и циркуляционными ресиверами; заменяют горизонтальные ресиверы вертикальными. Однако при этом сохраняется основной недостаток системы — малая эффективность теплопередачи приборов охлаждения из-за недостаточного заполнения труб жидким хладагентом.

Для обеспечения стабильной работы приборов охлаждения и повышения эксплуатационной надежности всей холодильной установки необходимо переходить на нижнюю подачу жидкого аммиака в приборы охлаждения непосредственно от аммиачных насосов с совмещенным сливом и отсосом хладагента в вертикальные циркуляционные ресиверы соответствующих температур кипения. При этом повышается интенсивность теплопередачи приборов охлаждения в результате равномерной циркуляции агента по всем охлаждающим секциям, а также ликвидируется противоток пара и жидкости в батареях. Перевод испарительного контура холодильной установки с трехтрубной схемы (раздельный слив и отсос хладагента) на двухтрубную (совмещенный слив и отсос хладагента) значительно понижает пере-

грев паров, поступающих в компрессор, а отсос паров из вертикального циркуляционного ресивера повышает безопасность эксплуатации компрессоров даже в условиях резкопеременных тепловых нагрузок.

## ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНО-ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Опыт эксплуатации холодильных камер, в частности камер хранения мороженных грузов, оборудованных насосно-циркуляционными системами при использовании в качестве приборов охлаждения пристенных и потолочных батарей, показывает, что наблюдается значительное колебание температуры по объему помещения. Так, по высоте камеры колебания температуры могут составлять 3—5°C. Эти колебания приводят к ухудшению качества хранимых незатаренных продуктов и в результате значительно сокращают сроки хранения, вызывают повышение потерь от усушки.

Поддержание равномерной по объему камеры температуры воздуха зависит от многих факторов, в том числе от состояния изоляционной конструкции, от стабильности подачи хладагента в приборы охлаждения, режима работы холодильной установки, грузовых операций в камерах, оснащенной камер приборами охлаждения, условий их правильной эксплуатации, системы воздухораспределения и т. п.

Одним из важнейших факторов является обеспечение стабильной подачи хладагента в приборы охлаждения.

Согласно нормам технологического проектирования батареи работают эффективно при условии пяти-шестикратной циркуляции хладагента в схемах с нижней и восьми-десятикратной — в схемах с верхней подачей. Перераспределение хладагента по отдельным батареям осуществляется вручную обычно лишь в случае изменения температуры воздуха в камере. Такой способ регулирования (с помощью вентиля) малоэффективен, так как не позволяет своевременно выявить и устранить причины неудовлетворительной работы циркуляционного контура отдельной камеры либо системы в целом. В результате температура воздуха камеры становится крайне неустойчивой.

В соответствии с нормами на проектирование колебания температуры воздуха не должны превышать  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , однако это условие не соблюдается. Если холодильник многоэтажный, то температура воздуха в камерах первого и верхнего этажей оказывается на 3—4°C выше проектной.<sup>1</sup>

Чтобы устранить нежелательные колебания температуры воздуха в камерах хранения, проводят следующие мероприятия: увеличение высоты подпора жидкости у всасывающего патрубка насоса (напри-

<sup>1</sup> Это подтверждено испытаниями, проведенными в ОТИХП под руководством А. С. Розенберга на холодильниках в городах Львове, Горьком, Одессе, Ленинграде.

мер, путем установки вертикального циркуляционного ресивера); распределение хладагента по батареям камер каждого этажа с использованием регулирующих вентилей этажных распределительных устройств; распределение хладагента с помощью диафрагм.

При проектировании крупных многоэтажных распределительных холодильников, оборудованных насосно-циркуляционной системой охлаждения, желательнее предусматривать приборы для систематического контроля за работой батарей и аммиачных насосов. Установка на предприятиях дополнительных контрольно-измерительных приборов в процессе эксплуатации окупается в результате снижения потерь от усушки продуктов, поскольку в охлаждаемых помещениях поддерживается более устойчивый технологический режим. При хранении мороженных грузов в затаренном виде экономически оправдано применение воздухоохладителей, обеспечивающих поддержание температуры, равномерной по объему камеры.

## **ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФРЕОНОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

Особенности эксплуатации фреоновых установок обусловлены специфическими свойствами фреонов.

Рассмотрим основные неполадки в работе фреоновых холодильных установок.

1. Компрессор фреоновой установки работает мало, давление нагнетания и всасывания низкое. Причинами этого являются образование ледяных пробок в ТРВ, недостаточная поглотительная способность осушителя. В этом случае необходимо установить дополнительный осушительный патрон и включить его на 14—16 ч. Если холодильные установки длительное время находились в неотопляемом помещении, то при неисправных заглушках в испарительные батареи типа ИРСН может попасть влага. Один из простых способов ее удаления — продувка испарительных батарей сухим воздухом, азотом или фреоном. В качестве поглотителя влаги используют мелкопористый силикагель с зернами размером 3,6—6 мм, который хранят в герметичной таре. Силикагель поглощает до 40% влаги по отношению к собственной массе. Восстанавливается силикагель прокаливанием при температуре 200—250°C.

2. Компрессор фреоновой установки работает почти все время, установки кратковременны, давление на высокой и низкой стороне установки нормальное. Причина — пропуски в клапанах через прокладку головки блока или неквалифицированное обслуживание, в процессе которого допускаются теплопритоки, значительно превышающие расчетные значения (в тех случаях, если камеры загружают теплым продуктом, двери камеры оставляют открытыми, и т. д.)

3. В холодильных машинах с кожухотрубными испарителями, работающими на R22, при нарушении процесса возврата масла из маслоотделителя, например при засорении перепускного отверстия



или потере поплавком герметичности, в испаритель попадает значительно больше масла, чем возвращается. В результате испаритель переполняется маслом. Об этом свидетельствует понижение его уровня в компрессоре. Очень важно правильно выбрать масло для фреоновых установок, особенно при каскадной схеме. Так, нижний каскад, работающий на R13, при температуре кипения  $-65^{\circ}\text{C}$  и ниже нельзя заряжать маслом ХФ 22. При низких температурах оно загустевает в конденсаторе-испарителе, образует смолистые вещества, которые через несколько месяцев эксплуатации забивают трубопроводы, вызывая перебои в работе холодильной установки. В этом случае целесообразно применять синтетическое масло ФМ 5,6 АП. При замене масла ХФ 22 маслом ФМ-5,6 АП установку следует промывать высококипящим хладагентом (например, R11), а отдельные сосуды — бензином. В холодильных машинах, где затруднен возврат масла, например из кожухотрубного испарителя, нельзя добавлять масло в компрессор при вакууме в системе, так как в этом случае часть масла может попасть в испаритель. Если на компрессоре предусмотрен специальный вентиль для заправки масла, то его можно добавлять и под вакуумом, но при этом всасывающий вентиль должен быть закрыт.

4. Часто при эксплуатации холодильных установок имеет место полная или частичная потеря фреона из системы. В этом случае агрегат не включается, контакты прессостата разомкнуты, давление нагнетания и всасывания около нуля; последние змеевики испарителя не покрываются инеем. Давление всасывания и нагнетания понижено. Иногда наблюдается потеря фреона из термобаллона, капиллярной трубки и пространства над мембраной — силовой части терморегулирующего вентиля. В этом случае путем настройки терморегулирующего вентиля не удастся увеличить подачу жидкого фреона в испарительную систему. Необходимо провести ремонт силовой части и заменить капиллярную трубку.

5. Возможны случаи, когда проходное сечение жидкостного змеевика теплообменника уменьшено при изготовлении или загрязнено настолько, что не удается добиться требуемой холодопроизводительности машины, а компрессор сильно разогревается из-за понижения давления кипения. Доводка проходного сечения змеевика до нормального затруднена, так как требуется нарушение герметичности конструкции.

6. На холодильных установках с принудительной циркуляцией воздуха через испаритель при нарушении нормальной работы вентилятора резко ухудшается теплопередача от воздуха к испарителю, и температура воздуха в холодильной камере повышается. Так как жидкий фреон в испарителе в этом случае почти не испаряется, он может попасть в цилиндр и вызвать гидравлический удар.

7. Влажный ход компрессора может иметь место, когда терморегулирующий вентиль сильно открыт вследствие неправильного положения клапана на седле. При этом стенки компрессора покрываются инеем, давление всасывания повышается, а давление нагнетания остается нормальным.

Фреоновые холодильные установки в отличие от аммиачных в большинстве случаев полностью автоматизированы и поэтому не требуют постоянного наблюдения. При эксплуатации крупной фреоновой автоматизированной холодильной установки необходимо выполнить ряд ручных операций (переключение вентилей, наполнение системы фреоном и маслом, включение и отключение фильтров, осушителей и т. д.). Если установка полностью автоматизирована, то при выполнении всех этих операций пусковые устройства компрессоров следует переводить на ручное управление, так как в этом случае автоматический пуск компрессора может привести к аварии. Крупная автоматизированная холодильная установка требует только профилактического обслуживания для поддержания в исправном состоянии установки и предупреждения преждевременного износа оборудования.

При обслуживании фреоновой установки открытие или закрытие вентилей производят только маховиком данного вентиля и по окончании операции закрывают узел сальника специальным колпаком. В жидкостную линию фреона должен быть включен фреоновый фильтр. Переключение фильтра производят только при его очистке. После заполнения системы фреоном, а также после ремонта отдельных узлов и аппаратов включают в жидкостную линию фреоновый осушитель на 10—12 ч. На всех вентилях, находящихся в закрытом состоянии (особенно на нагнетательной линии), вывешивают таблички с надписью «Вентиль закрыт». Все неисправности неаварийного характера, которые невозможно устранить при работе машины, фиксируют в журнале с тем, чтобы устранить их при первой же остановке машины.

## **МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УТЕЧЕК ХЛАДАГЕНТА ВО ФРЕОНОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ**

Фреоны обладают весьма высокой текучестью. Они способны проникать через малейшие неплотности даже сквозь мелкие поры металла. Обслуживающий персонал не может обнаружить утечку фреона непосредственно с помощью органов чувств (как для аммиака), так как фреоны, применяемые в качестве хладагентов, при атмосферном давлении представляют собой бесцветный газ с очень слабым запахом, который начинает ощущаться лишь при содержании фреона в воздухе более 20—30% по объему.

Утечка фреона приводит к нарушению технологического режима потребителей холода, неблагоприятно сказывается на температурном режиме работы холодильной машины, вызывает перегрев обмотки электродвигателя герметичного компрессора и выход его из строя. В некоторых случаях (например, в установке с возвратом масла в картер их кожухотрубного испарителя) утечка фреона может привести к выходу из строя компрессора из-за нарушения работы системы смазки. Совершенно недопустимы даже незначительные утечки фреона в малых автоматизированных агрегатах с капиллярными трубками, в первую очередь в бытовых холодильниках.

Рассмотрим методы определения утечки фреонов.

1. Обмыливание мест соединений элементов холодильной установки. В случае утечки фреона появляются растущие пузыри. Чтобы пена дольше не высыхала, в мыльный раствор добавляют глицерин.

2. Определение большой утечки хладагента по масляному подтеку в месте разгерметизации (в установках, использующих фреоны и масла с хорошей взаимной растворимостью).

3. Определение утечки с помощью галоидных ламп (широко распространенный метод). Принцип действия галоидных ламп основан на том, что продукты разложения фреона в присутствии раскаленной меди окрашивают бесцветное пламя горелки и увеличивают высоту факела. Высокая чувствительность галоидных ламп реализуется в полной мере, если утечка определяется в хорошо проветренном помещении. В зависимости от применяемого топлива существует несколько типов галоидных ламп: спиртовые, пропановые, бензиновые, ацетиленовые, наиболее чувствительные при работе на пропанбутане.

4. Определение утечек с помощью электронных галоидных теченскателей (0,0005 кг/год) высокой чувствительности. Принцип действия таких теченскателей основан на свойстве фреонов резко увеличивать ионную эмиссию накаливаемой платиновой поверхности. При наличии в воздухе галоидосодержащих паров ионный ток резко возрастает и после усиления измеряется выходным прибором, на шкале которого индицируется величина утечки. Существуют и автоматические установки для непрерывного дистанционного контроля и сигнализации об утечках фреона. Установка, изготовленная в ГДР, применена на рыбозамораживательных траулерах типа «Прометей», оснащенных холодильными установками на R22 с разветвленными системами трубопроводов. Работа газоанализатора установки основана на избирательном поглощении инфракрасного излучения газами в диапазоне волн от 2 до 15 мкм. При обнаружении утечки фреона на мнемонической схеме подаются световой и звуковой сигналы.

Для предотвращения утечек хладагента во фреоновых установках применяют тонколистовой (0,3—0,5 мм) паронит, состоящий из асбеста, каучука и наполнителей. Перед установкой прокладки из паронита вымачивают в глицерине, с которым фреон не реагирует. Ниппели и манометровые вентили крепят на аппаратах с помощью конических резьб, уплотняемых специальной быстротвердеющей пастой. Фреоны растворяют обычную резину. Поэтому кольца сальников компрессоров и предохранительных клапанов, а иногда и прокладки изготавливают из специальной фреоно-маслостойкой резины — севанита.

Утечка фреона наблюдается через сальники вентиля. Поэтому на них предусмотрены специальные колпачки-заглушки, которые необходимо отвинчивать только на время открытия или закрытия вентиля. На фреоновых трубопроводах малых диаметров устанавливают специальные бессальниковые мембранные вентили.

Значительные и трудноустраняемые утечки фреона могут происходить через сальники компрессоров. Это одна из причин того, что в последние годы абсолютное большинство фреоновых компрессоров малой производительности выпускают в бессальниковом и герметич-

ном исполнении со встроенными электродвигателями, охлаждаемым всасываемым паром.

Лучшим способом предотвращения утечки фреона в малых холодильных установках является применение герметичных холодильных агрегатов и холодильных машин, поставляемых заводами в виде законченных изделий.

### ВЛИЯНИЕ ВЛАГИ И ВОЗДУХА НА РАБОТУ ФРЕОНОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Влага, попавшая внутрь аппаратов, трубопроводов и других элементов фреоновой холодильной установки, ухудшает ее работоспособность.

Данные о растворимости воды во фреонах при различных температурах приведены в табл. XVIII.1, из которой видно, что растворимость воды во фреонах ничтожная, причем она уменьшается при снижении температуры.

Таблица XVIII.1

Хладагент	Растворимость воды во фреонах (в % по массе) при температуре, °C		
	-18	0	+25
R12	0,0008	0,0025	0,009
R13	—	0,0019	0,006
R22	0,03	0,06	0,13
R113	0,002	0,0036	0,011
R114	0,001	0,0026	0,009
R502	—	0,022	0,056

Намного большее количество воды растворяется в R22 и R502 по сравнению с другими. Это нежелательное свойство фреонов значительно усложняет устройство, монтаж и эксплуатацию холодильных установок. Попадание даже незначительного количества влаги в систему может привести к прекращению циркуляции фреона вследствие замерзания влаги в дроссельных органах. Примерзает игла терморегулирующих вентилей. Для закупорки капиллярной трубки бытового холодильника достаточно намораживания в ней лишь 0,005 г льда.

Так как R22 лучше растворяет влагу, чем R12, то в установках, работающих на R22, может циркулировать большее ее количество, не вызывая закупорки дроссельных органов. Детали компрессоров, работающих на R22, работают при более высоких температурах.

При высоких температурах, имеющих место в компрессорах, влага, попавшая в систему, вступает в реакцию с фреонами. Образовавшиеся при этом минеральные и органические кислоты разрушающе действуют на детали компрессора и особенно на электрическую изоляцию встроенного электродвигателя.

Минимальное количество влаги, при котором R12 становится коррозионно активным, составляет 0,05%.

В присутствии влаги, даже растворенной во фреоне, происходит еще одно нежелательное явление, называемое омеднением стальных деталей. Медь, вступая в химическое соединение с фреоном, выпадает в виде слоя на полированных поверхностях поршней, стенок цилиндров, подшипников, седел всасывающего и нагнетательного клапанов и др. Чем выше температура поверхности и большее количество влаги в системе, тем интенсивнее омеднение. Оно приводит к уменьшению зазоров, неплотному прилеганию и пропускам клапанов, нарушающих работу фреоновых компрессоров, особенно быстроходных.

Влага может проникать во фреоновое оборудование и трубопроводы как при монтаже и ремонте установок, так и при их эксплуатации. Вместе с воздухом влага попадает в систему низкотемпературных установок, работающих под вакуумом.

Значительное количество влаги содержится в электрической изоляции обмоток статоров встроенных электродвигателей герметичных компрессоров. Несмотря на тщательную высокотемпературную (120°C) осушку, влага все же выделяется из обмоток в процессе эксплуатации, особенно в первые 2—3 года.

Влага может находиться в порах чугунных отливок деталей, откуда удаление ее затруднено в связи с малой поверхностью испарения. Значительное количество влаги попадает в систему во время эксплуатации и ремонта, если вскрываются охлажденные аппараты и трубопроводы.

Для удаления влаги и воздуха перед заправкой фреоном и маслом крупные установки с открытыми компрессорами вакуумируют до остаточного давления 5,33 кПа, а малые герметичные установки — до 13 Па. Согласно ГОСТ 17240—71 герметичные компрессоры должны сушиться в печи с продувкой сухим воздухом. Точка росы сухого воздуха у входа в компрессор должна быть не выше  $-55^{\circ}\text{C}$ , а у выхода — не выше  $-50^{\circ}\text{C}$  при выдержке воздуха в компрессоре в течение 5 мин. Статоры встроенных электродвигателей подвергают длительной вакуум-термической осушке с электроподогревом обмоток током пониженного напряжения.

Фреон и смазочное масло, заправляемые в систему, должны быть тщательно осушены. Согласно ГОСТ 22502—77 для торговых холодильных установок влагосодержание R12 в смеси с маслом не должно превышать 0,0015% по массе, а в смеси с R22 — 0,006%. Влагосодержание фреонов общепромышленного применения должно быть не более 0,002—0,0025%. Применяемое совместно с R12 масло ХФ12-18 должно содержать не более 0,01 г влаги на килограмм хладагента. Максимально допустимые влагосодержания масел применяемых совместно с R22 составляют соответственно 0,015 и 0,04 г/кг.

Осушенные фреоновые масла обладают высокой гигроскопичностью, причем влагопоглощающая способность масел тем больше, чем выше температура и относительная влажность окружающего воздуха. Поэтому бидон с маслом можно открывать только в том случае, если его температура выше температуры окружающего воздуха.

Поставляемые для монтажа фреоновых холодильных установок трубы должны быть тщательно осушены, очищены и закрыты по концам предохранительными заглушками, тонкие медные трубопроводы должны иметь сплюсненные концы. Не следует добавлять в систему обезвоженный метиловый спирт, образующий с влагой раствор с низкой температурой замерзания. Метиловый спирт вступает в реакцию с хладагентом и маслом, образует смеси, которые даже в сухих системах разрушающе действуют на изоляцию статора электродвигателя, а также на алюминиевые листопркатные испарители и конденсаторы.

Для осушения фреонов лучше всего применять осушители. В установках средней и большой производительности осушители монтируют на обводной линии и включают в работу при первичной зарядке машины фреоном, после каждой дозарядки, а также при появлении признаков наличия влаги в системе. В таких установках производят периодическую разборку осушителя с заменой адсорбента и его регенерацией: поглотителем влаги в них служит силикагель — коллоидная кремниевая кислота ( $\text{SiO}_2$ ) с размерами гранул от 3 до 7 мм.

В последние годы силикагель вытесняется новыми, в несколько раз более сильными поглотителями влаги — цеолитами, представляющими собой синтетические алюмосиликатные материалы с мелкопористой кристаллической структурой и очень развитой поверхностью — до  $1000 \text{ м}^2$  на 1 г вещества. Отечественный цеолит типа NaA-2МШ и NaA-2КТ имеет строго постоянный размер пор, равный  $4 \times 10^{-7}$  мм. Благодаря этому в поры проникают и удерживаются молекулы воды, а более крупные молекулы фреонов и смазочных масел практически не поглощаются. Важным преимуществом цеолита является то, что одновременно с влагой он поглощает кислоты из маслофреонового раствора. Цеолит NaA-2МШ выпускают в виде сферических или овальных гранул размером 1,5—3,0 мм. Регенерацию его осуществляют в электропечах при температуре  $400\text{—}450^\circ \text{C}$  до остаточной потери при прокаливании не более 5%.

Влагосодержание маслофреоновой смеси удобно контролировать цветовым индикатором, который устанавливают на жидкостном трубопроводе после фильтра-осушителя. Принцип действия индикатора основан на изменении окраски гидратированных солей в зависимости от концентрации влаги во фреоне. Отечественный индикатор влажности ИВ-7 состоит из латунного корпуса со смотровым стеклом, за которым расположен чувствительный элемент — фильтровальная бумага, пропитанная 4%-ным раствором бромистого кобальта. Цвет бумаги изменяется от зелено-синего к розовому с увеличением количества влаги во фреоне в зависимости от температуры. В аналогичном по конструкции индикаторе влажности SGL фирмы «Данфосс» цвет датчика изменяется от зеленого к желтому.

Отрицательно влияет на работу фреоновых установок и воздух, попадающий в них. Как и в аммиачных установках, он скапливается в конденсаторе, создавая в нем давление выше давления конденсации хладагента. Однако главная опасность состоит в том, что вместе с атмосферным воздухом в установку проникает влага.

В связи с тем что во фреоновых холодильных установках применяются меры по обеспечению высокой герметичности, а перед заполнением фреоном они глубоко вакуумируются, вероятность попадания воздуха в них незначительна.

## ВЛИЯНИЕ МАСЕЛ НА РАБОТУ ФРЕОНОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Надежная и безопасная работа фреоновых холодильных установок в течение длительного времени может быть обеспечена при условии качественной смазки компрессоров. Поэтому применяемые масла должны обладать хорошими смазочными свойствами, быть стойкими по отношению к фреонам и не разлагаться во всем температурном интервале работы установок, в которых они используются.

При низких температурах, имеющих место в охлаждающих приборах, вязкость масел должна оставаться на приемлемом уровне для того, чтобы предотвратить значительное ухудшение теплопередачи испарителей и обеспечить удаление из них масла.

Фреоновые масла, особенно применяемые в низкотемпературных установках, должны иметь температуру помутнения (выпадения парафинов) ниже, чем температура кипения хладагента в испарителе. При этом следует иметь в виду, что парафины не растворяются во фреонах, а температура помутнения маслофреонового раствора всегда выше, чем у чистого масла и существенно зависит от содержания масла во фреоне.

При высоких температурах, достигающих 120°С в герметичных компрессорах, масло не должно разлагаться и при этом должно сохранять достаточную вязкость, чтобы не вытекать из пар трения. Температура вспышки масла должна значительно превышать рабочие температуры в компрессоре.

Свойства масел должны оставаться стабильными в течение срока службы холодильной установки.

Основные физические свойства отечественных масел, применяемых во фреоновых холодильных установках, а также некоторых но-

Таблица XVIII.2

Показатели	Масла							
	применяемые				рекомендуемые			
	ХФ 12-18	ХФ 22-24	ХФ 22с-16	ФМ 5,6 АП	ХМ 35	ХС 40	ПФГОС 4	ПМТС 5
Вязкость при 50°С	18	25	16	13	34	42	42	35
при 100°С	4,6	7	5,3	5	6,5	10,0	11,5	15
Температура, °С застывания	-40	-55	-58	-110	-35	-48	-70	128
вспышки	160	125	225	247	180	240	210	210
Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup>	874	883	994	970	926	845	1050	1020

Вых масел, рекомендуемых для использования, приведены в табл. XVIII.2.

Минеральное масло ХФ 12-18 широко используют в установках различной производительности, работающих на R12 с температурами кипения хладагента до  $-30^{\circ}\text{C}$ . Низкая вязкость ограничивает применение этого масла лишь для малонагруженных компрессоров.

Для установок, работающих на R22, используют два типа масел: минеральное ХФ 22-24 и синтетическое ХФ 22с-16.

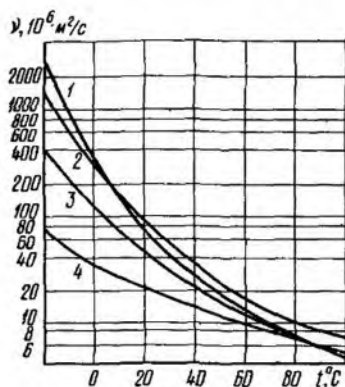


Рис. XVIII.1. Зависимость вязкости фреоновых масел от температуры:

1 — ХФ 12-18; 2 — ХФ 22-24; 3 — ХФ 22с-16; 4 — ФМ-5,6АП.

Последнее предпочтительнее, так как оно имеет более пологую зависимость вязкости от температуры (рис. XVIII.1) и значительно более высокую температуру вспышки, чем минеральное масло. Кроме того, масло ХФ 22-24 недостаточно стабильно.

Низкотемпературное синтетическое масло ФМ5, 6-АП применяют для нижних ветвей каскадных установок, работающих на R13. Преимущество этого масла — малая вязкость при низких температурах (рис. XVIII.1).

Повышение быстроходности современных компрессоров привело к разработке новых синтетических масел, обладающих достаточно большой вязкостью при высоких температурах, а также повышенными значениями температуры вспышки и поверхностного натяжения. Новые масла прошли испытания

и рекомендуются для современных компрессоров, особенно бесшальниковых и герметичных. Масло ХМ-35 рекомендуется применять вместо ХФ12-18 для установок, работающих при температурах кипения до  $-30^{\circ}\text{C}$ , масло ХС-40 предлагается для замены масла ХФ22-24 при температурах кипения до  $-40^{\circ}\text{C}$ . Вместо масла ХФ22 16 рекомендуется использовать масло ПФГОС-4, а низкотемпературное масло ПМТС-5 предлагается вместо масла ФМ-5,6АП. Новые масла характеризуются повышенной стабильностью.

Свойства маслофреоновых смесей весьма существенно сказываются на конструкции аппаратов, разводке трубопроводов, а также на условиях эксплуатации фреоновых установок.

Л. З. Мельцер разделяет хладагенты на три группы по степени взаимной растворимости с маслами, применяемыми в холодильной технике.

К первой группе относятся хладагенты с ограниченной, слабой растворимостью в маслах. Их смеси в равновесном состоянии разделены на два слоя, один из которых является слоем, богатым маслом, а другой — хладагентом. К этой группе относятся аммиак, R13, R14.

Во вторую группу входят хладагенты с неограниченной растворимостью в маслах (например, R12), т. е. когда жидкая фаза однородна.



К третьей, промежуточной группе относятся хладагенты (R22, R114 и др.), обладающие неограниченной растворимостью с маслами лишь в определенном интервале температур, выше «критической» точки.

Хладагент R22 в смеси с маслом ХФ22-24 имеет зону неограниченной растворимости в интервале температур от  $+60^{\circ}\text{C}$  до  $-12^{\circ}\text{C}$ , т. е. относится к третьей группе, однако в смеси с маслом ХФ22с-16 он неограниченно растворяется в широком диапазоне температур от  $+90^{\circ}$  до  $-60^{\circ}\text{C}$ , т. е. относится ко второй группе. С появлением новых сортов масел становится все труднее отнести хладагент к той или иной группе. Поэтому целесообразно разделять на три группы по взаимной растворимости различные маслофреоновые (и другие) смеси, а не чистые хладагенты. Состояние маслофреоновых смесей первой и третьей групп при различных температурах можно оценить с помощью диаграмм «температура смеси  $t$  — концентрация масла в смеси  $\delta_m$ », на которых нанесены кривые расслоения. Эти кривые отделяют области однородных растворов жидких фреонов и масел от областей, где смесь разделяется на две фазы.

Кривые расслоения различных масел с R22 и R13 приведены на рис. XVIII. 2. Смеси R13 с маслами ФМ-5,6АП и ПМТС-5, а также R22 с маслом ХС-40 относятся к первой группе. Кривые расслоения для них состоят из двух ветвей, между которыми находится область концентраций, соответствующая гетерогенным смесям. Область концентраций, расположенная снаружи, соответствует гомогенным смесям.

Рассмотрим, например, состояния смеси R13 с маслом ФМ-5,6АП при температуре  $-70^{\circ}\text{C}$  (см. рис. XVIII.2, а). В данном случае маслофреоновые растворы с концентрациями масла менее 9% и более 50% будут однородными, однако любые смеси промежуточных концентраций  $\xi_x$  при температуре  $-70^{\circ}\text{C}$  разделяются на две фазы: богатую фреоном с концентрацией масла  $\xi_f = 9\%$  и богатую маслом с концентрацией  $\xi_m = 50\%$ . Так как R13 в 1,2 раза тяжелее масла ФМ-5,6АП, то фаза, богатая маслом, будет располагаться выше границы раздела. Массовые доли фаз, богатых маслом и фреоном, обратно пропорциональны отношению отрезков  $xm$  и  $fx$ . Из рис. XVIII.2, а также видно, что R13 образует с маслом ФМ-5,6АП однородные растворы с концентрациями до 9% во всем рабочем диапазоне температур. Это облегчает возврат масла из испарителей каскадных установок.

Смеси R22 с маслами ХФ 22-24, ХФ 12-18 и ХМ-35 относятся к третьей группе. Ветви кривых расслоения таких смесей сходятся вместе в рабочем диапазоне температур, образуя критическую точку (точка  $K$  на рис. XVIII.2, б). При температурах, выше критической, жидкий фреон и масло неограниченно взаимно растворимы, а при температурах, ниже критической, растворимость их такая же, как у смесей первой группы. Например, при температуре  $+10^{\circ}\text{C}$  смесь R22 и масла ХФ12-18 с концентрацией 10% (точка  $x$  на рис. XVIII.2, б) разделяется на два слоя.

Верхний слой содержит 49% масла (точка  $m$ ). Нижний слой богат фреоном, концентрация масла в нем — 6% (точка  $f$ ). С понижением

температуры смеси концентрация масла в верхнем слое повышается и масло застывает.

Добавление небольшого количества R12 (до 15%) позволяет снизить критическую точку полученного тройного раствора R22 — R12 — масло ХФ 12-18 и улучшить взаимную растворимость компонентов.

К маслофреоновым смесям второй группы относятся растворы R12 с минеральными маслами (например, с ХФ 12-18), R22 с маслом ХФ 22с-16 и некоторые другие.

В равновесном состоянии переохлажденные хладагенты, входящие в смеси второй группы, неограниченно растворяются с маслами. Однако концентрация насыщенного фреономасляного раствора определяется не только его температурой, но и давлением пара  $p$  над раствором. Чем ниже температура раствора и выше давление пара над ним, тем большее количество фреона может быть растворено в смеси. При этом маслофреоновая смесь абсорбирует пары фреона.

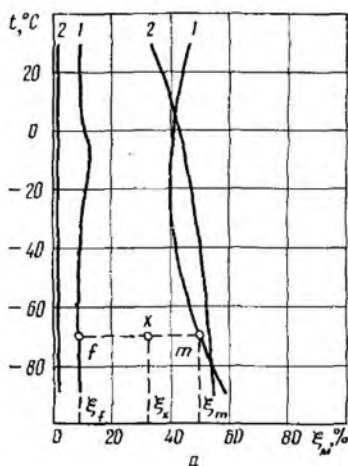


Рис. XVIII.2. Кривые расслоения смесей R13(a) и R22(б) с маслами:

1 — R13 и масло ФМ-5,6АП; 2 — R13 и масло ПТМ С-5; 3 — R22 и масло ХФ 22-24; 4 — R22 и масло ХФ 12-18; 5 — R22 и масло ХМ-25; 6 — R22 и масло ХС-40.

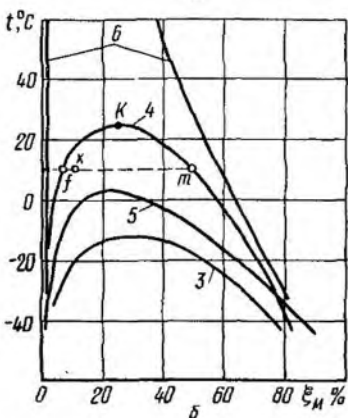
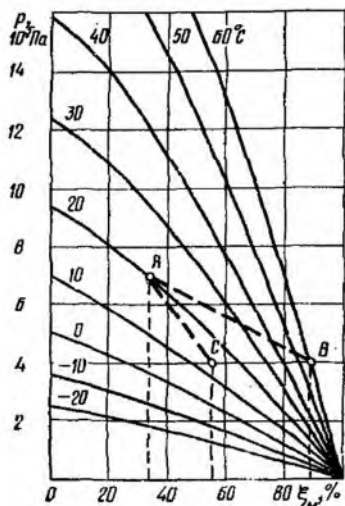


Рис. XVIII.3. Диаграмма  $t-p-x_m$  для раствора R22 и масла ХФ 22с-16.



Влияние давления и температуры на концентрацию насыщенных маслофреоновых растворов можно оценивать по  $t$ - $p$ - $\xi_m$ -диаграмме (рис. XVIII.3). Рассмотрим с помощью этой диаграммы реальные процессы изменения состояния маслофреоновой смеси, которые могут иметь место при пуске холодильной установки.

1. Пусть в картере остановленного компрессора находится маслофреоновый раствор при температуре  $+20^\circ\text{C}$  и давлении  $7 \times 10^5$  кПа (точка  $A$ ). Концентрация масла в растворе при этих условиях  $\xi_A = 33\%$ . После пуска компрессора давление в картере понижается до  $4 \times 10^5$  кПа, а температура повышается до  $+60^\circ\text{C}$  (точка  $B$ ). Новым параметрам соответствует концентрация масла  $\xi_B = 88\%$ . Таким образом, из раствора интенсивно возгоняется значительное количество фреона. При этом происходит вспенивание маслофреоновой смеси в картере, которое может привести к гидравлическому удару.

2. Пусть в кожухотрубном испарителе рассматриваемой холодильной установки параметры маслофреоновой смеси перед пуском также характеризуются точкой  $A$ . Это вероятно, если открыты вентили на всасывающей линии, а также всасывающий вентиль компрессора. После включения холодильной установки давление в испарителе быстро понижается до  $4 \times 10^5$  кПа, а температура его в начальный период продолжает еще оставаться высокой, успевая понизиться до  $+14^\circ\text{C}$  (точка  $C$ ). Новым параметрам маслофреоновой смеси в испарителе соответствует концентрация масла  $55\%$ . Выпаривание фреона из раствора может привести к большому взбуханию раствора и выбросу его в компрессор. Растворение фреона в масле всегда уменьшает вязкость получаемой смеси. Если учесть, что при низких температурах вязкость чистых масел весьма высока (см. рис. XVIII.1), то создаются благоприятные условия для предотвращения застывания масла в испарителе и низкотемпературных трубопроводах.

Необходимым условием длительной безаварийной работы фреоновой холодильной установки является поддержание постоянного уровня масла в картере компрессора.

Холодильные установки, использующие в качестве рабочих тел маслофреоновые смеси второй группы, обычно не имеют маслоотделителей, поэтому уносимое масло возвращают в компрессор из испарителей. Установки, работающие на смесях первой и третьей групп, в большинстве случаев снабжены маслоотделителями с возвратом масла в картер, однако и в этом случае часть масла попадает в испарители, из которых оно должно быть возвращено в компрессор со всасываемым паром.

Большинство фреоновых компрессоров имеет конструктивные элементы, обеспечивающие отделение и возврат в картер масла, поступившего со всасываемым паром. Компрессоры, не имеющие таких устройств, например ФУУ350, снабжают маслоотделителями на всасывающей линии, откуда масло подают в картер.

Для того чтобы в работающей установке уровень масла в картере компрессора поддерживался постоянным, необходимо выполнять два условия:

1. Массовое количество уносимого из компрессора масла должно в каждый момент времени быть равным количеству масла, возвращаемого в компрессор. Несоблюдение этого условия приведет к опустошению картера либо к переполнению его маслом.

2. Маслофреоновая смесь, возвращаемая в компрессор из охлаждающей системы и маслоотделителя, должна иметь высокую концентрацию масла, равную или близкую к таковой в картере.

Повышенная концентрация фреона в возвращаемой смеси приводит к вспениванию ее в компрессоре. Это способствует увеличению уноса масла, ухудшению объемных и энергетических характеристик холодильного компрессора и возникновению таких аварийных ситуаций, как нарушение нормальной работы маслососа, «масляный» гидравлический удар.

Для предотвращения вспенивания масла в компрессоре производят предварительное донспаривание фреона из возвращаемой смеси. Донспаривание фреона чаще всего осуществляют в специальном теплообменнике за счет теплоты переохлаждения жидкого фреона перед дросселированием либо за счет подвода внешней теплоты, например через стенки всасывающего трубопровода. Последний способ энергетически невыгоден.

Концентрация маслофреоновых смесей, циркулирующих в холодильных установках, меняется в широких пределах в зависимости от холодопроизводительности установок, их назначения и других факторов. Во фреоновых установках, имеющих маслоотделители, циркулирует почти чистый хладагент, концентрация масла в нем обычно не превышает 1—3%. В установках средней холодопроизводительности без маслоотделителей содержание масла в циркулирующей смеси составляет около 10%. В малых холодильных установках концентрация масла выше 15—30%.

Наличие растворенного фреона уменьшает вязкость маслофреоновой смеси по сравнению с чистым маслом. Поэтому при высоких температурах, имеющих место в современных быстроходных компрессорах, приходится применять новые масла повышенной вязкости. Это улучшает эксплуатацию компрессоров, но одновременно усложняет возврат масла и ухудшает теплопередачу в аппаратах.

Вязкость чистых жидких фреонов невелика. Однако даже незначительное количество растворенного масла существенно увеличивает их вязкость. Так, динамическая вязкость раствора, содержащего 5% масла, почти в 1,5 раза выше вязкости чистого фреона. Это нужно учитывать при расчете холодильного оборудования.

Присутствие масла приводит к возрастанию потерь от трения при движении хладагента. В системах, работающих на смеси R12 с маслом (в количестве 6—12%), коэффициент трения возрастает приблизительно вдвое по сравнению с чистым хладагентом.

Масло, растворенное во фреоне, влияет на теплоотдачу при кипении различно в зависимости от концентрации маслофреоновой смеси. По опытным данным, полученным при кипении растворов R12 и R22 с маслами на гладкотрубном пучке, повышение концентрации масла от 0 до 1% практически не влияет на коэффициент тепло-

отдачи, а повышение концентрации масла в растворе от 1 до 6% приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи на 20—30% при температурах кипения  $-10 \div -40^\circ\text{C}$  и практически не влияет на теплоотдачу при температуре кипения  $0^\circ\text{C}$ . При концентрации масла 10% коэффициент теплоотдачи уменьшается на 40—60%, при концентрации масла 20% — более чем в 2 раза.

При кипении маслофреоновых смесей в трубах коэффициент теплоотдачи становится максимальным при содержании в R12 и R22 масла в количестве 3% по массе. При этой концентрации масла коэффициент теплоотдачи увеличивается по сравнению с коэффициентом теплоотдачи чистого фреона соответственно на 10, 40 и 50% при температурах соответственно  $-30$ ,  $-15$  и  $-4^\circ\text{C}$ . При повышении концентрации масла до 8—10% коэффициенты теплоотдачи маслофреоновой смеси и чистых фреонов становятся равными, при дальнейшем росте концентрации масла теплоотдача ухудшается.

Глубокое переохлаждение маслофреоновой смеси перед дросселированием до температуры, близкой к температуре кипения хладагента в испарителе, значительно улучшает распределение хладагента.

Чем больше концентрация масла в смеси, тем выше температура кипения раствора (по сравнению с чистым хладагентом). Это явление, называемое кажущимся перегревом, отрицательно сказывается на теплосъеме фреоновых охлаждающих приборов, так как фактически разность между средними температурами потребителя холода  $t_k$  и кипения маслофреонового раствора  $t'_0$  оказывается меньше теоретической разности температур  $t_k$  и кипения чистого фреона  $t_0$ .

Уменьшение действительной тепловой нагрузки  $Q_d$  приборов охлаждения по сравнению с теоретической  $Q_T$  можно оценить с помощью температурного коэффициента  $\eta_T$

$$Q_d = Q_T \eta_T,$$

где  $\eta_T = (t_k - t_1) / (t_k - t_0)$ .

Если не учитывать отрицательного влияния кажущегося перегрева и гидростатического столба жидкости на теплопередачу, то действительный теплосъем испарителей  $Q_d$  может оказаться в два и более раз меньше теоретического. Разность температур  $(t_0 - t'_0)$  можно значительно уменьшить, если снизить начальную концентрацию масла в маслофреоновой смеси, поступающей в охлаждающий прибор. Это достигается применением маслоотделителя, а также соблюдением эксплуатационного режима холодильной установки, предотвращающего повышенный унос масла из компрессора.

Разность температур  $(t_0 - t'_0)$  можно также уменьшить, если доиспарение фреона из смеси, поступающей в компрессор, производить в теплообменнике. Для этого термобаллон терморегулирующего вентилля (ТРВ) устанавливают после теплообменника.

Повышенная сухость пара, выходящего из испарителя, не только нарушает нормальный возврат масла в компрессор, но и приводит к повышению концентрации масла в самом испарителе, ухудшающему его теплопередачу.

Для обеспечения нормального режима хранения продуктов в малом холодильном оборудовании (шкафах, прилавках, витринах, сборных и стационарных камерах) необходимо соблюдать следующие требования: загружать продукты только после достижения заданной температуры в шкафу, прилавке, витрине, камере; скоропортящиеся продукты, поступающие из холодильных камер, загружать в охлажденном состоянии; горячие блюда (компоты, молоко, закуски) устанавливать в шкафах, прилавках, витринах после предварительного их охлаждения до температуры окружающего воздуха; не превышать допустимую максимальную норму загрузки; не покрывать бумагой, марлей, фанерой полки шкафов, прилавков и камер — это препятствует свободному движению воздуха и нормальному охлаждению продуктов; укладывать и подвешивать продукты на некотором расстоянии друг от друга и на расстоянии от стенок 6—10 см; не хранить одновременно разнородные продукты, один из которых обладает резким запахом (например, сельди и сливочное масло, мясо и сыр, рыбу и мясо); открывать двери шкафов, прилавков, камер следует возможно реже и на короткий срок, а затем плотно закрывать их.

Для проверки температуры в шкафу, прилавке, витрине, сборной и стационарной камерах устанавливают термометры.

Слой снеговой шубы на испарителях не должен превышать 4—5 мм. Между ребрами испарителя всегда должно быть свободное от инея пространство. При толщине инея 4—5 мм производят оттаивание инея с приборов охлаждения. Образующуюся при таянии инея воду отводят в бачок. Недопустимо удалять снеговую шубу с испарителей ножами, скребками и другими предметами — это приводит к повреждению испарителей, утечке фреона из системы холодильной машины и выходу ее из строя. Если в торговом холодильном оборудовании нет продуктов, то холодильные машины выключают. Перед закрытием торгового предприятия проверяют, выключены ли незагруженные прилавки, витрины, шкафы.

Неисправности внезапного характера в холодильной системе и электрооборудовании малых холодильных установок, которые возникают между плановыми профилактическими осмотрами и текущими ремонтами и не поддаются прогнозированию, возможные причины возникновения неисправностей и способы устранения отказов и дефектов указаны в специальной литературе.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение I

Энтальпии некоторых пищевых продуктов, кДж/кг

Температура продукта, °С	Продукт						
	Говядина, птица	Баранина	Свинина	Мясные субпродукты	Молоко цельное	Масло сливочное	Мороженое сливочное
-20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-18	4,6	4,6	4,6	5,0	5,5	3,8	7,1
-15	13,0	12,6	12,2	13,8	14,3	10,1	19,7
-12	22,2	21,8	21,4	24,4	25,2	17,6	34,8
-10	30,2	29,8	28,9	33,2	32,7	23,5	46,9
-8	39,4	38,5	34,8	43,1	42,3	29,3	62,4
-5	57,3	55,5	54,4	62,8	62,8	40,6	105,3
-3	75,3	77,0	73,3	87,9	88,7	50,5	178,8
-2	98,8	95,8	91,6	109,6	111,2	60,4	221,0
-1	185,5	179,5	170,0	204,0	184,2	91,6	224,4
0	232,2	224,0	211,8	261,0	317,8	95,0	227,4
1	235,5	227,0	214,7	264,5	322,3	98,0	230,8
2	238,2	230,0	217,8	268,3	326,8	101,4	234,0
4	245,5	236,3	224,0	274,3	334,4	106,5	240,9
8	248,2	249,0	235,8	289,2	350,7	121,4	254,4
10	264,5	255,3	241,7	296,0	358,5	129,8	264,0
12	270,8	261,4	248,2	302,2	366,0	138,6	267,9
15	280,4	271,2	256,8	312,8	378,0	155,3	277,8
20	296,8	286,7	272,5	330,6	398,0	182,8	294,3
25	312,0	301,8	287,7	348,0	418,0	204,2	311,0

## Приложение 2

Энтальпии некоторых молочных продуктов при различных температурах, кДж/кг

Температура продукта, °С	Продукт					
	Молоко гущеное	Молоко сухое	Сыр	Творог	Сметана	Сливки 20%-ные
-10	0,0	—	—	0,0	—	—
-8	4,187	—	1,25	10,63	—	—
-5	10,88	—	5,44	32,65	—	—
-3	15,07	—	11,30	49,82	—	—
-1	19,67	—	16,74	139,42	—	—
0	21,77	0,0	19,67	245,77	0,0	0,0
1	23,86	2,09	22,19	249,12	3,76	3,34
3	28,47	5,86	28,05	256,24	7,53	10,46
5	32,65	9,63	33,49	263,36	18,42	17,58
7	36,84	13,39	39,35	270,48	25,95	24,28
10	43,54	19,26	47,73	280,94	36,84	34,75
12	47,73	23,02	53,17	288,06	44,38	41,45
15	54,43	28,89	61,54	298,53	55,26	52,33
17	59,03	32,65	66,99	305,65	62,80	59,03
20	65,31	38,52	75,78	316,11	73,69	69,50
25	76,20	48,15	89,60	334,12	95,88	86,67
30	87,08	57,78	103,83	351,70	110,53	104,25

## Теплофизические свойства воздуха

Температура, °C	Энтальпия воздуха (в кДж/кг) при нормальном атмосферном давлении и относительной влажности, %						Плотность при нормальном атмосферном давлении, кг/м <sup>3</sup>
	0	20	40	60	80	100	
-35	-35,17	-35,08	-35,04	-34,96	-34,91	-34,83	1,484
-30	-30,10	-30,02	-29,89	-29,81	-29,68	-29,56	1,453
-25	-25,03	-24,91	-24,74	-24,53	-24,32	-24,15	1,423
-20	-20,09	-19,76	-19,46	-19,13	-18,84	-18,50	1,396
-15	-15,07	-14,48	-13,90	-13,31	-12,72	-12,14	1,368
-10	-10,04	-9,25	-8,45	-7,70	-6,90	-6,11	1,342
-5	-5,02	-3,81	-2,59	-1,33	-0,12	1,13	1,317
0	0,0	1,88	3,72	5,61	7,49	9,37	1,293
5	5,02	7,70	10,38	13,10	15,82	18,54	1,264
10	10,04	13,81	17,66	21,47	25,33	29,22	1,242
15	15,07	20,34	25,70	31,06	36,42	41,87	1,226
20	20,09	27,38	34,75	42,28	45,10	53,17	1,205
25	25,12	35,04	45,21	55,26	65,73	76,20	1,185
30	30,14	43,54	53,17	71,17	84,99	99,65	1,165
35	35,17	53,17	71,17	90,02	109,28	128,54	1,146
40	40,19	63,64	88,34	113,04	139,00	165,80	1,128

## Приложение 4

## Упругость насыщенного водяного пара над льдом

Температура, °C	Давление, Па	Температура, °C	Давление, Па	Температура, °C	Давление, Па
-50	3,866	-33	27,331	-16	150,387
-49	4,400	-32	30,264	-15	165,053
-48	4,933	-31	33,597	-14	180,918
-47	5,600	-30	37,330	-13	198,117
-46	6,266	-29	41,463	-12	216,915
-45	6,933	-28	45,996	-11	237,313
-44	7,733	-27	51,062	-10	259,445
-43	8,799	-26	56,395	-9	283,309
-42	9,866	-25	62,795	-8	309,440
-41	11,066	-24	69,461	-7	337,571
-40	12,399	-23	76,794	-6	368,102
-39	13,999	-22	84,793	-5	401,033
-38	15,865	-21	93,459	-4	436,763
-37	17,865	-20	102,925	-3	475,426
-36	19,998	-19	113,324	-2	517,156
-35	22,265	-18	124,656	-1	562,086
-34	24,665	-17	136,922	0	610,481



## Свойства насыщенных паров аммиака

Температура, °С	Давление, кПа	Удельный объем, м <sup>3</sup> /кг		Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Энтальпия, кДж/кг		Скрытая теплота парообра- зования, кДж/кг
		жидкости	пара	жид- кости	пара	жидкости	пара	
-40	-26,292	0,001449	1,5520	690,0	0,6443	237,49	1627,50	1390,00
-39	-22,370	0,001452	1,4768	688,8	0,6771	241,88	1629,12	1387,24
-38	-18,270	0,001454	1,4058	687,5	0,7113	246,28	1630,70	1384,43
-37	-13,984	0,001457	1,3388	686,3	0,7469	250,84	1632,30	1381,46
-36	-9,522	0,001460	1,2756	685,1	0,7839	255,32	1633,90	1378,57
-35	-4,864	0,001462	1,2160	683,9	0,8224	259,80	1635,44	1375,64
-34	-1,960	0,001465	1,1598	682,6	0,8622	264,16	1637,00	1372,83
-33	5,040	0,001467	1,1065	681,4	0,9038	268,72	1638,54	1369,82
-32	10,306	0,001470	1,0561	680,1	0,9469	273,24	1640,10	1366,85
-31	15,778	0,001473	1,0086	678,9	0,9915	277,64	1641,60	1363,96
-30	21,486	0,001476	0,9635	677,6	1,0380	282,20	1643,10	1360,90
-29	27,410	0,001478	0,9209	676,4	1,0860	286,64	1644,61	1357,97
-28	33,578	0,001480	0,8805	675,2	1,1360	291,16	1646,10	1354,90
-27	39,980	0,001484	0,8422	673,9	1,1870	295,64	1647,54	1351,90
-26	46,6300	0,001487	0,8059	672,6	1,241	300,12	1649,00	1348,90
-25	53,5440	0,001489	0,7715	671,5	1,296	304,69	1650,47	1345,80
-24	60,7130	0,001492	0,7388	670,1	1,354	309,17	1651,90	1342,73
-23	68,1460	0,001495	0,7078	668,9	1,413	313,65	1653,32	1339,67
-22	75,8640	0,001498	0,6783	667,6	1,474	318,17	1654,70	1336,53
-21	83,8660	0,001500	0,6503	666,3	1,538	322,69	1656,13	1333,43
-20	92,1530	0,001504	0,6237	665,0	1,603	327,21	1657,51	1330,30
-19	100,7430	0,001507	0,5984	663,7	1,671	331,74	1658,85	1327,11
-18	109,6380	0,001510	0,5743	662,4	1,741	336,26	1660,19	1323,93
-17	118,8460	0,001512	0,5514	661,2	1,814	340,78	1661,53	1320,75
-16	128,3780	0,001515	0,5296	659,8	1,888	345,34	1662,87	1317,52
-15	138,2440	0,001520	0,5088	658,5	1,965	349,91	1664,16	1314,26
-14	148,4430	0,001521	0,4890	657,2	2,045	354,43	1665,46	1311,03
-13	158,9850	0,001524	0,4701	656,0	2,127	358,99	1666,76	1307,77
-12	169,8900	0,001528	0,4520	654,6	2,212	363,60	1668,02	1304,42
-11	181,1480	0,001530	0,4350	653,3	2,300	368,12	1669,27	1301,15
-10	192,7790	0,001534	0,4185	652,0	2,390	372,69	1670,50	1297,80
-9	204,7920	0,001537	0,4028	650,7	2,483	377,29	1671,70	1294,41
-8	217,2000	0,001540	0,3878	649,4	2,579	381,90	1672,92	1291,02
-7	230,0000	0,001543	0,3735	648,0	2,677	386,42	1674,10	1287,67
-6	243,1850	0,001546	0,3600	646,7	2,779	391,11	1675,30	1284,19
-5	256,8000	0,001550	0,3468	645,3	2,884	395,67	1676,43	1280,76
-4	270,8300	0,001553	0,3343	644,0	2,991	400,23	1677,56	1277,33
-3	285,3000	0,001556	0,3224	642,6	3,102	404,84	1678,69	1273,85
-2	300,2000	0,001560	0,3110	641,3	3,216	409,45	1679,82	1270,38
-1	315,5680	0,001563	0,3000	639,9	3,333	414,10	1680,90	1266,82
0	331,3760	0,001566	0,2895	638,6	3,454	418,70	1682,00	1263,30
1	347,6650	0,001570	0,2795	637,2	3,578	423,31	1683,05	1259,74
2	364,425	0,001573	0,2698	635,8	3,706	427,95	1684,10	1256,14
3	381,675	0,001576	0,2606	634,5	3,837	432,56	1685,10	1252,54
4	399,424	0,001580	0,2517	633,1	3,973	437,30	1686,15	1248,86
5	417,675	0,001583	0,2433	631,7	4,110	441,90	1687,15	1245,26
6	436,445	0,001586	0,2351	630,3	4,254	446,54	1688,11	1241,57
7	455,744	0,001590	0,2273	628,9	4,400	451,23	1689,08	1237,84

Температура, °С	Давление, кПа	Удельный объем, м <sup>3</sup> /кг		Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Энтальпия, кДж/кг		Скрытая теплота парообразования, кДж/кг
		жидкости	пара	жидкости	пара	жидкости	пара	
8	475,573	0,001594	0,2198	627,5	4,550	455,92	1690,04	1234,12
9	495,952	0,001597	0,2126	626,1	4,704	460,57	1690,92	1230,35
10	516,880	0,001600	0,2056	624,7	4,864	465,26	1691,88	1226,62
11	538,385	0,001604	0,1990	623,2	5,025	469,90	1692,76	1222,86
12	560,460	0,001608	0,1926	621,9	5,192	474,60	1693,60	1219,00
13	583,123	0,001612	0,1864	620,4	5,365	479,30	1694,48	1215,19
14	606,384	0,001616	0,1805	619,0	5,540	484,06	1695,32	1211,26
15	630,244	0,001619	0,1748	617,6	5,721	488,75	1696,15	1207,40
16	654,730	0,001620	0,1693	616,1	5,907	493,48	1697,00	1203,50
17	679,846	0,001627	0,1641	614,6	6,094	498,38	1697,83	1199,45
18	705,588	0,001630	0,1590	613,2	6,289	502,94	1698,54	1195,60
19	732,000	0,001635	0,1541	611,7	6,489	507,67	1699,29	1191,62
20	759,054	0,001640	0,1494	610,3	6,693	512,50	1700,05	1187,56
21	786,787	0,001643	0,1449	608,8	6,900	517,26	1700,76	1183,50
22	815,210	0,001647	0,1405	607,3	7,117	522,12	1701,47	1179,35
23	844,313	0,001650	0,1363	605,8	7,337	526,80	1702,14	1175,33
24	874,126	0,001655	0,1322	604,3	7,564	531,62	1702,85	1171,23
25	904,664	0,001660	0,1283	602,8	7,794	536,48	1703,44	1167,00
26	935,947	0,001663	0,1245	601,3	8,032	541,25	1704,07	1162,81
27	967,916	0,001670	0,1208	599,8	8,278	546,11	1704,78	1158,67
28	1000,670	0,001671	0,1173	598,3	8,525	550,97	1705,37	1154,40
29	1034,111	0,001676	0,1139	596,8	8,780	555,70	1705,91	1150,21
30	1068,435	0,001680	0,1106	595,2	9,042	560,56	1706,45	1145,90
31	1103,444	0,001684	0,1075	593,7	9,300	565,29	1706,96	1141,67
32	1139,337	0,001690	0,1044	592,1	9,580	570,27	1707,50	1137,23
33	1176,013	0,001693	0,1014	590,6	9,860	575,04	1707,96	1132,92
34	1213,475	0,001698	0,0986	589,0	10,140	579,98	1708,46	1128,48
35	1251,820	0,001700	0,0958	587,4	10,440	584,92	1708,88	1123,96
+36	1290,950	0,001710	0,0931	585,9	10,74	589,82	1709,34	1119,52
+37	1330,960	0,001711	0,0905	584,3	11,05	594,72	1709,76	1115,04
+38	1371,852	0,001716	0,0880	582,7	11,36	599,58	1710,10	1110,52
+39	1413,630	0,001720	0,0856	581,1	11,68	604,43	1710,35	1105,91
+40	1456,288	0,001726	0,0833	579,5	12,00	609,50	1710,68	1101,18

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голянд М. М., Малеванный Б. Н. Холодильное технологическое оборудование. М.: Пищевая промышленность, 1977. — 335 с.
2. Жадан В. З. Теплофизические основы хранения сочного растительного сырья на пищевых предприятиях. М.: Пищевая промышленность, 1976. — 233 с.

3. Захаров Ю. В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины. Л.: Судостроение, 1972. — 556 с.
4. Ионов А. Г., Мекеницкий С. Я., Боголюбовский О. К. Насосно-циркуляционные системы морозильных

- установок. М.: Пищевая промышленность, 1976.—183 с.
5. Коган В. Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. Л.: Химия, 1977. — 592 с.
6. Курьяев Е. С., Герасимов Н. А. Холодильные установки. Л.: Машиностроение, 1970.—672 с.
7. Мнацаканов Г. К., Бушта Н. В., Чумак Н. И. Процессы тепло- и массообмена в камерах хранения мороженных грузов, Холодильная техника, 1978, № 12.
8. Нестеренко Ю. Ф. Теория и расчет судовой тепловой изоляции. Л.: Судостроение, 1973. — 432 с.
9. Теплообменные аппараты / [Г. Н. Данилова, С. Н. Богданов, О. П. Иванов и др.] под ред. Г. Н. Даниловой. Л.: Машиностроение, 1973. — 328 с.
10. Фраас А., Оцисик М. Расчет и конструирование теплообменников. М.: Атомиздат, 1971.—357 с.
11. Чижов Г. Б. Теплофизические процессы в холодильной техно-

логии пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1978.— 292 с.

12. Чулкин С. Г., Мартыновский В. С., Мельцер Л. З. Холодильные установки. М.: Госторгиздат, 1961. — 469 с.
13. Чулкин С. Г., Чумак И. Г. Охлаждающие системы морозильных камер и пути их интенсификации. М.: Пищевая промышленность. 1968. — 40 с.
14. Чулкин С. Г., Чумак И. Г., Файнзильберг Е. З. Современные холодильники для хранения фруктов. Кишинев: Картя молдовеняскэ, 1970.—150 с.
15. Холодоснабжение предприятий мясной и молочной промышленности. Справочное пособие под редакцией проф. Чумака И. Г. Киев: Вища школа, 1979. — 192 с.
16. Чумак И. Г., Коханский А. И. Динамические режимы работы холодильных установок и аппаратов. М.: Машиностроение, 1978.—185 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Авторефрижераторы 304
- Аммиак, влияние гидростатического столба жидкости на температуру кипения 55
- производство 259
- Аппараты скороморозильные бесконтактные 94
- — — горизонтально-плиточные 95
- — — вертикально-плиточные 95
- — — мембранные 96
- — — роторные 97
- — — воздушные 96
- — — гравитационные 91
- — — конвейерные 90
- — — тележечные 90
- — — флюидизационные 91
- — контактные 98

Аппараты теплообменные, коэффициент теплопередачи 80

— — — показатели технико-экономической эффективности 81

Батареи охлаждающие 78

Бассейны брызгальные 186, 187

- Вентилирование 170
- Влажность воздуха, относительная равновесная 156
- Вместимость холодильника 207
- Воздуховоды, расчет 174
- Воздухораспределители 172
- Воздухоохладители орошаемые 77
- — — поверхностные 75
- — — режимы работы 85

- Градирни 187, 203, 240  
 Грунт, глубина замораживания 245  
 — состав 244  
 — температура замерзания 245
- Депарафинизация масел 267**
- Зависимость Фикийна 133**  
 Замораживание мяса, режимы 130  
 — овощей и фруктов 98  
 — скорость 130  
 — расчет 132, 135
- Испарители 71**  
 — интенсификация 112, 113, 114  
 — плотность теплового потока 74
- Изоляция динамическая 122**  
 — коэффициент теплопроводности 19  
 — материалы 16  
 — расчет зоны конденсации 20  
 — судовая 28  
 — холодильников 24
- Камеры холодильные 13, 118**  
 — — грузовой объем 208  
 — — математическая модель 230  
 — — охлаждаемый строительный объем 207  
 — — расчет тепловой нагрузки 142  
 — — системы отвода теплоты 120
- Катки ледяные 270
- Компрессоры, подбор 223  
 — узлы подключения 236
- Конденсаторы воздушного охлаждения 196  
 — выбор 203  
 — — — конструкции 196  
 — — — коэффициент теплопередачи 201  
 — — — расчет 198  
 — испарительного охлаждения 193  
 — — — конструкции 196  
 — — — коэффициент теплопередачи 198  
 — — — расчет 194
- Контейнеры рефрижераторные 307
- Коэффициент влаговываждения 86  
 — гидравлического сопротивления охлаждающих приборов 117  
 — коррекционный (формы) 134  
 — поглощения солнечной радиации 216  
 — сглаживания неравномерности поступления мяса в камеры 137  
 — скольжения фаз 117  
 — теплопередачи ограждений холодильника 25, 26
- теплопроводности изоляции 19  
 — эффективности водоохладителей 185  
 Кратность циркуляции 45, 113, 115  
 — — фреона 69  
 Кристаллизаторы 268
- Лед естественный 272**  
 — искусственный 273  
 — — время намораживания 277  
 — — условия намораживания 275  
 — сухой 284  
 — технологические схемы производства 287
- Льдогенераторы льда блочного 280  
 — — снежного 282  
 — — трубчатого 283  
 — — чешуйчатого 281
- Масло, влияние на работу фреоновой холодильной установки 327**  
 — физические свойства 327
- Маслоотделители 99
- Метод электро-тепловой аналогии 28  
 — Ильинского 130
- Модель математическая 225, 227
- Напряженне солнечной радиации 217**  
 Напородержатели 37
- Насадка воздухораспределительная 172  
 — — расчет 176  
 — орошаемая градирни 191
- Насосы центробежные, подбор 103  
 — — схема подключения 240
- Охлаждение мяса, режимы 127, 129**  
 Ограждения холодильников 15, 25, 27
- Отделители жидкости 99
- Отношение тепловлажностное 158, 162
- Параметры двухфазного потока, истинные 106**  
 — — — расходные 105
- Планировки рефрижераторных судов 292  
 — холодильников 209
- Платформы холодильников 210
- Полы холодильников 15, 28
- Рассолы, область применения 50**  
 — свойства 50
- Ресиверы 100
- Рубашка теплозащитная 121
- Системы оттаивания 56**  
 — охлаждения авторефрижераторов 304  
 — — безопасные 31

Системы охлаждения вагонов рефрижераторных 298  
— — конденсаторов 183  
— — насосно-циркуляционные 37  
— — с промежуточным хладоносителем 46  
— — трюмов рефрижераторных 294  
— — фреоновые 47, 57  
— — фруктохранилищ 147  
Скорость скольжения фаз 106  
Смесь маслофреоновая, влагосодержание 326  
— — особенности циркуляции 68  
Температура воздуха среднегодовая 24  
— — равновесная в камерах  
— — замерзания рассола 51  
Термосифон 250  
Труба тепловая 249  
Трубопроводы, прокладка 242

Увлажнение воздуха 178  
Удары гидравлические 312  
Усушка продуктов, расчет 158  
— — растительных 145

Фотоматериалы, производство 269  
Фреоны, свойства 57  
— способы подвода к испарителям 61

Хладоносители 49  
Холодильники, классификация 7  
— многоэтажные 9, 211  
— одноэтажные 9, 210

Цепь холодильная 7  
Циркуляция маслофреоновой смеси 68  
— хладагента 53

Экраны ледяные 181

Предисловие . . . . .	3	<b>Глава IV. Фреоновые системы</b>	57
<b>Глава I. Основные сведения</b>		охлаждения . . . . .	57
э холодильниках для обработки		Основные сведения о фреонах . . .	
и хранения пищевых продуктов . . .	7	Особенности фреоновых систем	60
Классификация холодильников . . .	7	охлаждения . . . . .	
Одноэтажные и многоэтажные хо-		<b>Глава V. Теплообменные ап-</b>	
лодильники . . . . .	9	<b>параты, скороморозильные аппараты</b>	
Характеристика камер холодиль-		<b>и вспомогательное оборудование си-</b>	
ника . . . . .	13	<b>стем охлаждения . . . . .</b>	71
<b>Глава II. Ограждающие и</b>		Испарители . . . . .	71
<b>теплоизоляционные конструкции</b>		Воздухоохладители и охлаждаю-	75
холодильников . . . . .	15	щие батареи . . . . .	75
Ограждающие конструкции холо-		Воздухоохладители . . . . .	78
дильников . . . . .	15	Охлаждающие батареи . . . . .	
Назначение теплоизоляции и тепло-		Основные закономерности расчета те-	78
изоляционные материалы . . . . .	15	плообменных аппаратов . . . . .	
Тепло- и массообмен в изоляции		Расчет воздухоохладителей. Ре-	85
Виды теплообмена в изоляции . . .	18	жимы работы . . . . .	89
Коэффициент теплопроводности		Скороморозильные аппараты . . .	
изоляции . . . . .	19	Классификация и краткая ха-	89
Расчет зоны конденсации в изоля-		рактеристика . . . . .	
ции . . . . .	20	Конструкции скороморозиль-	89
Расчет и выбор изоляционных кон-		ных аппаратов . . . . .	99
струкций холодильников . . . . .	24	Вспомогательное оборудование . . .	
Расчет судовых изоляционных кон-		<b>Глава VI. Тепло-, массообмен</b>	
струкций . . . . .	28	<b>и гидродинамика двухфазных по-</b>	
<b>Глава III. Системы охлаждения</b>	29	<b>токов в системах охлаждения . . .</b>	105
Классификация и общая характе-		Параметры двухфазного потока . . .	105
ристика . . . . .	29	Теплообмен при двухфазном те-	
Безнасосные системы непосредст-		чении хладагента . . . . .	110
венного охлаждения . . . . .	31	Гидравлическое сопротивление	116
Прямоточные системы . . . . .	32	охлаждающих приборов . . . . .	
Системы с отделителем жид-		<b>Глава VII. Камеры холодиль-</b>	
кости . . . . .	35	<b>ной обработки и хранения продук-</b>	
Насосно-циркуляционные систе-		<b>тов . . . . .</b>	118
мы охлаждения . . . . .	37	Общие сведения . . . . .	119
Системы с напородержателями . . .	37	Теплопередача в камерах . . . . .	
Прямоточные системы . . . . .	43	Системы отвода теплоты в каме-	120
Системы с промежуточным хладо-		рах . . . . .	
носителем . . . . .	46	Классификация камер холодиль-	124
Основные сведения . . . . .	46	ной обработки мяса . . . . .	
Промежуточные хладоносители . . .	49	Конструкции камер холодильной	126
Преимущества и недостатки систем		обработки мяса . . . . .	127
охлаждения с промежуточ-		Режимы охлаждения мяса . . . . .	130
ными хладоносителями . . . . .	52	Режимы замораживания мяса . . . .	132
Системы оттаивания снеговой шу-		Расчет процесса охлаждения мяса	
бы . . . . .	56	Расчет продолжительности замо-	135
		раживания мяса . . . . .	

Расчет тепловой нагрузки камер поточного охлаждения и замораживания	142
Режимы холодильной обработки и хранения плодов и овощей	144
Влияние системы охлаждения на режим холодильной обработки плодов и овощей	146
<b>Глава VIII. Процессы тепло- и массообмена при холодильной обработке и хранении продуктов</b>	151
Условия хранения, охлаждения и замораживания продуктов	151
Равновесная температура воздуха в камерах	154
Равновесная относительная влажность воздуха	156
Тепловой баланс камер холодильников	157
Методы расчета усушки пищевых продуктов в камерах хранения	158
Методы расчета усушки продуктов, основанные на использовании тепловлажностного отношения	162
Зависимость усушки продуктов от процессов тепло- и массообмена в камерах холодильников	165
Влияние упаковки продукта на усушку	169
<b>Глава IX. Системы воздухо-распределения</b>	170
Классификация систем вентиляции и воздухораспределения	170
Расчет систем воздухораспределения	173
Расчет воздуховодов с переменной скоростью истечения воздуха	174
Расчет насадок	176
Способы увлажнения воздуха	178
<b>Глава X. Системы отвода теплоты конденсации в холодильных установках</b>	183
Виды систем охлаждения конденсаторов и водоохладителей	183
Водоохладители	184
Расчет водоохладителей	184
Конструкции водоохладителей	187
Совместная работа водоохладителей с конденсаторами	192
Конденсаторы испарительного охлаждения	193
Конструкции конденсаторов	193
Расчет конденсаторов	194
Конденсаторы воздушного охлаждения	196
Конструкции конденсаторов	196
Расчет конденсаторов	198
Выбор конденсатора	202

<b>Глава XI. Проектирование холодильников</b>	205
Обоснование объемно-планировочных решений при проектировании	205
Определение вместимости холодильника	207
Основные планировочные решения холодильников	209
Определение тепловых нагрузок на холодильное оборудование	213
Подбор оборудования машинных и аппаратных отделений	222
Подбор оборудования прямым способом	222
Подбор оборудования с использованием элементов математического моделирования	225
Компоновка узлов холодильных установок	236
Требования к размещению оборудования	241
<b>Глава XII. Борьба с промерзанием грунта под полами холодильников</b>	244
Промерзание грунта	244
Виды обогрева	246
<b>Глава XIII. Низкотемпературные тепловоды</b>	249
Общие сведения	249
Устройство тепловодов	249
Области применения тепловодов	251
Проектирование систем с низкотемпературными тепловодами	253
<b>Глава XIV. Применение холодильных установок в различных отраслях народного хозяйства</b>	257
Общие сведения	257
Производство аммиака	257
Производство синтетического каучука	259
Сжижение природного газа	263
Получение смазочных масел из нефтепродуктов	265
Получение кристаллов из растворов	267
Производство искусственного волокна	268
Получение фотоматериалов	269
Искусственные ледяные катки	269
<b>Глава XV. Водный лед</b>	270
Общие сведения	272
Основы льдотехники	272
Физические основы образования льда	273
Теплопередача и льдообразование у охлаждаемых стенок	273
Льдогенераторы	280

Льдогенераторы рассольного охлаждения . . . . .	280	Гидравлические удары и меры их предотвращения . . . . .	312
Льдогенераторы непосредственного охлаждения . . . . .	282	Повышение надежности холодильных установок . . . . .	314
Глава XVI. Сухой лед . . . . .	284	Повышение безопасности эксплуатации холодильных установок . . . . .	316
Общие сведения . . . . .	284	Особенности эксплуатации насосно-циркуляционных систем . . . . .	319
Технологические схемы производства жидкой углекислоты . . . . .	285	Особенности эксплуатации фреоновых холодильных установок . . . . .	320
Технологические схемы производства сухого льда . . . . .	287	Методы определения и предотвращения утечек хладагента во фреоновых холодильных установках . . . . .	322
Глава XVII. Холодильный транспорт . . . . .	291	Влияние влаги и воздуха на работу фреоновых холодильных установок . . . . .	324
Общие сведения . . . . .	291	Влияние масел на работу фреоновых холодильных установок . . . . .	327
Морской холодильный транспорт . . . . .	291	Особенности эксплуатации малых холодильных установок . . . . .	334
Железнодорожный холодильный транспорт . . . . .	298	Приложения . . . . .	335
Автомобильный холодильный транспорт . . . . .	304	Список рекомендуемой литературы . . . . .	338
Рефрижераторные контейнеры . . . . .	307	Предметный указатель . . . . .	339
Глава XVIII. Основы эксплуатации холодильных установок . . . . .	310		
Общие положения . . . . .	310		
Площадки в работе холодильной установки . . . . .	310		

**ИГОРЬ ГРИГОРЬЕВИЧ ЧУМАК**  
**ВИКТОР ПАВЛОВИЧ ЧЕПУРНЕНКО**  
**СЕРГЕЙ ГРИГОРЬЕВИЧ ЧУКЛИН**

## Холодильные установки

Редактор *Г. А. Гусева*. Художник *Е. Н. Сергеев*. Художественный редактор *Е. К. Селикова*. Технический редактор *Н. Н. Зиновьева*. Корректоры *М. А. Шегал*, *Н. П. Багма*.

ИБ № 965

---

Сдано в набор 16.10.80. Подписано в печать 24.04.81. Т-05141. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типографская № 2. Литературная гарнитура. Высокая печать. Объем 21,5 п. л. Усл. п. л. 21,5. Усл. л. кр.-от. 21,5. Уч.-изд. л. 26,57. Тираж 40 000 экз. Заказ 813. Цена 1 р.

---

Издательство «Легкая и пищевая промышленность», 113035, Москва, М-35, 1-й Кадашевский пер., д. 12.

---

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговле. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

---