УЧЕБНИК / ДЛЯ ВУЗОВ

О. А. Цуранов, А. Г. Крысин

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением в области товароведения и экспертизы товаров в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по торговым специальностям

300.piter.com

Издательская программа

300 лучших учебников для высшей школы в честь 300-летия Санкт-Петербурга

осуществляется при поддержке Министерства образования РФ

ПИТЕР®

Москва · Санкт-Петербург · Нижний Новгород · Воронеж
Ростов-на-Дону · Екатеринбург · Самара · Новосибирск
Киев · Харьков · Минск
2004

ББК 32.392я7
УДК 621.56(075)
Г94

Рецензенты:

к. т. н., проф. кафедры общей и холодильной технологии пищевых производств Санкт-Петербургского Государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий В. И. Филиппов;
к. т. н., доцент кафедры кондиционирования воздуха Санкт-Петербургского Государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий А. Л. Тимофеевский

Цуранов О. А., Крысин А. Г.

Г94 Холодильная техника и технология / Под ред. проф. В. А. Гуляева — СПб. Лидер, 2004. — 448 с.: ил. — (Серия «Учебник для вузов»).

ISBN 5-94723-965-5

Учебник состоит из двух разделов, содержащих научную и практическую информацию из области холодильной технологии и холодильной техники. Представлен материал, касающийся специализированного торгового холодильного оборудования — фризеров мягкого мороженого, льдогенераторов, аппаратов для охлаждения и замораживания продуктов, приведены сведения о кондиционировании воздуха на предприятиях общественного питания и торговли, рассмотрены основные типы холодильного транспорта, требования к эксплуатации холодильного оборудования.

Учебник предназначен для студентов торгово-экономических вузов.

ББК 32.392я7
УДК 621.56(075)

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 5-94723-965-5

© ООО «Лидер», 2004

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАЗДЕЛ I. ОСНОВЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Глава 1. Состав и свойства пищевых продуктов 12
1.1. Связь влаги с компонентами продукта 13
1.2. Структурные компоненты продуктов, изменение их свойств 15
1.3. Гистологические и цитологические особенности структуры продуктов 21
Глава 2. Микрофлора пищевых продуктов 25
2.1. Питание и дыхание микрофлоры 26
2.1.1. Взаимодействие микрофлоры со средой 27
Глава 3. Охлаждение продуктов 30
3.1. Граничные условия при охлаждении 30
3.2. Длительность охлаждения продуктов 32
3.3. Регулярный тепловой режим 37
3.4. Теплота, отводимая при охлаждении 40
3.5. Потери влаги с поверхности продукта (усушка) при его охлаждении 41
3.6. Параметры охлаждения продуктов 43
3.7. Методы охлаждения основных продуктов 46
3.8. Технические средства охлаждения 47
Глава 4. Замораживание продуктов 52
4.1. Льдообразование в тканевых системах 52
4.2. Количество вымороженной воды 57
4.3. Средняя конечная температура 58
4.4. Изменение теплофизических характеристик пищевых продуктов при замораживании 59
4.5. Длительность замораживания продукта 65
4.5.1. Порядок решения задачи 65
4.5.2. Методы интенсификации замораживания 68
4.6. Подмораживание продуктов 70
4.7. Технические средства замораживания продуктов 71
Глава 5. Холодильное хранение продуктов 78
5.1. Условия и сроки хранения отдельных видов продуктов 79

5.1.1. Хранение продуктов животного происхождения 79
5.1.2. Хранение плодов и овощей 82
5.1.3. Влияние барометрического давления на условия холодильного хранения продуктов 85
5.2. Усушка при холодильном хранении продуктов 86
5.3. Перекристаллизация льда (рекристаллизация) в тканях при холодильном хранении 92
Глава 6. Отепление и размораживание продуктов 95
6.1. Отепление продуктов 95
6.1.1. Оценка условий влаговыпадения на поверхности продукта 96
6.2. Размораживание продуктов 98
6.2.1. Размораживание посредством теплоподвода к поверхности продукта 99
6.2.2. Механизм размораживания продуктов при теплоподводе к поверхности продукта 100
6.2.3. Размораживание посредством тепловыделения в объеме продукта 101
6.3. Тепловой расчет размораживания 102

РАЗДЕЛ II. ОСНОВЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Глава 7. Теоретические основы получения искусственного холода ... 106
7.1. Физические принципы получения холода 107
7.2. Характеристика методов получения холода 108
7.2.1. Охлаждение при помощи десорбции 108
7.2.2. Охлаждение посредством расширения сжатого газа 108
7.2.3. Охлаждение при помощи дросселирования (эффект Джоуля—Томсона) 109
7.2.4. Вихревой эффект охлаждения 109
7.2.5. Термоэлектрическое охлаждение (эффект Пельтье) 110
7.2.6. Охлаждение при помощи фазовых превращений 112
7.3. Термодинамические основы получения искусственного холода 113
7.3.1. Перенос тепла в холодильной машине, цикл Карно 113
7.3.2. Холодильная машина и установка, структура 117
7.4. Основные принципы работы паровой компрессионной холодильной машины 118
7.4.1. Отличия теоретического цикла паровой компрессионной холодильной машины от цикла Карно 119
7.5. Получение холода при помощи двухступенчатой холодильной машины 126

7.6. Получение холода при помощи абсорбционной холодильной машины 129
7.6.1. Принцип работы абсорбционной насосной холодильной машины непрерывного действия 130
7.6.2. Тепловой баланс абсорбционной холодильной машины 130
7.6.3. Абсорбционно-диффузионные холодильники 131
Глава 8. Холодильные агенты 135
8.1. Основные свойства холодильных агентов 135
8.1.1. Термодинамические свойства 135
8.1.2. Физико-химические свойства 136
8.1.3. Экономические требования 141
8.1.4. Физиологические и экологические требования 141
8.2. Обозначения хладагентов и их смесей 142
8.2.1. Предельные углеводороды, их галогенные производные 142
8.2.2. Непредельные углеводороды и их галогенные производные 143
8.2.3. Циклические углеводороды и их производные 143
8.2.4. Различные органические соединения 144
8.2.5. Различные неорганические соединения 144
8.2.6. Смеси хладагентов 144
8.2.7. Современные тенденции в обозначении холодильных агентов 145
8.2.8. Фирменные обозначения отдельных холодильных агентов 146
8.3. Основные типы фторуглеводородных хладагентов 146
8.3.1. Хлорфторуглероды (ХФУ) 146
8.3.2. Гидрохлорфторуглероды (ГХФУ) 146
8.3.3. Гидрофторуглероды (ГФУ) 147
8.4. Требования Монреальского протокола к холодильным агентам 147
8.5. Проблемы ретрофита 149
8.6. Перевод холодильного оборудования, работающего на озоноопасных хладагентах, на альтернативные хладагенты ... 149
8.6.1. Сервисные хладагенты SUVA 149
8.6.2. ГФУ (гидрофторуглероды) – долгосрочные хладагенты ... 150
8.6.3. Нефторированные (чистые) хладагенты 152
8.6.4. Ретрофит без замены масла 152
8.6.5. Возможные замены хладонов 152
8.7. Краткая информация по основным холодильным агентам 153
8.8. Хранение и перевозка холодильных агентов 154
8.8.1. Емкости для холодильных агентов 154

8.9. Техника безопасности при эксплуатации холодильных машин с учетом свойств холодильных агентов ... 155
Глава 9. Хладоносители ... 159
9.1. Типы хладоносителей, возможность применения в холодильной машине ... 159
9.2. Хладоносители нового типа ... 161
Глава 10. Компрессоры холодильных машин ... 164
10.1. Классификация компрессоров ... 164
10.2. Поршневые компрессоры ... 165
10.2.1. Непрямоточные сальниковые компрессоры открытого типа ... 166
10.2.2. Компрессоры разъемные поршневые бессальниковые ... 169
10.2.3. Компрессоры поршневые герметичные ... 171
10.2.4. Компрессоры герметичные с экранированным ротором ... 172
10.3. Компрессоры объемного действия ... 173
10.3.1. Компрессоры герметичные ротационные ... 173
10.3.2. Компрессоры спиральные ... 176
10.3.3. Компрессоры винтовые ... 179
10.3.4. Компрессоры центробежные ... 181
10.4. Холодопроизводительность поршневого компрессора ... 182
10.4.1. Объемные потери ... 184
10.4.2. Энергетические потери ... 185
10.5. Оценка холодопроизводительности холодильных машин, работающих при различных температурных режимах ... 187
Глава 11. Теплообменные аппараты ... 190
11.1. Теплообмен в испарителях и конденсаторах ... 190
11.2. Испарители и воздухоохладители ... 194
11.2.1. Испарители для охлаждения воздуха ... 194
11.2.2. Испарители для жидких хладоносителей ... 197
11.3. Конденсаторы ... 200
11.3.1. Воздушные конденсаторы ... 201
11.3.2. Конденсаторы водяного охлаждения ... 201
11.3.4. Конденсаторы с возвратом охлаждающей воды ... 203
11.4. Универсальные пластинчатые теплообменные аппараты для охлаждения или нагрева жидких сред ... 205
Глава 12. Холодильные агрегаты, классификация ... 208
12.1. Классификация агрегатов ... 208
12.2. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с конденсатором воздушного охлаждения ... 209

12.2.1. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с поршневым сальниковым компрессором и конденсатором воздушного охлаждения ... 209
12.2.2. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с поршневым бессальниковым компрессором и конденсатором воздушного охлаждения ... 210
12.3. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с конденсатором водяного охлаждения ... 212
12.3.1. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с поршневым сальниковым компрессором и конденсатором водяного охлаждения ... 212
12.3.2. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с поршневым бессальниковым компрессором и конденсатором водяного охлаждения ... 212
12.4. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с поршневыми, герметичными компрессорами ... 214
12.5. Комплексные компрессорно-конденсаторные агрегаты ... 217
12.5.1. Сплит-системы ... 218
12.5.2. Моноблочные холодильные машины ... 220
Глава 13. Дополнительное оборудование холодильных машин ... 222
13.1. Ресиверы ... 222
13.2. Отделители жидкости ... 224
13.3. Фильтры-осушители ... 225
13.4. Вентили ... 225
13.5. Указатели потока жидкости ... 226
Глава 14. Автоматизация холодильных машин и установок ... 227
14.1. Холодильные машины и установки как объекты автоматизации ... 227
14.1.1. О процессах самоустановления (саморегулирования) в холодильной машине ... 229
14.1.2. Параметры, подлежащие регулированию в холодильной машине ... 230
14.1.3. Соотношение холодопроизводительностей компрессора и испарителя холодильной машины в неустановившемся состоянии ... 233
14.2. Приборы автоматического регулирования температуры воздуха в торговом холодильном оборудовании ... 238
14.2.1. Приборы прямого регулирования температуры воздуха в охлаждаемом объеме ... 238
14.2.2. Приборы косвенного регулирования температуры воздуха в охлаждаемом объеме ... 240

14.3. Схема автоматизации холодильной установки, работающей на две температуры воздуха, с комплектом средств автоматизации ... 246
14.4. Приборы автоматики, обеспечивающие работу холодильных машин вне контура здания ... 250
14.5. Современные тенденции развития средств автоматизации холодильных машин торгового холодильного оборудования ... 253
14.5.1. Типичные функции микропроцессора, управляющего работой холодильной моноблочной машины для небольших холодильных камер ... 254
Глава 15. Торговое холодильное оборудование ... 257
15.1. Классификация торгового холодильного оборудования ... 257
15.2. Холодильное оборудование предприятий общественного питания ... 261
15.2.1. Сервировочное оборудование для ресторанов ... 261
15.2.2. Оборудование для кафе, бистро, предприятий фаст-фуд ... 266
15.2.3. Барное оборудование ... 266
15.2.4. Холодильное кухонное оборудование ... 267
15.2.5. Шкафы интенсивного замораживания продуктов ... 268
15.3. Холодильное оборудование продовольственных магазинов ... 270
15.3.1. Холодильные прилавки ... 270
15.3.2. Горки холодильные со встроенными и выносными холодильными агрегатами ... 272
15.3.3. Бонеты со встроенными и выносными холодильными агрегатами ... 272
15.3.4. Лари морозильные ... 273
15.3.5. Холодильные камеры ... 274
15.4. Особенности теплообмена в торговом холодильном оборудовании ... 277
Глава 16. Бытовые и автомобильные холодильники ... 285
16.1. Классификация холодильников ... 285
16.2. Системы охлаждения ... 287
16.3. Основные показатели бытовых холодильников ... 294
16.4. Автомобильные холодильники ... 298
Глава 17. Льдогенераторы и фризеры ... 301
17.1. Льдогенераторы, классификация ... 301
17.2. Закономерности производства пищевого льда высокого качества ... 302
17.3. Льдогенераторы предприятий общественного питания и торговли ... 304

17.3.1. Льдогенераторы кускового льда 304
17.3.2. Льдогенераторы чешуйчатого и снежного льда 307
17.4. Фризеры «мягкого» мороженого 308
17.5. Производство замороженного сока на палочке 312
Глава 18. Расчет и выбор торгового холодильного оборудования (применительно к задачам дипломного проектирования) 314
18.1. Выбор количества витрин 314
18.2. Выбор количества шкафов 315
18.3. Выбор количества холодильных камер 315
18.3.1. Порядок расчета одиночной стационарной холодильной камеры или блока холодильных камер 316
18.3.2. Расчет теплопритоков в камеру пищевых отходов 330
18.3.3. Структура упрощенного теплового расчета стационарных холодильных камер 331
18.4. Расчет и подбор холодильного оборудования сборных холодильных камер 333
18.5. Тепловыделения в помещениях с холодильными агрегатами ... 338
18.6. Оценка кратности вентилирования помещений 339
Глава 19. Централизованное холодоснабжение 341
19.1. Эксплуатационные особенности централизованных систем холодоснабжения 341
19.2. Утилизация теплоты, отводимой воздушными конденсаторами 345
Глава 20. Кондиционирование воздуха (основные представления) ... 349
20.1. Технологическое и комфортное кондиционирование 349
20.2. Параметры состояния воздуха 351
20.3. Тепло- и влажностный баланс кондиционируемого помещения 353
20.4. Кондиционеры предприятий общественного питания и торговли 364
20.5. Современные многозональные системы 368
20.5.1. Многозональные системы с изменяемым расходом холодильного агента 368
20.6. Системы с чиллерами и фанкойлами 370
20.7. Автомобильные кондиционеры 372
Глава 21. Холодильный транспорт 376
21.1. Водный холодильный транспорт 376
21.1.1. Системы охлаждения воздуха в трюмах 377
21.2. Железнодорожный холодильный транспорт 379
21.3. Автомобильный холодильный транспорт 381

21.3.1. Эксплуатационные особенности транспортных систем охлаждения ... 382
Глава 22. Основные правила эксплуатации холодильного оборудования ... 394
22.1. Технический уход и обслуживание ... 394
22.2. Основные показатели нормальной работы холодильной машины ... 397
Глава 23. О перспективных способах получения искусственного холода (в рамках информационного представления) ... 400
23.1. Получение холода при помощи «холодильного чипа» ... 401
Приложение ... 403
Глоссарий ... 437
Литература ... 443

Раздел I

ОСНОВЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Глава 1
СОСТАВ И СВОЙСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

С точки зрения приоритетных задач холодильной технологии любая обработка продукта, включая его холодильное хранение, связана с достижением биологической или, что является основной целью холодильной обработки продуктов, технологической обратимостью процесса. Это значит, что по окончании технологического процесса свойства продукта должны остаться практически неизменными, аналогичными тем, которыми он обладал до технологической обработки. Это задача-максимум холодильной технологии. Поэтому разработка рекомендаций, касающихся методологии холодильной обработки и хранения продуктов, включая краткосрочное хранение, должна базироваться на представлениях о составе, структуре, свойствах продуктов, знании процессов, предшествующих холодильной обработке продуктов и их возможных изменениях, происходящих при холодильной обработке и последующем хранении. Равным образом сказанное относится и к методам восстановления исходных свойств — к отеплению и размораживанию продуктов.

Пищевые продукты животного и растительного происхождения являются сложными биологическими системами. В отличие от продуктов животного происхождения продукты растительного происхождения являются биологически активными.

Выбор способа воздействия на продукт и анализ процессов технологической обработки в холодильной технологии принято рассматривать на основе представления о продукте как о полидисперсной системе, включающей растворитель — тканевую влагу и растворенные компоненты — белки, жиры, углеводы, минеральные вещества.

Изменчивость свойств продуктов при холодильной обработке и хранении влияет на их потребительскую ценность и определяет методы последующей холодильной обработки.

1.1. Связь влаги с компонентами продукта

Определяющим компонентом продукта (дисперсионной средой) является тканевая влага. Ее состояние и прочность связи с растворенными компонентами продукта (дисперсной фазой) определяют консистенцию и структуру продукта, влияя на условия холодильной обработки и последующего хранения продукта.

В продуктах животного происхождения количество влаги составляет 75–80%, растительного — до 99%.

Тканевая влага не является свободной. Она связана с компонентами продукта. Представление различных авторов о прочности этой связи отражено в табл. 1.1.

Наиболее четкую классификацию форм связи с компонентами продукта представил П. А. Ребиндер.

Химически связанная влага — влага, оцениваемая в точных количественных соотношениях. Химически связанная влага прочно связана с компонентами продукта и может быть удалена из него при химическом взаимодействии или при жесткой тепловой обработке, например при прокаливании. При обычной сушке продукта химически связанная влага не удаляется.

Таблица 1.1

Представление различных авторов о прочности связи влаги с компонентами продукта

Группа	Автор классификации				
	П. Ребиндер	Л. Ридель	А. Думанский	Л. Рей	В. Люйе
I	Физико-механическая связь	Свободная вода	Свободная вода	Свободная вода	Излишняя вода. Метаболическая вода
II	Физико-химическая связь		Диффузный слой воды	Конституционная вода. Адсорбционная вода	Жизненная вода. Вода, способная к замораживанию
III	Химическая связь	Связанная влага	Адсорбционный слой воды	Кристаллизационная вода	Незамерзающая вода

Формы связи влаги с компонентами продукта

Физико-химическая связь — удержание влаги в неопределенных количествах. Этой форме соответствуют следующие виды связи:

- *адсорбционно-связанная влага*, т. е. влага, удерживаемая за счет электростатического заряда мицелл. Коллоидные частицы имеют дисперсность 0,1–0,001 мкм, в силу чего обладают огромной внутренней поверхностью;
- *осмотически удержанная влага*, т. е. влага набухания и структурная влага, захваченная при формировании геля. Этой влаге соответствует весьма малая энергия связи.

Как полагает С. М. Липатов, высокомолекулярные соединения состоят из смеси фракций различной молекулярной массы, которые разнообразно взаимодействуют с водой. Высокомолекулярные фракции не растворимы в воде, низкомолекулярные — растворимы.

При формировании геля образуется скелет из замкнутых клеток, стенки которых состоят из нерастворимых фракций. Растворимая фракция при этом частично попадает внутрь клеток, а частично находится на их внешней поверхности. Так как внутри клеток концентрация растворимой фракции больше, чем вне клеток, то влага попадает внутрь скелета путем осмоса, через стенки клеток. Часть влаги попадает внутрь клеток непосредственно при формировании геля.

Физико-механическая связь — удержание влаги в неопределенных количествах.

Этой связи соответствуют следующие виды влаги:

- влага макрокапилляров со средним радиусом пор более 10^{-7} м. Давление водяного пара над поверхностью воды не отличается от давления водяного пара над поверхностью чистой воды;
- влага микрокапилляров — заполняет поры размером менее 10^{-7} м. Эта влага перемещается в продукте как в виде жидкости (от центральных слоев продукта до зоны испарения), так и в виде пара (от зоны испарения через сухой слой в теплоотводящую среду).

Применительно к практическим задачам пищевой технологии формы связи влаги можно свести к представлению всего о двух формах влаги: свободная и связанная.

Свободная влага по свойствам не отличается от свойств чистой воды. Связанная влага отличается рядом особенностей. Она труднее испаряется, является плохим растворителем и может находиться под повышенным давлением, обусловленным силовым молекулярным полем. По расчетным данным, количество связанной влаги в клетке не пре-

вышает 10%. По экспериментальным данным, для разных продуктов она составляет от 8 до 20%.

Упрощенная классификация форм связи влаги с компонентами продукта не отражает полноты природы взаимодействия, но может быть использована для простоты логических построений, связанных с оценкой меры совершенства технологических методов обработки продуктов, влияния этих методов на выполнение технологического процесса и качество конечного продукта.

1.2. Структурные компоненты продуктов, изменение их свойств

Продукты, как отмечено ранее, принято подразделять на продукты животного и растительного происхождения. Продукты животного происхождения содержат наибольшее количество белков и жиров, продукты растительного происхождения — углеводов.

Наиболее сложной и биологически важной частью пищевых продуктов являются белковые вещества — высокомолекулярные органические вещества, молекулы которых состоят из аминокислот. Пищевая ценность белка определяется составом аминокислот.

Белки подразделяют на простые (протеины) — альбумины, глобулины, гистоны, протамины, склеропротеины и на сложные (протеиды) — нуклеопротеиды, хромопротеиды, глюкопротеиды, фосфопротеиды, липопротеиды. Альбумины легко растворяются в воде, глобулины в воде практически не растворимы, но легко растворяются в солевых растворах слабой концентрации. Это следует учитывать при холодильной обработке продуктов, прежде всего при их замораживании.

Липопротеиды являются важнейшей частью биологически активной структуры, регулирующей процесс переноса вещества и влаги через белковые мембраны, в силу чего они вызывают интерес, связанный с решением задач холодильной обработки и хранения продуктов.

В тканевых системах белки могут находиться в жидком, полужидком и твердом состояниях.

Влага с белком может быть связана посредством адсорбции, под действием осмотических сил и механически. Эта часть влаги в основном захвачена белковыми структурами. Доля этой влаги превалирует над остальными формами связанной влаги.

Потребительские свойства продуктов животного происхождения зависят от направленности и глубины процессов, влияющих на измен-

чивость свойств мышечной ткани, составляющей наибольшую пищевую ценность мяса.

Мышечная ткань состоит из двух основных белков, — актина и миозина. Актин находится в глобулярной (лат. *globulus* — шар) форме. В этом состоянии он не связан с миозином. Его переход в фибриллярную (лат. *fibrilla* — волокно) форму зависит от концентрации в мышечных волокнах АТФ (аденозинтрифосфорной кислоты).

Постепенное снижение pH в процессе автолиза мяса приводит к переходу глобулярного актина в фибриллярный. В результате взаимодействия с АТФ, актомиозина происходит его сокращение. При этом АТФ распадается на аденозиндифосфорную (АДФ) и ортофосфорную кислоту с выделением значительного количества энергии, расходуемой на сокращение мышечного волокна.

В таком состоянии мышечная ткань обладает минимальной водоудерживающей способностью, уменьшается ее эластичность, нарастает сокращение ткани. Это первая фаза созревания мяса. Оно приобретает жесткость. Данное состояние принято называть процессом окоченения. Оно наблюдается сразу после прекращения жизни животного.

В основной стадии созревания происходит процесс постепенного размягчения мышечной ткани. Кислотность (pH) среды сдвигается в щелочную сторону (pH > 7), наблюдается распад волокон, мясо приобретает вкусовые и ароматические качества, свойственные мясу, пригодному к употреблению.

Длительность автолиза, т. е. длительность биохимических процессов, зависит от вида животного. Для крупного рогатого скота процесс может протекать 24–30 ч. Для рыбы в зависимости от вида и ее размеров процесс более скоротечен и может завершиться в течение 10–30 мин.

Процесс улучшения пищевого достоинства мяса, обусловленный совокупным воздействием ферментов, носит название «созревание».

Зависимость продолжительности созревания от температуры может быть выражена формулой

$$\lg\tau = 0{,}0515(23{,}5 - t), \qquad (1.1)$$

где

τ — длительность созревания, выраженная в сутках;

t — температура, °С.

Белки являются лабильными компонентами тканевой системы. Белковая молекула легко распадается под действием внешних факторов — температуры, кислоты, щелочи и т. д. При этом происходит изменение свойств белка с потерей им биологической активности (ферментатив-

ной, гормональной). Кроме того, под влиянием внешних факторов происходит денатурация белка. Нарушается его внутренняя структура. Белок теряет гидрофильные и приобретает гидрофобные свойства, что в конечном итоге влияет на способность белка повторно присоединять к себе тканевую влагу, которая, например, отщепляется от него при замораживании продукта. Восстановление исходных свойств белка определяется его свойствами и мерой совершенства выполнения технологического процесса, например скоростью выполнения процесса замораживания и размораживания продукта. Все это, вместе взятое, определяет меру обратимости процесса (биологическую и технологическую).

Биологическая обратимость предполагает полное восстановление исходных свойств белка и продукта в целом. Она представляет практический интерес прежде всего при замораживании продуктов растительного происхождения, поскольку после размораживания продукта предполагается достижение полного восстановления его исходных свойств. Эта область является сферой интересов биологов, и прежде всего тех, кто решает проблемы криобиологии, связанные с достижением сохранности клеток и тканей при их замораживании.

Достижение *технологической обратимости*, связывают с холодильной обработкой продуктов, которые не нуждаются в восстановлении биологической активности. При технологической обратимости восстанавливают те свойства, которые в потребительском плане определяют ценность продукта. При этом, однако, чем более совершенен технологический процесс, тем больше продукт после технологической обработки сохраняет исходные качества, что является желательным, но не обязательным.

Основным процессом, определяющим изменчивость свойств растительных продуктов, является процесс дыхания. Он характеризуется окислением органических соединений, в основном моносахаридов, кислородом воздуха (аэробное дыхание) или их распадом на более простые компоненты (анаэробное дыхание).

Процесс аэробного дыхания продуктов сопровождается выделением в окружающую среду углекислого газа, водяных паров и в расчете на одну грамм-молекулу глюкозы значительного количества теплоты (2824 кДж).

При анаэробном дыхании, аналогичном спиртовому брожению, с выделением углекислого газа и образованием спирта, выделяется 113 кДж теплоты.

Интенсивность дыхания зависит от вида, сорта плодов и овощей и степени их зрелости

С повышением температуры увеличивается скорость ферментативных процессов, приводящих к их созреванию, перезреванию и в конечном итоге к их порче.

Интенсивность дыхания выражают в миллиграммах углекислого газа (CO_2), выделяемого 1кг продукта в 1 ч.

Зависимость интенсивности дыхания от температуры выражается соотношением

$$i_t = i_0 \cdot e^{bt}, \quad (1.2)$$

где

i_0 — интенсивность дыхания при 0 °С;

t — температура;

b — температурный коэффициент интенсивности дыхания, постоянный для данного вида продукта (табл. 1.2).

Аналогичной закономерностью выражают интенсивность тепловыделения (1.3).

$$q_t = q_0 \cdot e^{b}, \quad (1.3)$$

где q_0 — тепловыделение при 0 °С (табл. 1.2).

Главной составной частью растительной ткани являются углеводы. Их количество составляет в среднем 80% от общего количества органических веществ. В животных тканях их количество незначительно (не более 2%).

Углеводы подразделяют на моносахариды и полисахариды. В продуктах наиболее распространены гексозы. В технологическом плане прежде всего выделяют глюкозу и фруктозу как компоненты тканевого сока, существенно влияющие на величину криоскопической температуры (температуры начала замерзания тканевого сока продукта).

Полисахариды — сложные углеводы, состоящие из большого числа моносахаридов. Они находятся в продуктах животного и растительного происхождения. Из полисахаридов в технологическом плане представляют интерес крахмал, целлюлоза (клетчатка) и пектиновые вещества.

Крахмал откладывается в клетках корней, клубнях в виде зерен. Крахмал выделяется после разрушения клеточной структуры. Зерна крахмала не растворимы в холодной воде. Крахмал состоит из двух компонентов: амилозы (20% всего крахмала) и амилопектина. Поверхность зерен крахмала покрыта амилопектином, который разрушается при тепловой обработке с образованием коллоидных растворов. Коллоидные растворы при замораживании разрушаются. Влага отщепляется,

Таблица 1.2
Интенсивность дыхания некоторых видов продуктов

Продукт	Температурный коэффициент интенсивности, b, 1/°C	Теплота дыхания при 0 °C, q_0, Вт/кг	Удельное газовыделение R_0, м^3/(кг·с)
Морковь	0,1319	0,0135	5,19E-10
Виноград	0,1277	0,0138	5,69E-10
Персики	0,1139	0,0236	1,23E-9
Яблоки	0,0932	0,0121	6,22E-10
Бананы	0,0782	0,0213	1,01E-9
Апельсины	0,0733	0,0106	5,5E-10
Лимоны	0,0718	0,0112	5,75E-10
Лук репчатый	0,0668	0,011	5,72E-10
Картофель	0,0617	0,01	5,19E-10

образуется структурный каркас, который не восстанавливает своих исходных свойств. Это свойство коллоидных растворов позволяет организовать производство, например, шоколадных конфет с наполнителем.

Целлюлоза составляет структурный каркас клеток. Она не обладает избирательной проницаемостью по отношению к растворенным компонентам вне и внутри клетки.

Пектиновые вещества содержатся в плодах и овощах в виде протопектина (не растворимого в воде) и пектина (растворимого в воде). Пектин обеспечивает связывание влаги, что следует учитывать при замораживании при сохранении исходного состояния продукта.

Липиды — вещества с общими физико-химическими свойствами. К липидам относят жиры, высокомолекулярные жирные кислоты, воски, фосфолипиды, стерины и другие соединения. Жиры состоят из молекул трехатомного спирта — жирных кислот (насыщенных и не насыщенных) и глицерина, соединенных эфирными связями. При комнатной температуре они остаются твердыми. Ненасыщенные жирные кислоты способны к прогорканию в условиях доступа к ним кислорода воздуха. Образовавшиеся в жире перекиси быстро разлагаются до альдегидов, придавая продукту неприятный вкус и запах.

Тканевая влага продукта содержит витамины, органические кислоты, минеральные вещества.

Витамины — биологически активные вещества, участвующие в регулировании основных процессов продукта.

Минеральные вещества в продуктах находятся растворенными в тканевой влаге или входят в состав органических соединений в виде солей, кальция, натрия, магния, марганца, хлора и т. д. С учетом их количественного присутствия в тканях минеральные вещества принято подразделять на две группы: макро- и микроэлементы. Макроэлементы — соли кальция, натрия, магния, хлора, фосфора, марганца — содержатся в сотых долях процента. Микроэлементы — железа, меди, цинка, йода, бария и др. — содержатся в тысячных долях процента.

Кроме влияния на кислотность тканевого сока и, следовательно, на состояние тканевых компонентов минеральные вещества определяют биологическую активность ферментов и тканевых белков.

Осмотическая концентрация тканевого сока в соответствии с законом Рауля определяется концентрацией присутствующих в растворе низкомолекулярных соединений: витаминов, органических кислот, минеральных веществ. Поэтому понижение температуры замерзания раствора и соответственно повышение температуры кипения связано с молярной концентрацией растворенных компонентов.

Для недиссоциированных растворов это соотношение может быть представлено в следующем виде:

$$\Delta t = \varepsilon \cdot C, \qquad (1.4)$$

где

Δt — понижение температуры замерзания раствора относительно температуры замерзания чистой воды, °С;

ε — криоскопическая постоянная, $\varepsilon = 1{,}859$ л · °С /моль;

C — молярная концентрация тканевого раствора, моль/л.

Изменение концентрации тканевого сока при его замораживании влияет на величину осмотического давления раствора. Для разбавленных растворов, не электролитов, осмотическое давление находится из выражения

$$\pi = C \cdot R \cdot T, \qquad (1.5)$$

где

R — универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль · К), или соответственно равная 0,082 л · атм/(моль · К);

T — абсолютная температура, К.

Из выражения (1.5) следует, что при температуре раствора, равной 0°С, осмотическое давление раствора, концентрация которого равна 1 моль/л, составляет 22,4 атм.

Для диссоциированных на ионы веществ формула (1.5) представляется в виде

$$\pi = i \cdot C \cdot R \cdot T, \qquad (1.6)$$

где i — изотонический коэффициент, равный отношению фактического числа частиц растворенного вещества в растворе к числу частиц, которое было бы при отсутствии диссоциации. При полной диссоциации $i = 2$.

1.3. Гистологические и цитологические особенности структуры продуктов

С точки зрения приоритетных задач холодильной технологии любая обработка продукта, включая его холодильное хранение, связана с достижением биологической или, что является целью холодильной обработки продуктов, технологической обратимости процесса. То есть по окончании технологического процесса свойства продукта должны остаться практически неизменными, аналогичными тем, которыми он обладал до обработки. Это задача-максимум холодильной технологии. Поэтому выработка рекомендаций, касающихся методологии холодильной обработки продуктов, должна базироваться на представлениях о структуре продукта, процессах, протекающих в продуктах перед их холодильной обработкой, возможных изменениях, протекающих в продуктах в процессе холодильной обработки и последующего хранения.

Продукты животного происхождения (гистологические основы).

Тканевая система животного происхождения представляется четырьмя основными видами ткани: эпителиальной, соединительной, мышечной, нервной.

Пищевая ценность мяса в основном определяется мышечной тканью.

По морфологическому строению различают поперечнополосатую мышечную ткань и гладкую, входящую, например, в состав стенок желудка, сосудов и т. д.

Мышечная ткань представляет волокнистую структуру, состоящую из отдельных мышечных волокон, скрепленных соединительной тканью. Срез мышечной ткани при увеличении 120× в оптическом микроскопе представлен на рис. 1.1.

Рис. 1.1
Структура мышечной ткани трески

Рис. 1.2
Клеточная структура лука

Мышечное волокно представляет вытянутую клетку толщиной от 10 до 100 мк и длиной 0,1–0,12 м. Поверхность клетки покрыта прочной эластичной оболочкой — сарколеммой. Внутри мышечного волокна находятся волокна небольшой толщины — миофибриллы, обеспечивающие сократительную деятельность мышцы в целом. Миофибриллы погружены в саркоплазму, обладающую коллоидными свойствами.

Продукты растительного происхождения (гистологические основы).

Рассматривая растительную ткань, аналогично животной, как объект последующей технологической обработки, и прежде всего мощного воздействия на ткань процесса замораживания, можно выделить особенности клеточной структуры. Содержимое цитоплазмы клеток окружено полупроницаемой биологической мембраной. Цитоплазма прилегает к клеточным стенкам — каркасу, и вследствие разности концентраций веществ с внутренней и внешней сторон мембраны клетки внутри клетки создается давление, называемое тургурным. Тургурное давление является интегральным показателем нахождения клетки в живом состоянии. Внешнее давление является осмотическим. Разность давлений тургурного и осмотического влияет на скорость обмена веществ между клеткой и межклеточным пространством, а размеры микрокапилляров биологической мембраны (плазмолеммы) и ее структура определяют проницаемость мембраны для растворенных веществ, поступающих в клетку и удаляемых из нее. На рис. 1.2 представлена в оптическом микроскопе структура ткани лука при увеличении 120$^{\times}$, на рис. 1.3 — поперечнополосатая мышечная ткань.

Более детальный анализ внутриклеточной структуры позволяет в клетке выделить ядро, хлоропласты, оболочку (рис. 1.4).

Наблюдение в электронный микроскоп увеличивает глубину представления о клеточной структуре, ее компонентах, таких, например, как митохондрии, эндоплазматическая сеть и т. д., являющихся фун-

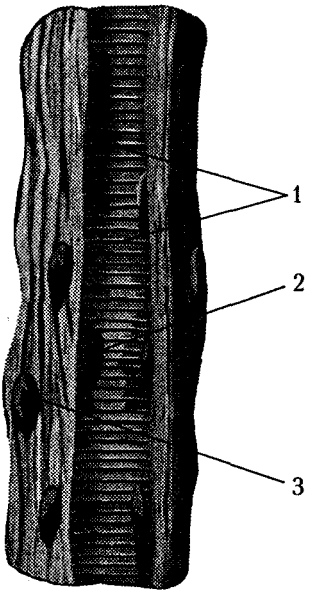


Рис. 1.3
Поперечнополосатая мышечная ткань

1 — поперечная исчерченность; 2 — ядро мышечного волокна; 3 — ядро межмышечной соединительной ткани

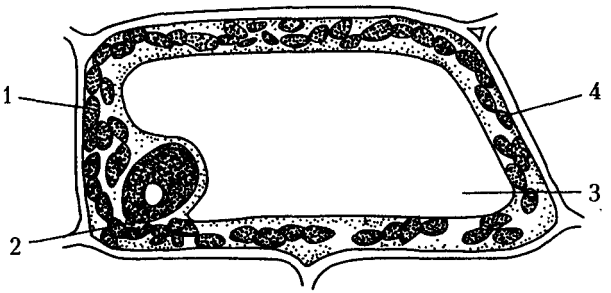


Рис. 1.4
Растительная клетка

1 — протоплазма с хлоропластами; 2 — ядро; 3 — вакуоль; 4 — клеточная оболочка

даментальной основой построения представления о биологии клетки и ткани в целом.

Холодильная технология пищевых продуктов, опираясь на фундаментальные основы биологии, довольствуется в основном преставлениями макроструктурного анализа клеточной структуры.

Контрольные вопросы:

1. Какие формы связи влаги с компонентами продукта известны?
2. Чем отличается физико-химическая форма связи влаги от химической?
3. В чем в биологическом плане различие продуктов животного и растительного происхождения?
4. Каковы основные структурные компоненты продукта?
5. Какова роль минеральных веществ и веществ органического происхождения в создании осмотического давления раствора тканевого сока?
6. Как оценивается осмотическое давление раствора?
7. В чем состоят гистологические особенности структуры продуктов животного и растительного происхождения?

Глава 2
МИКРОФЛОРА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Микрофлору рассматривают как один из существенных факторов, приводящих к потере продуктами потребительских свойств.

В полном объеме свойства микроорганизмов изучаются в специализированных дисциплинах, в частности в «Микробиологии». В холодильной технологии сведения о микроорганизмах рассматриваются лишь в контексте возможного воздействия на микрофлору с целью подавления ее жизнедеятельности.

Большинство микроорганизмов, являющихся предметом изучения, относятся к низшим организмам. Это — бактерии, дрожжи, плесени.

Бактерии — одноклеточные организмы. Клетки бактерий состоят из цитоплазмы (протоплазмы) и оболочки. В состав цитоплазмы входит до 80% воды. Цитоплазма чувствительна к внешним воздействиям. Она коагулирует при повышении температуры до 50–60 °С и отчасти при замораживании.

Клеточная оболочка бактерий в основном состоит из азотистых веществ. Размножение бактерий осуществляется простым делением клеток. В процессе спорообразования протоплазма уплотняется, покрывается плотной оболочкой. Споры устойчивы к воздействию высоких и низких температур.

Актиномицеты (лучистые грибки) — одноклеточные организмы, тело которых (мицелий) представляет собой тонкие, сильно разветвленные нити. Размножаются грибки посредством спор.

Дрожжи (дрожжевые грибки) относятся к классу сумчатых грибков. Размножаются преимущественно почкованием, некоторые — делением.

Различают природные дрожжи, которые располагаются на поверхности продуктов, и культурные, которые используют для производственных целей — хлебопечения, виноделия, пивоварения и т. д.

Плесени или грибы — низшие споровые растения. Мицелий гриба состоит из переплетенных нитей — гиф. Размножаются плесени преимущественно посредством спор.

2.1. Питание и дыхание микрофлоры

Питание и дыхание микрофлоры являются составными частями обмена веществ, связанных с поступлением веществ из питательной среды внутрь клетки и выделения в питательную среду продуктов их жизнедеятельности. Обмен веществ с питательной средой у микроорганизмов происходит путем осмоса через всю поверхность клетки.

Осмотическое давление смеси равно сумме парциальных давлений компонентов. Поэтому каждое вещество из смеси проникает в клетку в соответствии с его собственным осмотическим давлением. Следовательно, поступление питательных веществ в клетку не прекращается даже при низкой их концентрации в питательной среде.

Проницаемость клетки и, следовательно, интенсивность процесса питания зависит от физико-химических условий среды, возраста и состояния клетки. *Общая схема процесса питания* состоит в выделении микробной клеткой веществ в питательную среду, расщеплении компонентов среды до состояния, пригодного к осмотическому перемещению необходимых компонентов внутрь клетки.

Развитие микрофлоры происходит при затрате энергии. Потребность микрофлоры в энергии удовлетворяется в процессе дыхания.

Процесс дыхания — это совокупность реакций, служащих клетке источником энергии.

В зависимости от отношения к кислороду микроорганизмы делят на две группы: *аэробные* — нуждающиеся в кислороде, и *анаэробные* — не нуждающиеся в кислороде. Некоторые микроорганизмы в состоянии жить как в кислородной среде, так и в ее отсутствии. Их называют факультативными анаэробами.

Конечными продуктами окисления аэробными микроорганизмами органических соединений являются углекислый газ и вода. Некоторые бактерии и грибы окисляют органические вещества частично с образованием молочной, щавелевой, яблочной и ряда других кислот.

Анаэробные микроорганизмы получают необходимую энергию в процессе бескислородного дыхания, называемого брожением.

Существуют многообразные виды брожения: спиртовое, молочнокислое, маслянокислое и др. Свойства компонентов, выделяемых микроорганизмами при анаэробном брожении, зависят от комплекса ферментов, содержащихся в микрофлоре. При спиртовом брожении продуктами выделения являются глицерин, янтарная, уксусная и другие кислоты. При молочнокислом — этиловый спирт, углекислый газ,

уксусная и янтарные кислоты, при маслянокислом — этиловый и бутиловый спирты, ацетон и др.

При дыхании выделяется значительное количество тепла. Этим объясняется самосогревание зерна в бурте, прелых листьев и т. д.

Ферменты микроорганизмов в силу их белкового характера разрушаются при нагревании до температуры 80 °С и выше. При понижении температуры среды скорость ферментативных реакций замедляется. При температуре ниже 0 °С происходит частичная дезактивация ферментов.

2.1.1. Взаимодействие микрофлоры со средой

С целью подавления жизнедеятельности микрофлоры используются основные факторы внешнего воздействия: температура, относительная влажность воздуха, барометрическое давление.

Температура среды. В зависимости от оптимального температурного уровня развития, микроорганизмы подразделяют на термофилы (45–60 °С), мезофилы (20–40 °С) и психрофилы (10–20 °С).

Понижение температуры теплоотводящей среды ниже оптимального для развития уровня существенно влияет на скорость размножения и продолжительность развития микрофлоры.

Температурный минимум развития большинства микроорганизмов лежит в интервале −10...+10 °С. При температуре ниже температуры замерзания внутриклеточной влаги происходит заметное отмирание микроорганизмов, однако полной гибели микроорганизмов, в отличие от высокотемпературной обработки, не происходит. Губительное действие замерзания клеточной влаги состоит в нарушении избирательной проницаемости биологически активной оболочки клетки, структуры цитоплазмы. При этом изменяется ее вязкость, уменьшаются скорость течения и направленность биохимических процессов.

В определенной мере на разрушение клеточной структуры влияет фактор механического воздействия кристаллов льда.

Кроме того, повышение осмотической концентрации внутри- и внеклеточного сока вызывает дегидратацию коллоидов цитоплазмы.

Гибель микрофлоры наиболее заметна в интервале температур −5...+12 °С, причем максимум приходится на начальную фазу процесса льдообразования.

Влажность среды. В клетках микрофлоры содержится 75–90% влаги, поэтому микрофлора не может развиваться в среде, влажность которой не соответствует оптимальным условиям ее развития. Минимальная влажность среды, при которой возможно развитие плесневых грибов, составляет 12–15%, бактерий — 20–30%.

Осмотическое давление. Внутриклеточное осмотическое давление зависит от осмотической концентрации внутриклеточной жидкости. Расчеты приводят к выводу, что внутриклеточное давление может быть более 50 атм.

Повышение внеклеточной концентрации замедляет или приостанавливает развитие микрофлоры. Весовая концентрация поваренной соли 1–3% существенно тормозит развитие микрофлоры. При повышении концентрации соли до 20–25% развитие микрофлоры прекращается.

Лучистая энергия. Обработку продуктов с целью подавления жизнедеятельности микрофлоры на практике выполняют посредством лучистой энергии ультрафиолетового спектра (УФЛ). Эффективность лучистой энергии на микрофлору зависит от дозы лучистой энергии, т. е. от количества поглощенной энергии, зависящей от мощности источника, расстояния до облучаемого объекта, продолжительности облучения.

В основе действия лучистой энергии на микрофлору лежат химические и физические изменения клеточных биологически активных мембран — оболочки клетки (тонопласта) и цитоплазмы. Совокупность факторов воздействия приводит к некоторому нарушению клеточной проницаемости тонопласта, изменению коллоидной структуры цитоплазмы, изменению скорости биохимических процессов.

Поскольку проникающая способность УФЛ невелика, эффект воздействия на микрофлору в основном касается той микрофлоры, которая расположена на поверхности продукта.

Особенностью лучистого воздействия является возможность его порционного применения, при котором суммарная доза порционного воздействия равна полной бактерицидной дозе облучения.

Кислотность среды. Биохимическая активность микрофлоры зависит от pH среды. Изменение реакции среды влияет на электрический заряд клеточной оболочки и соответственно на ее проницаемость для отдельных ионов. Это приводит к изменению внутриклеточной реакции, что влечет за собой изменение степени дисперсности коллоидов цитоплазмы, изменения их абсорбционных свойств и т. д. Для большинства плесеней и дрожжей наиболее благоприятна кислая среда (pH = 3,6–6,0), для бактерий — нейтральная или слабощелочная (pH = = 7,0–8,0).

Зависимость жизнедеятельности микроорганизмов от температуры, а также направленность микробиологических процессов, приводящая в основном к ухудшению исходного качества сохраняемых продуктов, предопределяет необходимость холодильной обработки и

хранения продуктов при возможно низкой положительной или отрицательной температуре.

Контрольные вопросы:

1. Какие виды микрофлоры известны?
2. Чем обусловлено ухудшение качества хранимых продуктов?
3. В чем состоит суть питания и дыхания микроорганизмов?
4. Каковы факторы внешнего воздействия на микрофлору?
5. Какие методы борьбы с микрофлорой наиболее употребительны в технологической практике хранения продуктов?

Глава 3
ОХЛАЖДЕНИЕ ПРОДУКТОВ

Цель охлаждения состоит в обеспечении неизменности исходных свойств продуктов как в процессе их технологической (холодильной) обработки, так и при последующем холодильном хранении.

Уменьшение скорости течения комплекса процессов — биохимических, микробиологических и физических — достигается воздействием на продукт внешних факторов: температуры, относительной влажности воздуха, его влагосодержания, скорости движения, воздействия барометрического давления. Таким образом, охлаждение — это комплексный процесс переноса теплоты и вещества в объеме продукта и с его поверхности, или, как его принято называть, процесс тепло- и массопереноса.

Определяющим фактором воздействия на продукт является температура. С понижением температуры уменьшается скорость течения всех перечисленных процессов.

При аналитическом решении задачи об охлаждении продуктов приходится прибегать к упрощению в отношении представления формы реального продукта. С определенной долей допустимости принимается, что форма большинства продуктов может быть уподоблена форме простых тел — пластины, шара, цилиндра.

Кроме того, считается, что структура продукта однородна, и он равномерно охлаждается средой. Все вместе сказанное свидетельствует о том, что реальная длительность охлаждения отличается от расчетной.

3.1. Граничные условия при охлаждении

Процессы переноса тепла и влаги, как и любые физические процессы, протекают в пространстве и во времени. Совокупность мгновенных значений температуры во всех точках объема продукта называют температурным полем $t = f(x, y, z, \tau)$. Температурное поле может быть стационарным и нестационарным.

Стационарным полем называют поле, в объеме которого температура в любой точке неизменна. Если температурное поле изменяется во времени, оно называется нестационарным.

Если температура является функцией одной или двух координат, оно называется одно- или двухмерным.

При описании одномерного температурного поля продукта используют дифференциальное уравнение теплопроводности, связывающее температуру, длительность процесса и координату точки объема:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \qquad (3.1)$$

где a — коэффициент температуропроводности, м²/с.

Решение дифференциального уравнения теплопроводности предполагает знание геометрической формы продукта, распределения температуры в продукте к началу охлаждения (начальные условия) и закона взаимодействия теплоотводящей среды и поверхности продукта (граничное условие).

Совокупность начального и граничного условий называют краевыми условиями.

Для практических расчетов начальное распределение температуры в объеме продукта принимается постоянным: $t_н = \text{const}$.

Характер граничных условий определяется особенностями теплообмена на поверхности продукта. В расчетной практике наиболее употребительно задание граничных условий в виде граничных условий первого, второго и третьего рода.

Граничные условия первого рода предполагают задание температуры поверхности продукта как функции времени $t_п(\tau) = f(\tau)$. В частном случае это условие выполняется при интенсивном теплоотводе от поверхности продукта, например при охлаждении продукта в жидкой среде. В этом случае коэффициент теплоотдачи от поверхности продукта α, Вт/(м² · К), является достаточно большой величиной ($\alpha \to \infty$). Соответственно $Bi \to \infty$, а температура поверхности продукта в течение процесса охлаждения остается постоянной ($t_п = \text{const}$).

Граничные условия второго рода предполагают задание плотности теплового потока в виде функции времени $q(t) = f(t)$. В простейшем случае на протяжении процесса охлаждения эта величина постоянна ($q = \text{const}$).

Наибольшее практическое применение для решения задач охлаждения продуктов имеет краевое условие третьего рода.

Граничные условия третьего рода характеризуют особенности конвективного теплообмена между поверхностью тела и теплоотводящей средой. При этом температура теплоотводящей среды может быть постоянной или изменяться по известному закону.

Аналитическое решение задачи об охлаждении продуктов наиболее часто рассматривают при неизменной температуре теплоотводящей среды.

3.2. Длительность охлаждения продуктов

На основе решения дифференциальных уравнений теплопроводности Фурье для тел стандартной стереометрической формы (пластины, шара, цилиндра), получены аналитические зависимости. Решение задачи для пластины представлено выражением (3.2), для шара — (3.3), цилиндра — (3.4).

Левая часть равенства представляет собой безразмерную избыточную температуру (θ), правая — ряд Фурье, число членов которого в интервале от $k = 1$ до $k = \infty$ зависит от необходимой точности оценки τ, с.

$$\frac{t_{(r,\tau)} - t_c}{t_н - t_c} = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot \cos\left(\mu_k \frac{r}{R}\right) \cdot e^{-\mu_k^2 \cdot Fo}, \qquad (3.2)$$

$$\frac{t_{(r,\tau)} - t_c}{t_н - t_c} = \sum_{k=1}^{k=\infty} A_k \frac{R \sin\left(\mu_k \frac{r}{R}\right)}{r\,\mu_k} e^{-\mu_k^2 \cdot Fo}, \qquad (3.3)$$

$$\frac{t_{(r,\tau)} - t_c}{t_н - t_c} = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot I_0\left(\mu_k \frac{r}{R}\right) \cdot e^{-\mu_k^2 \cdot Fo}, \qquad (3.4)$$

где

$t(r,\tau)$, °С — температура в любой точке продукта на отрезке r, м, за время τ, с;

r — текущая координата точки. R — характерный геометрический размер продукта (половина толщины — для пластины, и радиус — для шара и цилиндра). Для поверхности продукта значение $t(r,\tau)$ преобразуется в $t(R,\tau)$. Для центра $r = 0$;

t_c — температура теплоотводящей среды, °С;

$I_0(x)$ — модифицированная функция Бесселя нулевого порядка первого рода;

Таблица 3.1

Теплофизические характеристики продуктов

Вид продукта	Плотность продукта, ρ, кг/м^3	Удельная теплоемкость, *c*, кДж/(кг · К)	Теплопроводность, $\lambda_{пр}$, Вт/(м · К)
Говядина обезжиренная, свинина, баранина	1020	3,35	0,45
Говядина жирная	1000	2,51	0,4
Свинина жирная	1000	2,18	0,4
Треска	1050	2,2	0,46
Филе трески	1050	3,52	0,48
Масло сливочное	980	2,1	0,23
Картофель	1080	3,5	0,6
Морковь	1080	3,9	0,61
Свекла	1080	3,9	0,6

A_k и μ_k — коэффициенты ряда Фурье (Fo) и корни соответствующих характеристических уравнений. A_k и μ_k находят по величине числа *Bi* из табл. 3.1 приложения — для пластины, табл. 3.2 приложения — для шара.

В выражении (3.3) при $r \to 0$

$$\frac{R\sin(\mu_K \frac{r}{R})}{\mu_k \cdot r} = 1. \qquad (3.5)$$

Для основных продуктов значения величин теплофизические характеристики продуктов отражены в табл. 3.1. Более полно теплофизические характеристики продуктов представлены в специализированной справочной литературе.

Fo — число Фурье, учитывающее нестационарность охлаждения продукта.

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{R^2}, \qquad (3.6)$$

где t — длительность охлаждения, с.

Коэффициент температуропроводности находится из выражения (3.7):

$$a = \frac{\lambda_{пр}}{c \cdot \rho}. \qquad (3.7)$$

Критерий подобия, учитывающий взаимосвязь переноса тепла к поверхности продукта и от его поверхности к теплоотводящей среде, называют числом Био:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda_{пр}}, \qquad (3.8)$$

где α — коэффициент теплоотдачи от поверхности продукта к теплоотводящей среде, Вт/(м² · К). Приближенно коэффициент теплоотдачи находится из выражения (3.9).

$$\alpha = (5.3 + 3.6 \cdot v) \cdot 1.16, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}, \qquad (3.9)$$

где

v — скорость движения воздуха, м/с;

$\lambda_{пр}$ — теплопроводность продукта, Вт/(м · К).

Более корректно и точно коэффициент теплоотдачи устанавливается на основе критериев, описывающих условия теплообмена продукта с теплоотводящей средой:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda_в}, \qquad (3.10)$$

где

Nu — число Нуссельта (критерий подобия);

$\lambda_в$ — теплопроводность воздуха, Вт/(м · К).

При оценке величины коэффициента теплоотдачи α от поверхности продукта к теплоотводящей среде в выражении (3.10) определяющий размер продукта L принимается с учетом направления потока теплоотводящей среды. Для продукта, форма которого подобна пластине, при движении воздуха вдоль поверхности тела за определяющий размер принимается размер тела в направлении потока среды, для тела, форма которого подобна шару и цилиндру, принимается определяющий размер тела. Для шара и цилиндра при условии их поперечного обтекания потоком воздуха определяющими размерами является радиус тел.

Число Нуссельта (*Nu*) является функцией числа Рейнольдса (учитывает условия течения теплоотводящей среды).

В случае продольного обтекания плоской пластины турбулентным потоком воздуха

$$Nu = 0{,}032 \cdot \mathrm{Re}^{0.8}; \quad (3.11)$$

при ламинарном обтекании пластины воздушным потоком

$$Nu = 0{,}032 \cdot \mathrm{Re}^{0.8}; \quad (3.12)$$

при поперечном обтекании одиночных цилиндров потоком воздуха

$$Nu = 0{,}196 \cdot \mathrm{Re}^{0.6}; \quad (3.13)$$

при обтекании потоком воздуха тела, форма которого подобна шару,

$$Nu = 0{,}33 \cdot \mathrm{Re}^{0.6}. \quad (3.14)$$

В выражениях (3.11–3.14) величина *Re* оценивается на основе зависимости:

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu_в}, \quad (3.15)$$

где

v — скорость движения воздуха, м/с;

$\nu_в$ — кинематическая вязкость воздуха ($\nu_в = 13 \cdot 10^{-6}$, м²/с).

Для тел с влажной поверхностью коэффициент теплоотдачи зависит от скорости движения воздуха вдоль продукта. Например, коэффициент теплоотдачи от поверхности продукта, форма которого подобна параллелепипеду, полученный экспериментально, отличается от расчетной величины при скорости движения воздуха 0,4 м/с в 2,4 раза, при скорости 1,3 м/с — в 2,1 раза, при скорости 2,2 м/с отличия нет. Математически эта зависимость приближенно описывается полиномом вида:

$$\alpha_k = \alpha_{\text{расч}} \cdot (-0{,}4938 \cdot v^2 + 0{,}5062 \cdot v + 2{,}2765), \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}. \quad (3.16)$$

В том случае, если есть радиационная составляющая теплообмена, коэффициент теплоотдачи от поверхности продукта выражают суммой двух величин: конвекции и излучения $\alpha = \alpha_к + \alpha_л$.

На практике лучистую составляющую теплообмена учитывают лишь при реализации технических проектов, в которых лучистому теплообмену отводится решающая роль, например при проектировании специализированных камер на мясокомбинатах для замораживания мяса.

Особенность в оценке длительности охлаждения продукта состоит в том, что решение «прямой» задачи по известной температуре в любой точке объема продукта обеспечивает достоверный результат, если $Fo > 0{,}3$. Это означает, что расчетная и реальная длительности процесса будут эквивалентны, если, например, длительность охлаждения составит более 1,5 ч при геометрическом размере продукта не менее 0,025 м. При решении задачи этим методом используют первый член ряда Фурье.

Точное значение длительности охлаждения получают только на основе оценки температурного поля продукта, т. е. задавая длительность охлаждения и сравнивая полученную температуру в расчетной точке объема продукта с технологически заданной. В этом случае задача решается на основе 3–6 корней характеристических уравнений μ_k и ряда Фурье A_k.

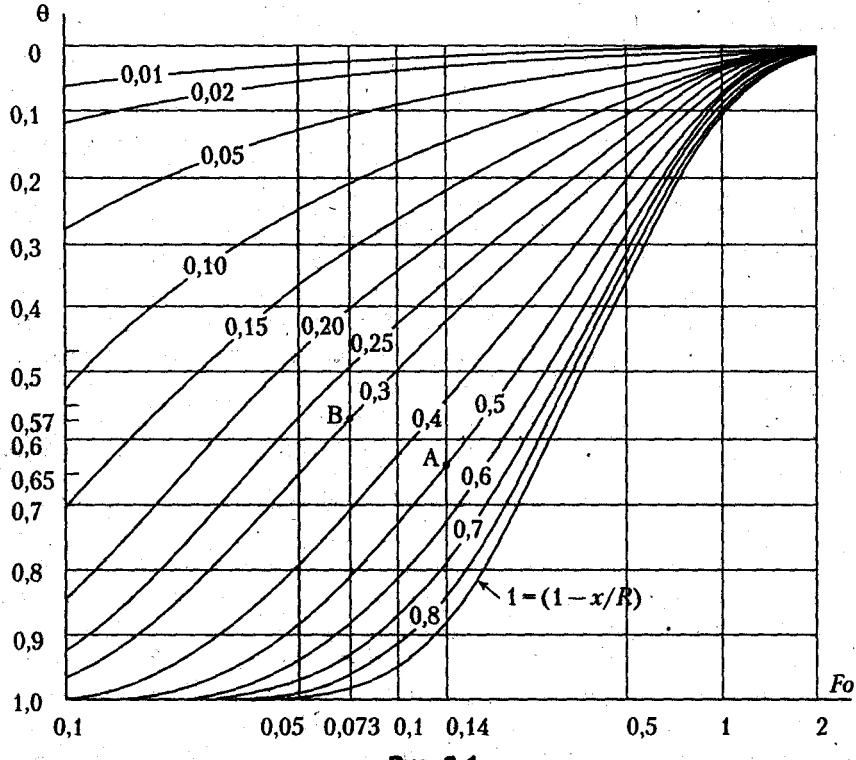


Рис. 3.1

Номограмма для оценки длительности охлаждения тела в виде пластины

Для приближенной оценки длительности тела любой стереометрической формы используют номограммы (рис. 3.1).

Семейство кривых в номограмме представлено для различных значений безразмерного комплекса

$$1-\frac{r}{R}.$$

Существует множество предложенных решений, позволяющих оценить длительность охлаждения продуктов. Одним из удачных решений является решение А. Фикиина:

$$\tau=-A\cdot\frac{R^2}{a}\left[\left(\frac{2{,}3}{Bi}+0{,}8\right)\cdot\lg\frac{t_{ц}-t_{с}}{t_{н}-t_{с}}-0{,}12\right],\ \text{ч}, \qquad (3.17)$$

где

τ — длительность охлаждения продукта;

A — эмпирический множитель. Для продукта в виде пластины $A = 1$, в виде цилиндра $A = 1/2$, в виде шара $A = 1/3$;

$t_{ц}$ — температура в центре продукта, °С.

Погрешность в оценке длительности охлаждения по формуле (3.17) составляет не более ±3% от реальной длительности процесса.

Длительность охлаждения можно оценивать на основе закона регулярного теплового режима.

3.3. Регулярный тепловой режим

Температурное поле продукта, т. е. распределение температуры по объему продукта, форма которого является неопределенной или при произвольных граничных условиях не описывается современными аналитическими методами. В этом случае для решения практических задач, связанных с оценкой средней температуры по объему продукта, температуры поверхности, скорости изменения средней температуры, прибегают к закону регулярного теплового режима.

Теория регулярного теплового режима является одним из разделов учения о теплопередаче в твердых телах. В отличие от классической теории теплопроводности теория регулярного теплового режима рассматривает процесс охлаждения не на всем его протяжении, а только на той стадии, на которую перестало влиять начальное состояние тела.

В теории теплопроводности это состояние предполагается определенным, тогда как в теории регулярного режима никаких условий не

ставится, причем рассматриваемое тело может быть любой формы и любых размеров.

Основной задачей теории регулярного теплового режима является установление зависимости между темпом охлаждения тела и средним коэффициентом теплоотдачи между телом и теплоотводящей средой (рис. 3.2).

Основное свойство регулярного теплового режима базируется на представлении о том, что по истечении достаточного времени от начала охлаждения наступает регулярный режим. Отличительной его особенностью является то, что логарифм избыточной относительной температуры в любой точке объема тела с течением времени изменяется по линейному закону, причем скорость изменения одинакова для всех точек тела.

Закон регулярного теплового режима действует лишь в случае простого охлаждения тела.

В любой точке объема охлаждаемого тела скорость охлаждения пропорциональна разности температур этой точки и температуры теплоотводящей среды:

$$\frac{dt}{d\tau} = -m \cdot (t_{r,\tau} - t_c). \tag{3.18}$$

Решая уравнение (3.18) и представив его относительно τ, получаем:

$$\tau = \frac{1}{m} \cdot \ln \frac{t_н - t_c}{t_{(r,\tau)} - t_c}, \tag{3.19}$$

где m — темп охлаждения, 1/с.

Темп охлаждения m характеризует скорость регулярного охлаждения тела. Для тел простейшей геометрической формы (пластины, цилиндра и шара) величина темпа охлаждения соответствует первому корню характеристического уравнения соответствующего тела:

$$m = \mu_1^2 \cdot \frac{a}{R^2}, \tag{3.20}$$

где μ_1 — первый корень характеристического уравнения тела заданной формы;

a — коэффициент температуропроводности тела, м^2/с;

R — характерный геометрический размер тела, м.

Темп охлаждения есть тангенс угла наклона прямой 2–3 (рис. 3.2).

Отрезок 1–2 характеризует стадию неупорядоченного охлаждения.

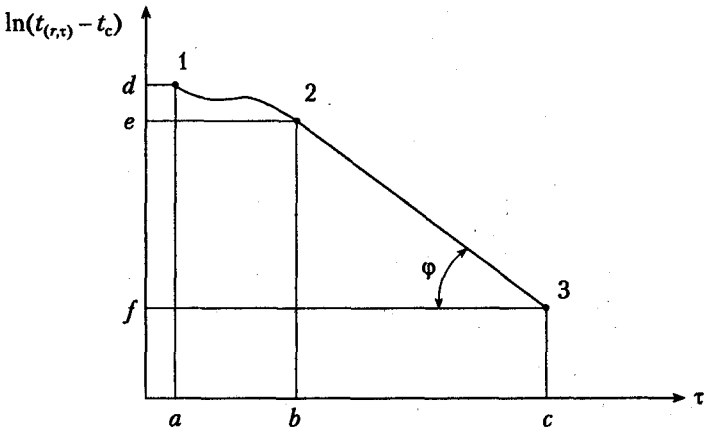


Рис. 3.2
Графическое представление процесса регулярного теплового режима

Неравномерность температурного поля в объеме продукта принято оценивать величиной Ψ, которая представляет отношение избыточной температуры поверхности тела $t_{(R,\tau)}$ к избыточной средней температуре в объеме продукта $\bar{t}_\tau$:

$$\psi = \frac{t_{(R,\tau)} - t_c}{\bar{t}_\tau - t_c}. \qquad (3.21)$$

Величина Ψ имеет простой физический смысл. Она является характеристикой неравномерности температурного поля в объеме продукта. При равномерном распределении температур в объеме тела Ψ = 1. Наименьшее значение соответствует интенсивному охлаждению, когда $\alpha \to \infty$.

Для тел простой стереометрической формы величина Ψ оценивается выражением (3.22):

$$\psi = \frac{\mu_{\Gamma,i}^2}{(\Gamma+1)\cdot Bi}, \qquad (3.22)$$

где Γ — постоянная формы тела. Для тела, форма которого подобна пластине, $\Gamma = 0$, для неограниченного цилиндра $\Gamma = 1$, для шара $\Gamma = 2$.

Выражение (3.19) не учитывает стадии неупорядоченного охлаждения, которая обычно составляет 20–25% от стадии регулярного

охлаждения. Это существенно затрудняет использование выражения (3.19) для реальной практики. Кроме того, темп охлаждения относительно просто оценивается лишь для тел стандартной стереометрической формы. В иных случаях приходится прибегать к данным, полученным на основе моделирования охлаждения тел, форма которых отлична от тел стандартной формы.

Наибольший вклад в теорию регулярного теплового режима внесли Г. М. Кондратьев и его научная школа.

3.4. Теплота, отводимая при охлаждении

Наиболее просто количество отведенного тепла при охлаждении оценивают на основе выражения (3.23):

$$Q = M \cdot (i_н - i_к), \text{ Дж}, \qquad (3.23)$$

где

M — масса продукта, кг;

$i_н$, $i_к$ — теплосодержание продукта до и после охлаждения, Дж/кг.

Этот метод, применяемый на практике, не учитывает неравномерности температурного поля продукта до начала охлаждения. Поэтому его используют для приближенных расчетов. Кроме того, данный метод предполагает, что продукт имеет небольшие геометрические размеры, маленький коэффициент теплоотдач поверхности, высокую теплопроводность.

Если требуется высокая точность расчетов, то расчеты должны учитывать характер температурного поля и среднеобъемную температуру продукта.

Количество тепла, отводимого при охлаждении продуктов, оценивают выражением

$$Q = c_{пр} \cdot \rho \cdot V \cdot (t_н - \bar{t}), \qquad (3.24)$$

где

$c_{пр}$ — теплоемкость продукта, Дж/(кг · К);

ρ — плотность продукта, кг/м^3;

V — объем продукта, м^3;

$\bar{t}$ — среднеобъемная температура, °С;

$t_н$ — начальная температура продукта, °С.

Среднеобъемную температуру устанавливают на основе решения для продуктов стандартной стереометрической формы.

Вид формулы для тела, форма которого подобна пластине и шару, одинаков:

$$\frac{\bar{t}-t_c}{t_н-t_c}=\sum_{k=1}^{\infty}B_k\cdot e^{-\mu_k^2\cdot Fo}. \qquad (3.25)$$

Среднеобъемные температуры $\bar{t}$, °С, для пластины и шара определяются величинами μ_k и B_k.

Для тела, форма которого подобна цилиндру:

$$\frac{\bar{t}-t_c}{t_н-t_c}=\sum_{k=1}^{\infty}\frac{4}{\mu_k^2}\cdot e^{-\mu_k^2\cdot Fo}. \qquad (3.26)$$

3.5. Потери влаги с поверхности продукта (усушка) при его охлаждении

В процессе охлаждения с поверхности неупакованного продукта испаряется влага. Испарение, иными словами массоперенос, совпадает с направлением переноса тепла. Общее количество тепла, отведенное от продукта конвекцией и испарением, составит:

$$Q=Q_к+Q_и. \qquad (3.27)$$

Теплота, отведенная конвекцией, составляет:

$$Q_k=\alpha_к\cdot(t_п-t_c)\cdot F\cdot\tau, \qquad (3.28)$$

где

$\alpha_к$ — коэффициент теплоотдачи (конвективный), Вт/(м^2 · К);

$t_п$, t_c — температуры поверхности продукта и теплоотводящей среды;

F — площадь поверхности теплообмена, м^2.

Теплота, отводимая испарением, составляет:

$$Q_и=Q-Q_к=F\cdot\tau\cdot[\beta\cdot\rho\cdot(i_п-i_c)-\alpha_к\cdot(t_п-t_c)], \qquad (3.29)$$

где

β — коэффициент испарения, м/с;

$i_п$, i_c — теплосодержание при температуре поверхности продукта и температуре теплоотводящей среды, Дж/кг.

С учетом соотношения Льюиса $\alpha_k/\beta=C_р\cdot\rho_в$ получаем:

$$Q_{и} = \alpha_{к} \cdot F \cdot \tau \cdot \left[\frac{i_{н} - i_{с}}{C_{р}} - (t_{п} - t_{с}) \right]. \quad (3.30)$$

Поскольку $Q_{и} = g \cdot G_{пр} \cdot L_{и}$, относительная масса испаренной влаги (усушка) составит:

$$g = \frac{\alpha_{к} \cdot F \cdot \tau}{G_{пр} \cdot L_{и}} \left[\frac{i_{н} - i_{с}}{C_{р}} - (t_{п} - t_{с}) \right]. \quad (3.31)$$

Анализ процесса испарения с поверхности продукта на основе выражения (3.31) показывает, что его величина зависит от интенсивности охлаждения, геометрических размеров продукта, точнее, от соотношения площади поверхности и объема продукта, от длительности выполнения процесса.

Разность температур поверхности и теплоотводящей среды не постоянна. В процессе охлаждения эта разность убывает в соответствии с закономерностями процесса охлаждения. Она имеет экспоненциальный характер.

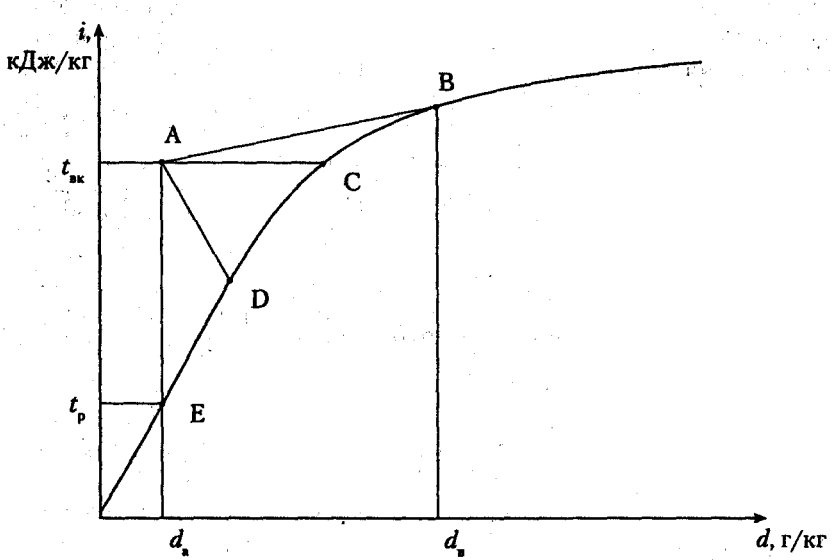


Рис. 3.3. Диаграмма *i—d* влажного воздуха. B—E — состояние воздуха над поверхностью продукта

Закономерность (3.31) не учитывает индивидуальных свойств продукта, особенностей его структуры, не описывает механизм внутреннего массопереноса и потому является наглядной качественной характеристикой процесса.

Процесс испарения влаги с поверхности продукта количественно может быть отображен в i—d-диаграмме влажного воздуха (приложение, рис. 3.1).

Потенциалом переноса влаги с поверхности продукта является разность влагосодержания воздуха, прилегающего к поверхности продукта, и воздуха, омывающего продукт. При понижении температуры воздуха понижается парциальное давление водяных паров, потенциал влагопереноса уменьшается, а вместе с ним уменьшаются и потери влаги продуктом.

Точка А характеризует состояние воздуха в охлаждаемом объеме, точки В—Е характеризуют последовательное изменение состояния воздуха над поверхностью продукта при условии его полного насыщения влагой, т. е. при $\varphi = 100\%$.

Состояние точки С соответствует равенству температур в охлаждаемом объеме (точка А) и воздуха над поверхностью продукта.

При равенстве температур (точки А и С) сохраняется разность влагосодержаний d_a, г/кг, и d_c, г/кг, что свидетельствует о наличии потенциала влагопереноса и, следовательно, о возможности усушки продукта.

Разность влагосодержаний, а следовательно и усушка, равны 0 при достижении температуры, равной температуре точки росы t_p (точка Е).

Таким образом, массоперенос с поверхности, т. е. усушка продукта, в значительной мере зависит от разности влагосодержания воздуха вблизи поверхности продукта и теплоотводящей среды. Они, в свою очередь, являются функцией разности определяющих их температур.

3.6. Параметры охлаждения продуктов

Практическая целесообразность охлаждения продуктов определяется требованиями реализуемых технологических процессов. Технология охлаждения должна учитывать индивидуальные свойства продуктов, теплофизические требования по интенсификации процесса.

Несмотря на индивидуальные свойства сырья или кулинарных изделий, процесс охлаждения должен осуществляться в ограниченные по времени сроки и при минимальных изменениях исходных свойств.

Выбор способа охлаждения базируется на оценке параметров, влияющих на длительность процесса (см. выражения 3.2–3.4; 3.17). Эти

параметры включают температуру теплоотводящей среды (t_c, °С), определяющий геометрический размер продукта (R, м), и коэффициент теплоотдачи от поверхности к теплоотводящей среде (α, Вт/м² · К).

Температуру теплоотводящей среды при охлаждении принимают с учетом индивидуальных свойств продуктов (животного и растительного происхождения) и ограничений технологии производства. Уменьшить длительность охлаждения можно понижением температуры теплоотводящей среды ниже криоскопической температуры, вплоть до −12...−10 °С. Этот метод используют на мясокомбинатах при охлаждении полутуш крупного рогатого скота после разделки животных. Полутуши транспортируются в подвешенном состоянии на транспортере и обдуваются из форсунок холодным воздухом. Скорость движения воздуха составляет 3–5 м/с, температура воздуха составляет −8...−5 °С. Однако, если исходная температура продукта или кулинарного изделия выше, применяют более низкие температуры. Например, при охлаждении кулинарной продукции в функциональных емкостях в холодильном шкафу ШХИ (шкаф холодильный интенсивного охлаждения) от температуры +80 °С до +10° С в центре функциональной емкости используют температуру теплоотводящей среды −12° С.

Применение теплоотводящей среды отрицательной температуры возможно, если установлена длительность достижения поверхностью продукта криоскопической температуры. По истечении этого времени продукт должен быть перемещен в холодильную камеру, в которой осуществляется выравнивание температуры по объему и последующее его доохлаждение. Подобный метод охлаждения называют двухступенчатым. Этот метод обеспечивает существенное уменьшение длительности процесса и сокращения потерь влаги продуктом, т. е. его усушку.

Определяющий размер продукта связан с видом охлаждаемой продукции или изделия и произвольно не может быть изменен. Однако при выборе технического устройства для охлаждения продукта размер продукта является одним из наиболее значимых компонентов.

Увеличение коэффициента теплоотдачи от продукта к теплоотводящей среде в рамках используемой среды достигается увеличением скорости ее движения. Практика и технико-экономические расчеты систем охлаждения свидетельствуют, что скорость движения воздуха вблизи поверхности продукта более 5–7 м/с технически и экономически не оправдана.

Увеличение коэффициента теплоотдачи от продукта к теплоотводящей среде более эффективно при замене самой среды.

В ряду интенсивностей теплоотвода от поверхности продукта можно выстроить следующий ряд: охлаждение воздухом, движущимся конвективно, $\alpha = 3–5$ Вт/(м^2 · К), воздухом, движущимся принудительно, посредством вентилятора, $\alpha = 20–30$ Вт/(м^2 · К). При охлаждении продукта жидкой средой, коэффициент теплоотдачи составляет $\alpha = 300–600$ Вт/(м^2 · К). При охлаждении продукта посредством контакта с твердой теплоотводящей средой коэффициент теплоотдачи теоретически стремится к бесконечности ($\alpha \to \infty$). Однако увеличение коэффициента теплоотдачи не приводит к пропорциональному уменьшению длительности охлаждения. При малых абсолютных значениях коэффициента теплоотдачи его увеличение заметно ускоряет процесс охлаждения, при больших величинах этого коэффициента его изменение оказывается менее заметным.

Коэффициент теплоотдачи возрастает, когда, как отмечено ранее, теплообмен на поверхности дополняется испарением влаги с поверхности продукта или когда радиационная составляющая теплообмена становится заметной или определяющей.

Системы, использующие радиационный теплообмен, применяются в основном для замораживания продуктов. Они представляют собой плоские испарители, выполненные из труб, внутри которых кипит холодильный агент. Продукт в подвешенном состоянии по транспортеру перемещается между испарителями и замораживается.

Достоинство этого метода состоит в том, что из основных слагаемых теплообмена (конвекции, испарения и радиации) при определяющей величине радиационной составляющей остальные менее значимы. Это приводит к уменьшению усушки продукта.

Опираясь на представленные функциональные связи процесса охлаждения, все известные способы охлаждения можно подразделить на три основные группы: посредством воздуха, посредством капельно-жидкой влаги, контактом с твердым телом. Каждый из перечисленных методов может сочетаться с другим.

Воздух как теплоотводящая среда описывается следующими параметрами: температурой, скоростью движения, относительной влажностью, влагосодержанием, теплосодержанием, барометрическим давлением. Из перечисленных параметров для интенсификации охлаждения широко используют в основном первые два. При охлаждении большинства продуктов относительная влажность не регулируется. Она является самоустанавливающимся параметром. Подобная ситуация обусловлена отсутствием надлежащих приборов контроля и регулирования относительной влажности.

3.7. Методы охлаждения основных продуктов

Представляемый материал не в состоянии отразить все многообразие методов охлаждения продуктов. Здесь рассмотрены лишь отдельные, употребительные в практике холодильной технологии.

Мясо в виде туш и полутуш охлаждают в камерах и туннелях на подвесных путях. Применяют одно- и двухстадийное охлаждение мяса.

Камерное одностадийное охлаждение осуществляют при температуре −5...−2 °С и скорости движения воздуха 0,5–2,0 м/с. Процесс одностадийного охлаждения полутуш говядины или свинины является длительным по времени и составляет 16–36 ч.

Двухстадийное охлаждение может выполняться в одной камере или при последовательном перемещении из камеры в камеру. Температура воздуха на первой стадии составляет −12...−10 °С. Далее мясо доохлаждается при температуре 0 °С и скорости движения порядка 0,5 м/с. Принципиально возможно охлаждение мяса при температуре воздуха на первой стадии −25...−20 °С и скорости его движения 5–7 м/с до достижения криоскопической температуры на поверхности. На второй стадии осуществляется процесс доохлаждения мяса при криоскопической температуре и скорости движения воздуха 0,5 м/с. Метод привлекателен прежде всего тем, что он позволяет уменьшить усушку продукта, однако требует качественного технического контроля процесса охлаждения.

Битую птицу охлаждают в воздухе, посредством орошения тушек холодной водой или погружением их в холодную воду. Охлаждение воды достигается посредством работы холодильной машины или в рамках разомкнутого холодильного цикла, (диоксид углерода или жидкий азот пропускают через воду). При этом образуется водный лед, что является дополнительным фактором, интенсифицирующим процесс охлаждения.

В процессе погружного охлаждения птица поглощает до 8% влаги. При последующем подсушивании тушек в воздушном потоке количество поглощенной влаги уменьшается до 4%.

Свежую рыбу охлаждают преимущественно чешуйчатым льдом. Могут также использоваться дробленый лед, снег. Кроме того, рыбу охлаждают морской водой, холодным воздухом. Охлаждение рыбы осуществляют в инвентарной таре.

В ряде случаев рыбу охлаждают до температуры на 1,5–2,0 °С ниже криоскопической. Строго говоря, этот процесс нельзя считать охлаж-

данием, поскольку происходит подмораживание рыбы. Однако в технической литературе этот процесс именуют *super cooling*, или, иначе, *light freezing*, поскольку в тканях образуются кристаллы льда. Такое состояние граничит с замораживанием. В отечественной литературе подобный процесс называют подмораживанием. Приоритет в разработке метода принадлежит профессору Н. А. Головкину.

В общественном питании охлаждение является составной частью технологических процессов. Например, в технологической схеме приготовления изделий из пресного слоеного текста процесс его выдерживания после раскатки при температуре 2–4 °С осуществляют не менее трех раз.

В определенной мере это относится и к производству изделий из дрожжевого теста, которое в технологической цепочке производства охлаждается до 6–8 °С.

Растительные продукты являются биологически активными. Основным процессом растительных продуктов является процесс дыхания, который связан с потерей ими влаги, потерей устойчивости к заболеваниям, а также увяданием. Таким образом, охлаждение растительных продуктов является биологически обусловленным процессом, обеспечивающим сохранность продуктов.

Для предупреждения нежелательных качественных изменений в продуктах необходимо их охлаждать сразу после сбора. Задержка в охлаждении, например, яблок после сбора на один день сокращает их срок хранения при 0 °С на 9–10 дней, задержка на 3 дня — на месяц.

Для охлаждения растительных продуктов используют воздух и жидкости. В воздухе охлаждают яблоки, груши, цитрусовые, т. е. те, которые нуждаются в последующем холодильном хранении.

Зелень охлаждают преимущественно холодной водой или снегом, а также посредством технологии вакуумного охлаждения. Оно применяется вслед за мойкой зелени, когда ее поверхность не подсушена.

Вакуумное охлаждение дает хорошие результаты в отношении скорости охлаждения без заметной потери влаги продуктом. Охлаждение до 1 °С достигается для большинства продуктов за 10–20 мин при потере влаги 2–3% от исходной массы.

3.8. Технические средства охлаждения

В преобладающем большинстве технические средства для охлаждения и замораживания являются идентичными. Сравнительно с замораживи-

вающими устройствами охлаждающие устройства имеют меньшую площадь поверхности испарителя и меньшую холодопроизводительность холодильной машины.

Как правило, охлаждение является составной частью процесса замораживания. Поэтому подробный анализ основных устройств и методов замораживания будет представлен в гл. «Замораживание продуктов».

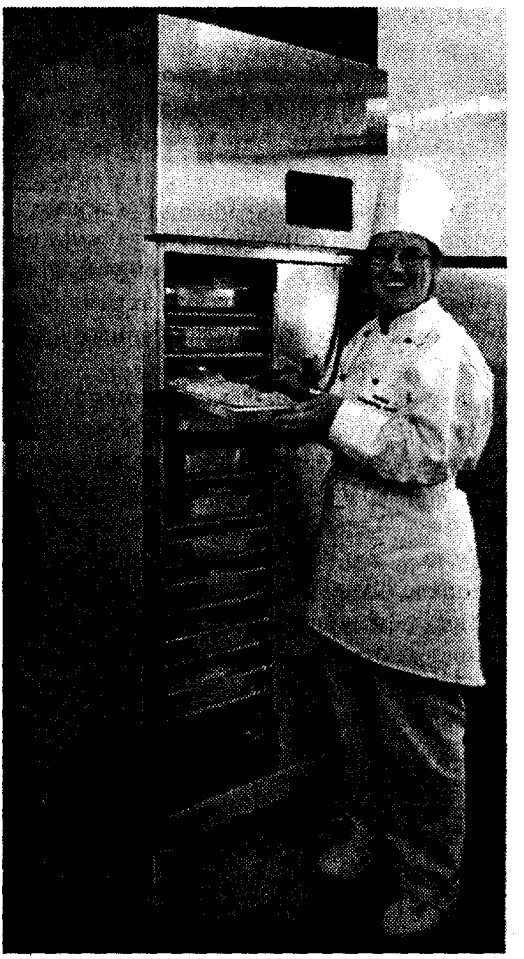


Рис. 3.4
Шкаф интенсивного охлаждения

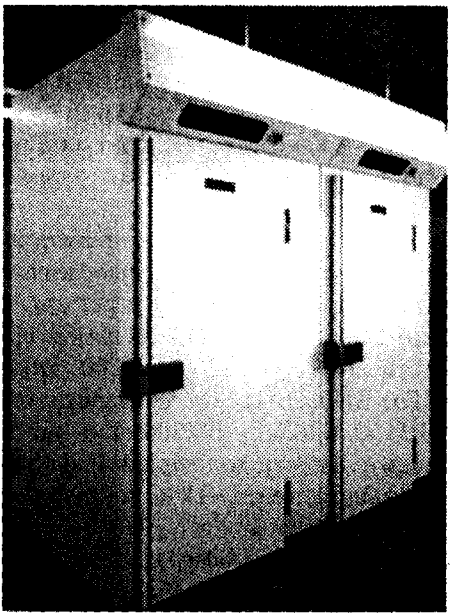


Рис. 3.5
Холодильная камера
для охлаждения продуктов

Для охлаждения готовой продукции, преимущественно в общественном питании, находит широкое применение холодильное оборудование шкафного типа и специализированное камерное холодильное оборудование. Как правило, это оборудование является универсальным и позволяет кроме охлаждения замораживать продукты.

Шкаф интенсивного охлаждения и аналогичный по форме универсальный шкаф для охлаждения и замораживания представлен на рис. 3.4.

Электронное управление и цифровой показ температуры обеспечивают точное задание температуры охлаждения. Температура охлаждаемого продукта контролируется термометром.

Длительность процесса охлаждения продуктов в функциональной таре составляет порядка 1,5 ч.

Холодопроизводительность шкафов, например серии БЦ (БЦ10, БЦ20, БЦ35, БЦ50) составляет соответственно 10, 20, 35, 50 кг/ч. Производительность определяется габаритными размерами шкафов. Наружные габаритные размеры составляют 680 × 795 × (1055, 1490, 1975, 2040) мм, внутренние варьируют в пределах 360 × 635 × (400, 700, 1285, 1505) мм.

Холодопроизводительности холодильных машин для охлаждения продуктов составляют от 0,93 до 2,68 кВт.

Указанные справочные холодопроизводительности холодильной машины нуждаются в уточнении в соответствии с конкретным видом охлаждаемого продукта и конечной температурой процесса. На длительность охлаждения, как известно, влияют толщина слоя продукта, используемая посуда, тип упаковки и т. д.

Камеры интенсивного охлаждения обеспечиваются холодом посредством присоединения к системам централизованного холодоснабжения. Они поставляются без холодильного агрегата.

Холодопроизводительность холодильных камер серии БЦ70–БЦ280 составляет соответственно 70, 90, 120, 150, 200, 280 кг за 1,5 ч. Холодильные камеры БЦ70, БЦ90, БЦ120 рассчитаны на одну передвижную тележку, камеры БЦ150, БЦ200 и БЦ280 — на две тележки. Требуемые холодопроизводительности холодильной машины при температуре кипения холодильного агента –12 °С составляют соответственно 7,8, 9,6, 12,3, 16,5, 19,2, 24,5 кВт.

Габаритные наружные размеры камер с одной тележкой составляют 1200 × 1200 × 2350 мм, размеры камер с двумя тележками — соответственно 1200 × 2400 × 2350 мм.

Габаритные внутренние размеры камер с одной тележкой составляют 690 × 1000 × 1850 мм, размеры камер с двумя тележками — соответственно 690 × 2100 × 1850 мм (рис. 3.5).

Контрольные вопросы:

1. Что включает понятие «температурное поле продукта»?
2. Чем различаются начальные и граничные условия?
3. В какой мере влажная поверхность влияет на длительность охлаждения?
4. Как учитывается при охлаждении радиационная составляющая теплового баланса?
5. Какие факторы влияют на усушку продукта?
6. Каковы методы борьбы с усушкой?
7. Какие методы используются для охлаждения растительных продуктов?
8. В чем состоит суть метода регулярного теплового режима?

9. Как оценить длительность охлаждения?
10. Дать краткую характеристику основных методов охлаждения продуктов.
11. Каким образом обеспечивается охлаждение продуктов на предприятиях общественного питания и торговли?

Глава 4
ЗАМОРАЖИВАНИЕ ПРОДУКТОВ

В технологическом плане замораживание является процессом, предшествующим последующему холодильному хранению.

С физической точки зрения замораживание — это превращение тканевой влаги в лед. Оно протекает с одновременным понижением температуры продукта.

Основной причиной высокой стойкости замороженных продуктов является превращение тканевой влаги в лед, а действию низкой температуры принадлежит второстепенная роль. Практически оба эти явления неразделимы. Результирующий эффект замораживания принадлежит обоим факторам.

Кристаллизация тканевой влаги препятствует развитию всех процессов — химических, ферментативных, микробиологических, процессов тепло- и массопереноса в объеме продукта и с его поверхности.

Результирующий эффект замораживания сходен с процессом теплового обезвоживания, но является более щадящим, существенно не меняющим ни структуру ткани, ни биологическую активность ферментов.

4.1. Льдообразование в тканевых системах

В настоящее время нет единого представления о процессе льдообразования. Это объясняется не отсутствием знаний о процессе в целом, а многообразием самого процесса и форм его протекания.

Наиболее старой теорией, объясняющей процесс роста кристаллов и льда в частности, является *теория поверхностного натяжения*. Согласно ей, кристалл, находящийся в равновесии с жидкой фазой, должен иметь форму, отвечающую минимуму его суммарной поверхностной энергии при постоянном объеме.

Молекулярно-кинетическая теория и теория «дислокаций» (нарушений в формировании кристаллической решетки) основаны на представлениях об образовании совершенных и несовершенных форм кри-

сталлов. Теории раскрывают закономерности построения кристаллической решетки, что представляет преимущественный интерес при выращивании искусственных кристаллов.

В основе диффузионной теории, получившей широкое распространение, лежит представление о формировании кристалла при выполнении законов диффузии растворенного вещества к его поверхности и удалении примесей от границы раздела фаз.

Слой раствора повышенной концентрации вблизи границы раздела фаз получил название слоя концентрационного уплотнения раствора (рис. 4.1).

Распределение концентрации растворенного вещества, не успевшего диффундировать в раствор, описывается экспоненциальным законом.

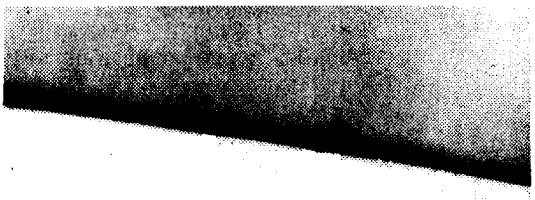


Рис. 4.1
Движение плоских кристаллов льда в растворе красителя Направление движения — снизу вверх

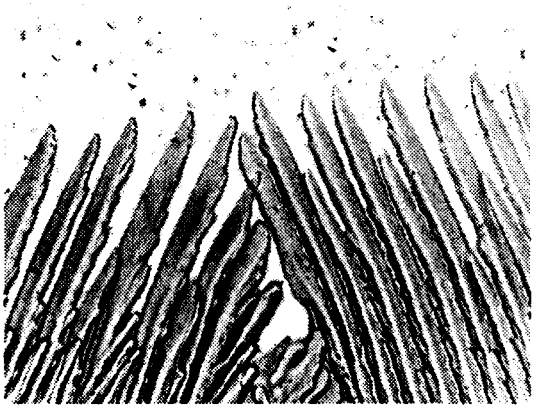


Рис. 4.2
Остроконечные кристаллы в растворе низкомолекулярного соединения (сахароза)

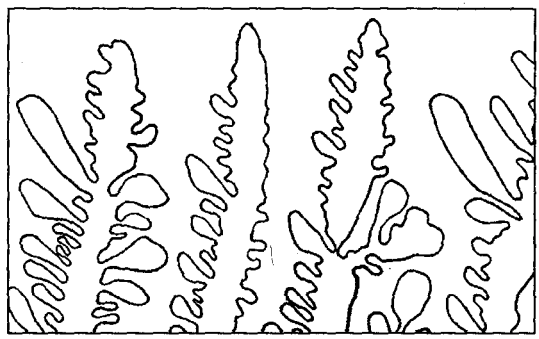


Рис. 4.3
Дендриты неправильной формы
в мышечном соке животной ткани

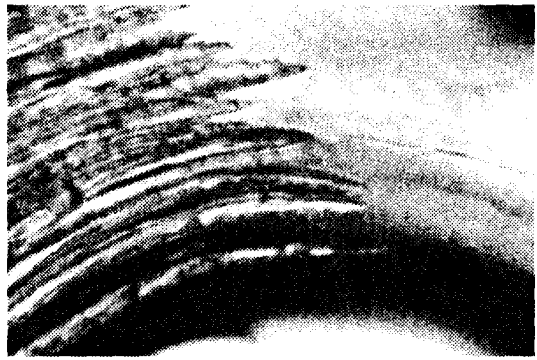


Рис. 4.4
Замораживание мышечной ткани трески
Рост кристаллов — слева направо

Толщина слоя зависит от скорости линейного перемещения границы раздела фаз, т. е. от скорости замораживания и свойств растворенного вещества. В растворах с низкомолекулярными соединениями, например в растворе сахарозы, кристаллы льда приобретают форму остроконечных кристаллов (рис. 4.2).

С возрастанием скорости теплоотвода разветвленность кристаллов возрастает, формируются дендритные кристаллы правильной формы. (Дендриты — кристаллы папоротникоподобной формы.)

При аналогичных условиях теплоотвода в растворе с высокомолекулярными соединениями диффузия растворенного вещества от гра-

ницы раздела фаз затруднена, образуются дендриты неправильной формы (рис. 4.3).

При образовании дендритных кристаллов растворенное вещество распределяется в пространствах между ветвями. Концентрация этого вещества повышается. При соприкосновении растворенного вещества с поверхностью клетки происходит осмотическое обезвоживание клетки. Чем выше разветвленность дендритных кристаллов, тем более равномерно распределяется растворенное вещество в его ветвях и тем в меньшей мере возможно обезвоживание клеток.

При замораживании продуктов животного и растительного происхождения, картина процесса несколько меняется. В тканевых системах процесс льдообразования существенно зависит от скорости теплоотвода. При медленном замораживании в объеме ткани образуются центры кристаллизации в переохлажденном тканевом соке продукта. Переохлаждение тканевого сока зависит от состояния ткани и может достигать –4 °С. Далее происходит образование кристаллов с выделением теплоты льдообразования. Если теплоотвод не интенсивен, то часть кристаллов растворяется, часть укрупняется. Это явление носит название «рекристаллизация». Рекристаллизация может привести к нарушению клеточной структуры.

При интенсивном теплоотводе льдообразование следует рассматривать как процесс перемещения замороженного слоя от поверхности вглубь продукта. Переохлаждения тканевого сока перед кристаллическим фронтом практически нет, формируются дендриты. Уровень

Рис. 4.5
Результаты замораживания мышечного волокна.
Рост кристаллов — слева направо

разветвленности дендрита зависит от свободы формирования, которую ему предоставляет тканевая структура. Например, в мышечной ткани кристаллы движутся, точно повторяя изгибы мышечного волокна. Мера разветвленности кристаллов невелика (рис. 4.4).

После замораживания структура мышечного волокна изменяется. Результаты стандартной гистологической обработки препарата свидетельствуют, что после замораживания миофибриллы (волоконца внутри волокон) утратили начальное состояние, протоплазма разрушена (рис. 4.5).

В растительной ткани формирование кристаллов льда внутри клетки не ограничено, как в мышечном волокне, рамками межволоконных пространств, поэтому кристаллы льда имеют более разветвленную форму (рис. 4.6).

Однако разветвленность недостаточна, чтобы сохранить исходное распределение внутриклеточной влаги, свойственное клетке до замораживания. Это означает, что сохранение тканевой структуры возможно лишь с увеличением скорости замораживания.

Осмотическая концентрация межклеточной жидкости меньше внутриклеточной, поэтому межклеточная жидкость вымерзает в первую очередь. Возрастание осмотической концентрации межклеточной жидкости приводит к определенному осмотическому обезвоживанию клеток, тем большему, чем меньше скорость замораживания.

Следует иметь в виду, что превращение тканевой влаги в лед сопровождается ее расширением на 8%, что является одним из факторов разрушающего воздействия льда на структуры клеток.

Рис. 4.6
Формирование кристаллов льда в растительной клетке лука

Механическое разрушение кристаллами льда клеточной и внутриклеточной структуры является лишь одним из многих факторов, влияющих на состояние ткани. Увеличение осмотической концентрации межклеточной жидкости может привести к растворению липопротеидных биологически активных полупроницаемых внутриклеточных мембран, в результате чего внутриклеточная влага способна перемещаться в межклеточное пространство.

Таким образом, появляется настоятельная необходимость в точной оценке длительности замораживания и параметров, влияющих на интенсивность этого процесса.

4.2. Количество вымороженной воды

В холодильной технологии при замораживании продукта воду, превратившуюся в лед, принято называть вымороженной.

Под количеством вымороженной воды ω понимается отношение количества льда $G_л$ при данной температуре, отнесенное к суммарному количеству льда $G_л$ и воды $G_в$ при той же температуре или к количеству влаги пищевого продукта. Количество вымороженной воды выражают в долях единицы или в процентах от общего содержания воды в продукте.

На основе закона Рауля количество вымороженной воды описывают следующим образом:

$$\omega = 1 - \frac{t_{кр}}{t}, \qquad (4.1)$$

где

$t_{кр}$ — криоскопическая температура, температура начала замерзания тканевого сока, °С;

t — температура, для которой вычисляется количество вымороженной воды, °С.

Полученное выражение может быть представлено графически (рис. 4.7).

Анализ рис. 4.7 свидетельствует, что при $t = t_{кр}$ $\omega = 0$; при $t \to t_{эвт}$ $\omega \to 1$. Поскольку эвтектическая температура ($t_{эвт}$) большинства продуктов, т. е. температура полного превращения влаги в лед, лежит в интервале −85...−55 °С, то температура холодильного хранения продуктов выше эвтектической всегда сопряжена с наличием в замороженном продукте определенной доли незамерзшей влаги.

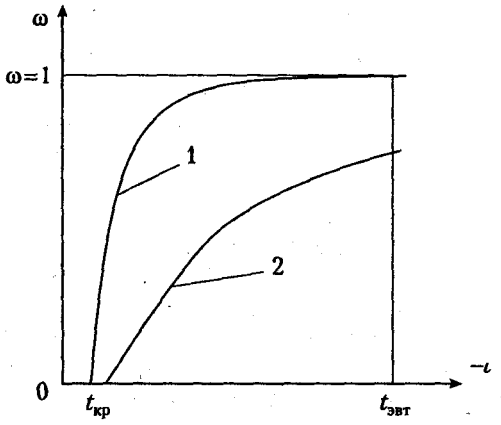


Рис. 4.7
График зависимости количества вымороженной воды от температуры

Характер вымерзания влаги имеет экспоненциальный характер. Наибольшее количество влаги во влагосодержащих продуктах (мясо, рыба, овощи и фрукты) вымерзает в узком интервале температур: –2,5...–0,5 °С. Понижение температуры продуктов ниже этого уровня приводит к вымерзанию 60–75% влаги. В продуктах, в которых влаги мало или она связана, например в бананах, влага вымерзает в широком интервале температур (рис. 4.7, кривая 2).

Количество вымороженной воды зависит только от свойств продукта и температуры, до которой заморожен продукт и не зависит от интенсивности теплоотвода. По сути, эта величина «статическая», поэтому количественно ее оценивают в конце процесса замораживания.

Более точно количество вымороженной воды оценивается на основе полуэмпирических зависимостей, учитывающих индивидуальные свойства продуктов.

4.3. Средняя конечная температура

Средняя температура по объему продукта в конце процесса замораживания — $t_{ск}$, °С. Необходимость ее оценки обусловлена требованиями технологии. При замораживании преимущественно задают температуру центра продукта. После завершения замораживания происходит перестроение температурного поля продукта. При этом средняя температура по объему продукта (средняя объемная или средняя конеч-

ная температура) может существенно отличаться от технологически заданной, что недопустимо. Поэтому в технологических расчетах оценка средней конечной температуры является необходимым условием получения достоверных результатов.

При $\alpha \to \infty$, т. е. при интенсивном теплоотводе от поверхности продукта ($t_п \geq t_с$), среднюю конечную температуру выражают:

$$t_{ск}\underset{\alpha\to\infty}{} = \frac{t_{кц} + t_п}{2}, \text{ °C}, \tag{4.2}$$

где $t_п$ — температура поверхности продукта, °С.

При конвективных условиях теплоотвода от поверхности продукта среднюю конечную температуру выражают:

$$t_{ск} = \frac{t_{кц} \cdot (Bi + 2) + t_с \cdot Bi}{2 \cdot (Bi + 1)}, \tag{4.3}$$

где $Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda_м}$.

Хотя температура поверхности продукта отлична от температуры теплоотводящей среды, однако в конце процесса замораживания эти различия несущественны и не ограничивают возможности выполнения приближенных технических расчетов.

4.4. Изменение теплофизических характеристик пищевых продуктов при замораживании

Теплофизические расчеты процессов холодильной обработки продуктов неразрывно связаны с оценкой величины теплофизических характеристик продуктов и направленности этих изменений в объеме продукта и во времени.

В тепловых расчетах наиболее значимыми являются следующие теплофизические характеристики: плотность продукта — ρ, кг/м^3, удельная массовая теплоемкость продукта — c, Дж/(кг · К), теплопроводность — λ, Вт/(м · К), температуропроводность — a, м^2/с, теплосодержание (энтальпия) — i, Дж/кг.

Плотность продукта является аддитивной величиной. Она может быть установлена на основе сложения плотностей отдельных компонентов продукта с учетом их массовых долей. Если масса продукта M, а массы составляющих его компонентов $m_1, m_2, \ldots m_n$, ($M = m_1 + m_2 + \ldots + m_n$), то плотность продукта составит:

$$\rho = \rho_1 \frac{m_1}{M} + \rho_2 \frac{m_2}{M} + \ldots + \rho_n \frac{m_n}{M}. \qquad (4.4)$$

При замораживании плотность продуктов уменьшается на 5–8%. В технических расчетах эту величину принимают неизменной, не зависящей от изменения температуры.

Удельная массовая теплоемкость продукта подчиняется закону аддитивности, т. е.

$$c = g_1 \cdot c_1 + g_2 \cdot c_2 + \ldots + g_k \cdot c_k, \qquad (4.5)$$

где

$g_1, g_2, \ldots, g_k$ — весовые доли компонентов смеси;

$c_1, c_2, \ldots, c_k$ — удельные теплоемкости компонентов смеси.

В простейшем случае, если пищевые продукты рассматривать как двухфазные системы, содержащие тканевую влагу (дисперсионную среду) и дисперсную фазу — остальные компоненты (сухие вещества), теплоемкость продукта составит:

$$c_o = c_w \cdot W + c_c \cdot (1 - W), \qquad (4.6)$$

где

c_w, c_c — теплоемкости воды и дисперсной фазы, Дж/(кг · К);

W, $(1 - W)$ — содержание в продукте весовых частей влаги и дисперсной фазы.

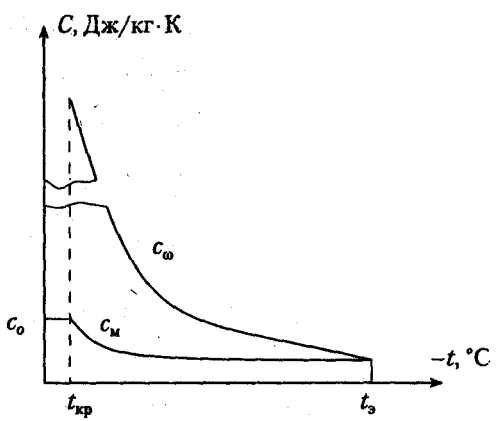


Рис. 4.8
График зависимости расчетной и полной теплоемкостей от температуры

Для продуктов животного происхождения c_c составляет 1,38–1,68 кДж/кг, для продуктов растительного происхождения — 0,71–1,36 кДж/кг.

При замерзании тканевой влаги удельная теплоемкость продукта может быть оценена на основе соотношения:

$$c_м = c \cdot W \cdot (1-\omega) + c_л \cdot W \cdot \omega + c_c \cdot (1-W), \quad (4.7)$$

где

$c_л$ — теплоемкость льда, Дж/(кг·К);

ω — количество вымороженной воды, т. е. количество воды, превратившейся в лед.

График зависимости расчетной и полной теплоемкостей от температуры представлен на рис. 4.8.

Представляя продукт как двухфазную систему «сухие вещества—вода», его теплоемкость оценивают на основе выражения (4.8) или (4.9):

$$c_м = c_o - (c_в - c_л) \cdot W \cdot \omega, \quad (4.8)$$

$$c_м = c_o - 2095 \cdot W \cdot \omega. \quad (4.9)$$

Результат, получаемый по формуле (4.9), является приближенным, поскольку не учитывает зависимости теплоемкости продукта до замораживания от температуры. Однако эта погрешность невелика и ощутимо не влияет на точность конечного результата.

Если в выражении отводимого тепла льдообразования принять изменение температуры замораживаемой массы продукта равным 1 °С, то количество тепла получит размерность и смысл удельной теплоемкости:

$$q_\omega = L_л \cdot W \cdot (\omega_2 - \omega_1), \quad (4.10)$$

где $L_л$ — теплота льдообразования, $L_л$ = 335,2 кДж/кг.

Сумма расчетной теплоемкости $c_м$ и теплоты льдообразования $L_л$ при изменении температуры на 1°С дает полную удельную теплоемкость:

$$c_\omega = c_м + L_л \cdot W \cdot (\omega_2 - \omega_1). \quad (4.11)$$

При оценке продолжительности замораживания или размораживания продуктов тепловой эффект соответствует полной удельной теплоемкости. В технических расчетах обычно отражают раздельно тепло, обусловленное теплоемкостью $c_м$, и тепло фазового превращения.

Последняя методика не является ошибочной. Она — лишь один из способов представления материала.

Одним из способов приближенной оценки величины полной теплоемкости является ее оценка по формуле (4.12):

$$c_{\omega} = n - \frac{m}{t}, \tag{4.12}$$

где n, m — эмпирические величины (табл. 4.1).

Теплопроводность продукта не является аддитивной величиной. В области положительных температур ее принимают постоянной. При замораживании продукта теплопроводность отражает общую тенденцию, связанную с процессом превращения тканевой влаги в лед:

$$\lambda_{м} = \lambda_{0} + \omega \cdot \Delta\lambda, \tag{4.13}$$

где

λ_{0} — теплопроводность продукта до замораживания, Вт/(м · К);

$\Delta\lambda$ — изменение теплопроводности в интервале температур от криоскопической до конечной.

Изменение теплопроводности $\Delta\lambda$ принимают с учетом влажности продукта в интервале от 70 до 90% равной от 0,9 до 1,16 Вт/(м · К).

Теплопроводность льда отличается от теплопроводности воды примерно в четыре раза. Характер изменения теплопроводности связан с количеством вымороженной воды, (рис. 4.9).

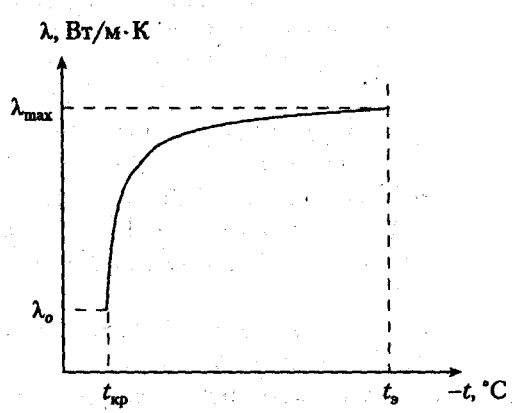


Рис. 4.9
График зависимости теплопроводности продукта от температуры

Таблица 4.1

Значения коэффициентов *m* и *n* для приближенной оценки полной теплоемкости отдельных продуктов

Продукты	*m*, Дж/(кг · К)	*n*, Дж/(кг · К)
Бобы	0,92	28,09
Брокколи	0,75	38,02
Брюква	0,33	45,64
Горох	0,42	36,38
Дыня	0,54	46,60
Капуста цветная	0,71	37,56
Морковь	0,17	51,88
Огурцы	0,96	29,18
Помидоры	0,88	35,63
Фасоль зеленая	1,17	21,98
Овощи (средние значения)	0,63	37,89
Пикша, треска, морской окунь	0,75	37,22
Креветки	0,5	42,33
Свинина $W = 0{,}52$ $W = 0{,}77$ Среднее значение	 0,54 2,08 1,88	 29,18 11,51 17,33
Говядина	0,67	39,32

Коэффициент температуропроводности (a, м^2/с) характеризует теплоинерционные свойства продукта, т. е. интенсивность нагрева или охлаждения. Температуропроводность оценивается соотношением:

$$a = \frac{\lambda_м}{c_м \cdot \rho}, \qquad (4.14)$$

где

$\lambda_м$ — теплопроводность замороженного продукта, Вт/(м · К);

$c_м$ — теплоемкость замороженного продукта, Дж/(кг · К).

Характер изменения температуропроводности от температуры представлен на рис. 4.10.

Теплосодержание (энтальпию продукта) при изменении температуры до криоскопической температуры выражают соотношением:

$$di = c_o \cdot dt. \tag{4.15}$$

В области отрицательных температур теплосодержание выражают:

$$di = c_\omega \cdot dt. \tag{4.16}$$

Различие влияния изменений температуры на величину теплоемкостей c_o и c_ω приводит к заметному изменению теплосодержания продуктов в интервале температур, соответствующем области вымерзания основного количества воды. Это отчетливо видно на рис. 4.11.

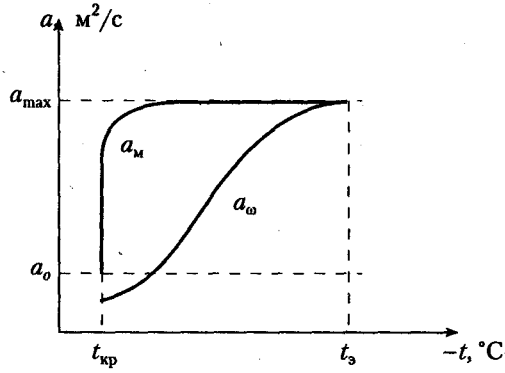


Рис. 4.10
График зависимости расчетного и полного коэффициентов температуропроводности от температуры (−*t*)

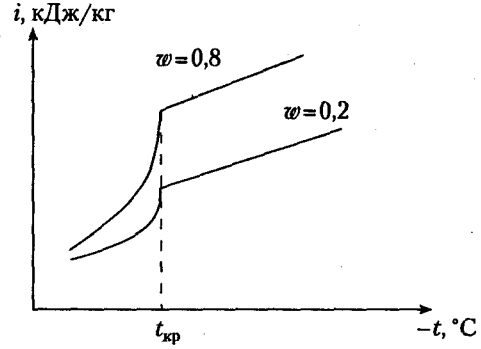


Рис. 4.11
Изменение теплосодержания продукта при различном значении температуры и влагосодержания

Следует отметить, что в технической литературе в ряде случаев представлены различные значения величин теплосодержаний продуктов при одной и той же температуре. Последнее обусловлено тем, что принимаются различные точки отсчета температуры при $i = 0$. Однако разность теплосодержаний для любых значений температур одинакова.

4.5. Длительность замораживания продукта

При оценке длительности замораживания тела заданной стереометрической формы возможны два подхода.

В первом случае решение задачи базируется на решении уравнения нестационарной теплопроводности Фурье, что, однако, сопряжено с затруднениями из-за нелинейности граничных условий.

Второй подход состоит в том, что процесс замораживания описывают дифференциальными уравнениями теплового баланса, при решении которых задаются законы распределения температуры по толщине замороженного слоя. Полученные решения являются приближенными. Мера их точности определяется соответствием температуры действительному ее распределению в замороженном слое. Решения, полученные этим методом, относительно просты и потому применимы в инженерных расчетах.

4.5.1. Порядок решения задачи

Решение задачи об оценке длительности замораживания называют задачей о теплопроводности в системах с подвижной границей.

Исходные условия при решении задачи:

- тело однородно, изотропно;
- тело перед замораживанием охлаждено до криоскопической температуры $t_{кр}$, °С, т. е. температуры начала замерзания тканевых соков;
- льдообразование в теле происходит без переохлаждения и совершается изотермически при криоскопической температуре;
- теплофизические свойства тела не зависят от температуры, при этом теплоемкость замороженной части продукта равна нулю.

Замораживание происходит путем отвода тепла от поверхности тела при постоянном коэффициенте теплоотдачи и постоянстве температуры теплоотводящей среды (рис. 4.12).

Процесс замораживания тела рассматривается как процесс промерзания с движущейся границей раздела фаз «лед–влага». Отвод тепла

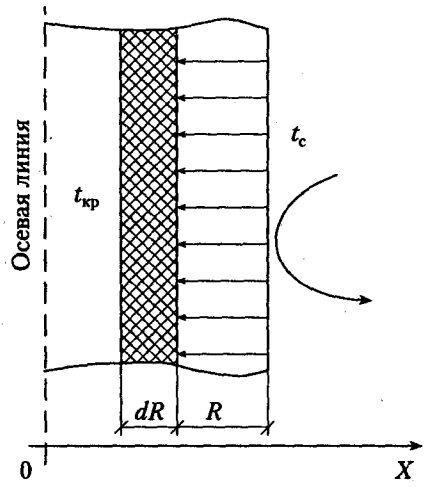


Рис. 4.12
Пояснения к процессу замерзания тела в виде пластины

льдообразования осуществляется через замороженный слой от поверхности тела.

За время $d\tau$ граница переместилась на dR. Для замораживания слоя толщиной dR и площадью F следует отвести тепло:

$$dQ = q_л \cdot \rho \cdot F \cdot dR, \tag{4.17}$$

где

$q_л$ — теплота льдообразования, Дж/кг;

ρ — плотность продукта, кг/м^3.

Количество тепла, отведенное через замороженный слой, применительно к стационарным условиям теплообмена через плоскую стенку для граничных условий третьего рода можно выразить так:

$$dQ = \frac{1}{\frac{R}{\lambda_{пр}} + \frac{1}{\alpha}} F \cdot (t_{кр} - t_c) \cdot d\tau, \tag{4.18}$$

где

$\lambda_{пр}$ — теплопроводность продукта, Вт/(м · К);

α — коэффициент теплоотдачи от поверхности продукта к теплоотводящей среде, Вт/(м^2 · К).

Пусть $(t_{кр} - t_c) = \Delta t$, тогда, приравнивая правые части формул (4.17) и (4.18), можно получить решение относительно длительности замораживания при двустороннем теплоотводе:

$$\tau = \frac{q_л \cdot \rho}{\Delta t} R\left(\frac{R}{2\lambda_л} + \frac{1}{\alpha}\right). \quad (4.19)$$

Аналогичные решения получены для тел, форма которых подобна цилиндру и шару:

$$\tau = \frac{q_л \cdot \rho}{\Delta t} \cdot \frac{R}{2}\left(\frac{R}{2\lambda_л} + \frac{1}{\alpha}\right), \quad (4.20)$$

$$\tau = \frac{q_л \cdot \rho}{\Delta t} \cdot \frac{R}{3}\left(\frac{R}{2\lambda_л} + \frac{1}{\alpha}\right). \quad (4.21)$$

Выражения (4.19)—(4.21) не учитывают того, что продукт перед замораживанием имеет температуру, отличную от криоскопической. Теплопроводность замороженного продукта $\lambda_м$ отличается от теплопроводности льда, $\lambda_л$, поэтому для практического использования применяют выражения для пластины, цилиндра и шара, в которых теплота льдообразования $q_л$ заменена теплотой замораживания $q_з$:

$$q_з = c_о \cdot (t_н - t_{кр}) + q_л \cdot \omega \cdot W + c_м \cdot (t_{кр} - t_{ск}), \text{ Дж/кг}. \quad (4.22)$$

Первое слагаемое представляет собой теплоту охлаждения. Третье слагаемое учитывает тепло домораживания, т. е. тепло, которое отводится от продукта после того, как границы раздела фаз встречаются в его геометрическом центре.

Теплопроводность льда $\lambda_л$ в формуле Р. Планка заменена теплопроводностью замороженного продукта $\lambda_м$. С учетом выполненной коррекции формулы Р. Планка достоверность получаемых результатов стала близка к реальной длительности замораживания $\tau_р = \tau_{экс} \pm 10\%$, где $\tau_р$ — расчетная длительность замораживания, с; $\tau_{экс}$ — длительность замораживания, полученная в эксперименте, с.

Полученные решения относительно длительности замораживания тела в виде пластины и цилиндра не учитывают конечные размеры продукта и то, что он, как правило, охлаждается со всех сторон. Поэтому на практике чаще прибегают к видоизмененной формуле Р. Планка для условий обтекания ее потоком воздуха параллельно двум основным плоскостям:

$$\tau = \frac{(i_н - i_{ск})\cdot\rho}{t_н - t_с}\cdot\left(K\frac{\delta}{\lambda_м} + P\frac{1}{\alpha}\right), \qquad (4.23)$$

где

$i_н$, $i_{ск}$ — теплосодержания продуктов при температуре начальной и средней конечной ($t_н$, $t_{ск}$), Дж/кг;

ρ — плотность замороженного продукта, кг/м^3;

$\delta = 2 \cdot R$ — полная толщина продукта, м;

K, P — коэффициенты, зависящие от формы и относительных размеров продукта. Для тела, форма которого подобна бесконечной плоскопараллельной пластине толщиной δ, при одностороннем теплоотводе $K = 0{,}5$, $P = 1$. При двустороннем теплоотводе $K = 0{,}125$, $P = 0{,}5$.

Для прямоугольной плиты неограниченной длины шириной b и толщиной δ при теплоотводе от четырех граней и $\beta = b/\delta$ P и K получают из табл. 4.1 и 4.2 приложения.

4.5.2. Методы интенсификации замораживания

Основная задача любого технологического процесса состоит в сохранении исходного качества продукта, свойственного ему, например, до замораживания. Технологическая обратимость замораживания определяется интенсивностью выполнения процесса, которая предполагает уменьшение длительности замораживания. Это достигается изменением следующих параметров (см. выражение 4.23): понижением температуры теплоотводящей среды, уменьшением геометрических размеров продукта и увеличением коэффициента теплоотдачи от поверхности продукта к теплоотводящей среде.

Каждый из перечисленных параметров может быть изменен в определенных ограниченных рамках.

Технико-экономические расчеты свидетельствуют, что при использовании холодильных машин применение для замораживания продуктов температуры воздуха ниже −40...−35 °С энергетически не целесообразно. Это условие относится в основном к промышленным методам замораживания продуктов. Однако в отдельных случаях, например для замораживания мяса тунца при его последующем потреблении в сыром виде, возможно применение температуры воздуха до −50 °С.

Уменьшение размеров продуктов ограничено технологическими требованиями, т. е. в ряде случаев по технологическим соображениям продукт не целесообразно разрезать на части меньшего размера.

Увеличение коэффициента теплоотдачи от поверхности продукта путем увеличения скорости движения воздуха ограничено скоростями 5–7 м/с. Большие скорости энергетически невыгодны и технически труднореализуемы, прежде всего в специализированном холодильном оборудовании, применяемом в общественном питании и торговле.

Наиболее эффективный путь увеличения коэффициента теплоотдачи состоит в замене воздуха жидкой или твердой теплоотводящей средами.

В качестве жидких теплоотводящих сред чаще всего используют криогенные жидкости (хладоны, жидкий азот, рассолы). Применение жидких теплоотводящих сред, интенсифицируя процесс замораживания, одновременно порождает технические и технологические проблемы. Например, замораживание в жидком азоте предполагает разработку последовательного замораживания продукта вначале в парах азота и только затем погружением его в жидкость или орошением продукта этой жидкостью. В противном случае возможно разрушение продукта от внутренних напряжений.

Скорость замораживания, выраженная как линейная скорость движения границы раздела фаз, составляет:

$$\frac{dr}{d\tau} = \frac{q_з \cdot \rho \cdot (t_{кр} - t_c)}{\left(\frac{r}{\lambda_м} + \frac{1}{\alpha}\right)}, \text{ м/с.} \qquad (4.24)$$

Анализ данных, полученных на основе выражения (4.24), позволяет установить, что при увеличении коэффициента теплоотдачи на малом удалении от поверхности продукта скорость замораживания велика. При увеличении толщины слоя продукта от поверхности скорость замораживания существенно падает.

Для сокращения длительности замораживания сравнительно с другими методами интенсификации процесса уменьшение толщины продукта обеспечивает больший эффект, чем остальные отмеченные методы.

Замораживание продуктов в контакте с твердой теплоотводящей поверхностью предполагает применение двустороннего теплоотвода. Выполнение этого условия ограничено свойствами продукта и возможностью сжатия продукта поверхностями теплообмена. Этот метод широко используют для замораживания рыбы в блоках в плиточных скороморозильных аппаратах.

4.6. Подмораживание продуктов

Подмораживание, или, по терминологии автора метода профессора Н. А. Головкина, переохлаждение, как технологический прием, позволяющий удлинить срок холодильного хранения продукта, базируется на представлении о возможности частичного замораживания продукта без существенных нарушений его структуры и свойств.

Применительно к продуктам растительного происхождения метод опирается на природные явления, связанные с подготовкой растений к наступлению холодов. Это комплексный процесс, связанный прежде всего с перераспределением клеточной и межклеточной влаги, накоплением сахаров и глицеридов и т. д. Вследствие чего растения в природных условиях после замораживания способны адаптироваться к замораживанию и весной восстанавливать биологическую активность.

Теоретически выполнение процесса подмораживания не должно вызывать трудностей. Однако на практике весьма сложно выполнить технологические требования к подмораживанию продуктов, особенно в том случае, если подмораживанию подвергается большая масса продуктов.

Главным и определяющим требованием процесса, в первую очередь применительно к растительным продуктам, состоит в том, чтобы скорость понижения температуры вблизи криоскопической температуры составляла не более 0,2 °С/ч.

Существуют два метода, которыми пользуются для подмораживания продуктов.

Первый метод подмораживания состоит в том, что продукт помещают в камеру, в которой температура воздуха составляет –3 °С. Температура продукта постепенно понижается до температуры воздуха холодильной камеры. Этим методом подмораживают птицу и рыбу.

В реальной практике обработки растительных продуктов метод практически не используют.

Второй метод состоит в подмораживании тонкого слоя продукта в скороморозильном аппарате, после чего продукт перемещается в холодильную камеру с температурой –3...–2 °С, где происходит перераспределение температуры в объеме продукта.

Оба эти метода, несмотря на теоретическую привлекательность, практически не находят широкого применения в силу определенных технических трудностей и отсутствия точного инструментального контроля процесса.

4.7. Технические средства замораживания продуктов

Для интенсификации процесса замораживания в практике холодильной обработки продуктов используют холодильное оборудование, имеющее общее название — аппараты для замораживания продуктов.

Аппараты для замораживания продуктов подразделяют на воздушные, аппараты для бесконтактного замораживания в жидких средах и в контакте с твердой теплоотводящей средой и аппараты для контактного замораживания.

К воздушным скороморозильным аппаратам относят тележечные, конвейерные, гравитационные, флюидизационные аппараты.

В тележечном аппарате (рис. 4.13) перемещение тележек обеспечивается цепной передачей. Загрузка и выгрузка осуществляются одновременно. Шаг транспортера равен размеру одной тележки.

В верхней части аппарата установлены 4 вентилятора, периодически изменяющие направление движения воздуха. Достоинство аппарата — простота, недостаток — металлоемкость.

При создании конвейерного скороморозильного аппарата преследуется цель сокращения его длины, что позволяет разместить его в поме-

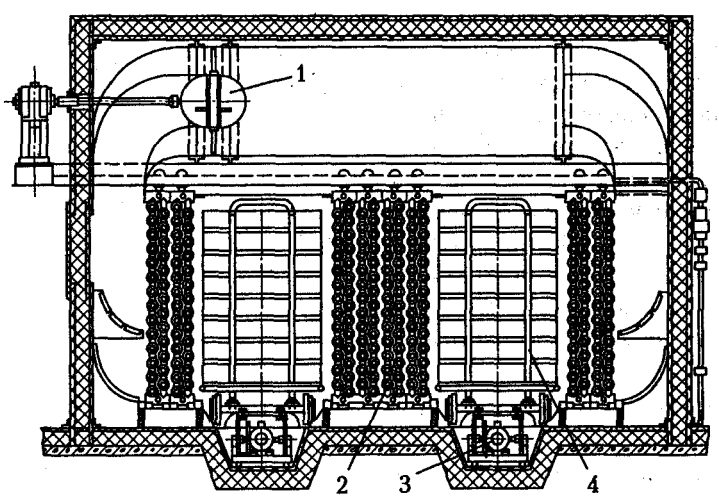


Рис. 4.13
Тележечный скороморозильный аппарат
с механическим перемещением тележек

1— вентилятор аппарата, 2— батареи испарителя,
3 — транспортирующее устройство, 4 — передвижной стеллаж

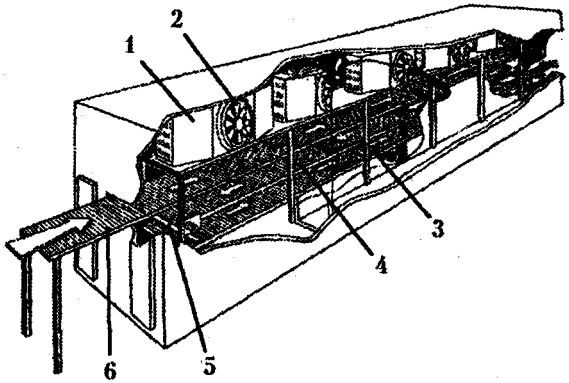


Рис. 4.14
Конвейерный скороморозильный аппарат
1 — воздухоохладитель, 2 — вентилятор, 3 — нижний конвейер, 4 — средний конвейер, 5 — желоб, 6 — верхний конвейер

щение ограниченного размера. Это достигается увеличением высоты аппарата, что одновременно порождает другие проблемы. Они касаются решения способа загрузки в аппарат продукта и его выгрузки. Кроме того, есть проблемы со способом перемещения продукта с одного транспортера на другой. В ряде случаев продукт самостоятельно сбрасывается с одного транспортера на другой. Простейшим аппаратом подобного типа является конвейерный скороморозильный аппарат, представленный на рис. 4.14.

В скороморозильном аппарате типа «Гирофриз» продукт перемещается по транспортеру, который прикреплен к барабану. Барабан приводится в движение от электрического или от гидравлического привода. Это позволяет изменять скорость вращения барабана и скорость движения ленты транспортера, изменять длительность пребывания продукта в аппарате и тем самым конечную температуру замороженного продукта (при неизменной температуре воздуха в аппарате). Холодный воздух равномерно проходит через ярусы, обеспечивая эффективный теплоотвод от замораживаемого продукта.

Скороморозильный аппарат (рис. 4.15) оборудован устройством для мойки и сушки ленты транспортера.

В гравитационных аппаратах движение продукта осуществляется последовательно с верхнего уровня на нижний уровень. Вместо традиционного транспортера реализован принцип единовременного перемещения специальным устройством (гребенкой) всех противней, рас-

соложенных на направляющих, вначале в одну сторону, затем в другую. Аппараты этого типа оригинальны конструктивно, но чрезвычайно требовательны к качеству изготовления и обслуживания.

Во флюидизационных аппаратах используется эффект замораживания продуктов во взвешенном состоянии. В промышленных условиях широкое применение находят аппараты, в которых продукт, подаваемый через бункер, находится во взвешенном состоянии над перфорированным поддоном. Благодаря организации потока воздуха продукт непрерывно перемещается к разгрузочному окну и далее на расфасовку и упаковку. Аппараты этого типа в основном используют для замораживания растительных продуктов — зеленого горошка, клубники, малины и т. д. Аппараты энергоемки, и вследствие этого их применяют преимущественно на крупных специализированных сельскохозяйственных предприятиях.

К аппаратам бесконтактного замораживания продуктов относят плиточные и аппараты для замораживания продуктов в жидких хладоносителях.

Аппараты бесконтактного замораживания предназначены для замораживания продуктов в виде блоков и мелкоштучных товаров как

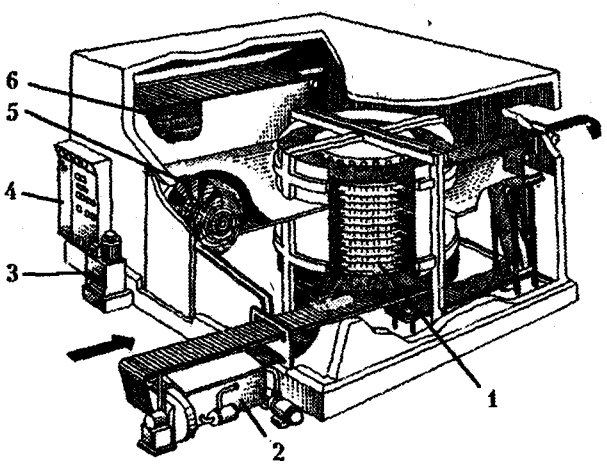


Рис. 4.15
Скороморозильный аппарат типа «Гирофриз»
1 — барабан, 2 — устройство для мойки ленты, 3 — преобразователь частоты, 4 — распределительный щит, 5 — вентилятор, 6 — воздухоохладитель

Рис. 4.16
Холодильный шкаф для замораживания продуктов AF2L

имеющих упаковку, так и не имеющих ее. Аппараты этого типа вследствие эффективной теплоотдачи от поверхности продукта позволяют уменьшить длительность замораживания. Плиты (испарители) с хладоносителем или с кипящим холодильным агентом прижимаются к продукту, что обеспечивает его формовку и подпрессовку. Плиточные аппараты интенсивны, компактны, экономичны. Недостаток аппарата состоит в том, что замораживать можно только ограниченный ассортимент продуктов.

В контактных скороморозильных аппаратах обеспечивается *непосредственный контакт теплоотводящей среды с поверхностью продукта.* В качестве теплоотводящей среды чаще всего используют жидкий азот, углекислоту, раствор хлористого натрия.

Жидкий азот в многосекционных скороморозильных аппаратах используют на второй или третьей стадиях замораживания продукта. В аппарате продукт вначале подмораживается в парах азота, и только затем он может быть орошен жидким азотом или в него погружен. При нарушении этой технологии, т. е. при погружении продукта в жидкий азот без его предварительного подмораживания, в продукте возникают внутренние напряжения, при которых продукт разрывается на части.

Достоинство аппаратов этого типа состоит в высокой интенсивности замораживания, компактности и простоте. Недостаток аппарата об-

условлен тем, что он работает в условиях разомкнутого холодильного цикла. Температура паров азота, выходящих из аппарата, составляет –40...–30 °С, что предполагает целесообразность последующего использования паров для целей холодильной обработки продуктов, например для их холодильного хранения.

Аппараты контактного замораживания включают криогенные, углекислотные, хладоновые, аппараты для замораживания в хладоносителях. Аппараты этого типа существенно не отличаются от рассмотренных ранее. В этих аппаратах продукты замораживают без упаковки, что накладывает определенный отпечаток на технические особенности конструкции. Например, при замораживании пельменей транспортерная лента, на которой осуществляется штамповка, должна иметь полимерное покрытие, которое препятствовало бы примерзанию пельменей к ленте транспортера. При отсутствии этого покрытия прибегают к установке ножа, который срезает с транспортерной ленты подмороженные пельмени.

Замораживание продуктов в солевом растворе предполагает решение целого ряда технических проблем. В частности, появляется необходимость в строгом контроле над неизменностью концентрации солевого раствора. Это необходимо для того, чтобы раствор не разбавлялся влагой и не происходило его подмерзание при прохождении через испаритель.

Несмотря на отмеченные ограничения в части применения рассольных аппаратов, они продолжают совершенствоваться и применяться не только для замораживания традиционной продукции — рыбы, но и овощей.

При замораживании в растворе поваренной соли сладкого перца установлено, что витамин С — наиболее яркий технологический показатель качества продукта — сохранялся на протяжении 9 мес. холодильного хранения. Его количество в продукте после 9 мес. хранения сравнительно с замораживанием перца в воздухе было больше на 9%.

При замораживании плодов небольшого размера — вишни, черешни — поваренная соль практически в плоды не проникает.

Замораживание в растворе поваренной соли энергетически выгодно и эффективно. В ряде случаев, например при замораживании пельменей, его эффективность неоспорима.

Представленные скороморозильные аппараты для замораживания продуктов применяют преимущественно в том случае, когда представляется целесообразным обеспечить поточное производство большого количества замороженной продукции, например на специализирован-

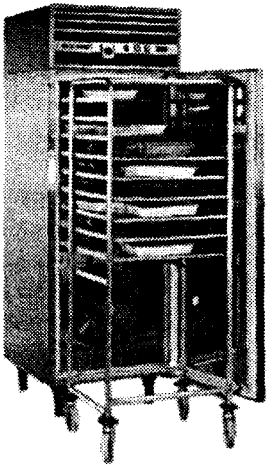


Рис. 4.17
Холодильный шкаф CRR 50WGL

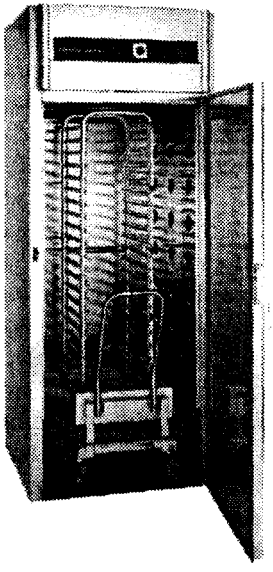


Рис. 4.18
Холодильный шкаф с загрузкой продуктов в функциональные емкости на стеллаже

ных комбинатах при замораживании пельменей, кулинарно подготовленной и другой продукции.

На предприятиях общественного питания находят применение преимущественно аппараты шкафного и камерного типа. Как правило, это аппараты периодического типа. Производительность аппаратов определяется их емкостью и температурным режимом.

В шкафы небольшого объема продукты помещают индивидуально, выкладывая их на каждую полку (рис. 4.16).

Более удобным способом является перемещение продукта в функциональной емкости (ФЕ) с передвижного стеллажа на полки шкафа (высота полок стеллажа и шкафа одинаковы) (рис. 4.17).

Наиболее технологически рациональным способом является размещение в холодильном шкафу всего стеллажа с ФЕ (рис. 4.18).

Производительность шкафов для замораживания продуктов относительно невысока и составляет не более 25 кг/ч. Поэтому потребности производства в большей производительности удовлетворяют установкой одного, двух или более шкафов.

Контрольные вопросы:

1. Каков механизм образования кристаллов льда?
2. Чем обусловлено изменение тканевой структуры при замораживании?
3. От чего зависит количество вымороженной воды?
4. Как изменяются теплофизические характеристики при замораживании продукта?
5. Какие допущения принимаются при выводе формулы Р. Планка?
6. Как соотносятся длительности замораживания тел простой стереометрической формы?
7. Какими методами возможна интенсификация замораживания?
8. Какие технические средства используются для замораживания продуктов?
9. В чем состоит специфика замораживания продуктов на предприятиях общественного питания и торговли?

Глава 5
ХОЛОДИЛЬНОЕ ХРАНЕНИЕ ПРОДУКТОВ

Цель холодильного хранения состоит в обеспечении неизменности свойств продуктов в течение технологически заданного времени. В холодильной технологии процесс хранения рассматривают как основной технологический процесс. Все предшествующие методы холодильной обработки продуктов имеют целью лишь подготовить продукт к последующему краткосрочному или длительному холодильному хранению.

При краткосрочном хранении продукт в основном хранится при близкриоскопической температуре.

Длительное холодильное хранение обеспечивается его предварительным замораживанием.

В холодильниках торговых предприятий продукт в замороженном состоянии хранится относительно недолго. При этих условиях допустимая температура хранения составляет –18...–12 °С, рекомендуемая составляет –24 °С или ниже. В холодильниках торговых баз и складов нижний предел хранения продуктов не ограничен. Оптимальной температурой хранения, при которой практически не обнаруживается изменение качества продуктов в течение установленного срока хранения, является –35 °С.

Продолжительность холодильного хранения зависит от вида продукта, его состояния на момент хранения. Для скоропортящихся продуктов максимальный срок хранения в холодильниках предприятий торговли и общественного питания обычно не превышает 7–10 сут. (например, зрелых томатов) и 6–8 мес. для более стойких продуктов (например, лука, копченого мяса).

Рекомендации по холодильному хранению скоропортящихся продуктов на холодильниках предприятий торговли и общественного питания и рекомендуемые режимы и продолжительность холодильного хранения некоторых плодов и овощей отражены в табл. 5.1 и 5.3 приложения.

5.1. Условия и сроки хранения отдельных видов продуктов

5.1.1. Хранение продуктов животного происхождения

Охлажденное мясо с температурой в толще бедра 0...+4 °С хранят в подвешенном состоянии при скорости движения воздуха 0,2–0,3 м/с. Подмороженное мясо с температурой по объему –2...–1 °С хранят в подвешенном состоянии.

При хранении охлажденного мяса в виде полутуш, четвертин продолжается процесс автолитических изменений, называемых созреванием. При 0 °С длительность созревания мяса составляет 8–10 сут., при 10 °С — 5 сут., при 17 °С — 3 сут.

Замороженное мясо хранят в штабелях или стоечных поддонах. Норма загрузки грузового объема камеры мороженым мясом составляет 350 кг/м^3.

Температура воздуха в камере хранения замороженного мяса должна быть не выше –18 °С при относительной влажности 95–98%. Рекомендуемой температурой является –24 °С и ниже. Скорость движения воздуха — 0,2–0,3 м/с.

Многообразие продуктов определяют различия в рекомендациях по их холодильному хранению. Однако из многообразия параметров, определяющих условия хранения, на практике выделяют лишь температуру, относительную влажность и скорость движения воздуха. Причем в холодильных камерах в основном устанавливают только два параметра — температуру и скорость движения воздуха. Регулируемым же параметром является в основном температура. Относительная влажность является самоустанавливающимся параметром, поэтому все рекомендации относительно поддержания ее в желаемых пределах являются лишь отражением условий, при которых эта величина самостоятельно устанавливается в охлаждаемом объеме.

Величина относительной влажности является результатом совокупного воздействия многих факторов, влияющих на ее установление: свойств продукта, наличия упаковки, размеров камеры, типа охлаждающего устройства, температурного режима хранения и т. д.

Температура хранения большинства охлажденных продуктов лежит в интервале температур –2...+2 °С. При более высоких температурах хранят некоторые растительные продукты (помидоры, дыни и т. д.), при более низких температурах — более лабильные продукты, содержащие жиры.

Охлажденное мясо хранят при температуре –1...0 °С, скорости движения воздуха 0,1–0,2 м/с и относительной влажности 85–90%.

Полутуши размещают в камерах в подвешенном состоянии на подвесных путях. Поскольку поверхность мяса не влагоизолирована, оно, как любое капиллярно-пористое тело с влажной поверхностью, будет испарять влагу в окружающую среду. Испарение тем большее, чем больше разность влагосодержаний воздуха вблизи поверхности и в воздухе камеры и чем интенсивнее он движется вблизи поверхности продукта. Поэтому с целью сокращения усушки в камерах хранения мяса применяют конвективное движение воздуха.

Сроки хранения охлажденного мяса зависят от времени года, состояния животного перед убоем, упитанности, а также санитарно-гигиенического состояния туши, камер холодильной обработки и хранения и т. д.

Эффективно хранение мяса в герметичной упаковке в атмосфере углекислого газа с небольшим избыточным давлением при температуре 1 °С и длительностью до нескольких недель. Хранение мяса в газовой атмосфере исключает изменение цвета.

Применение модифицированной газовой среды (20% CO_2 и 80% O_2) при хранении говяжьего фарша задерживает развитие анаэробной микрофлоры и увеличивает длительность его хранения до 4 сут. при температуре 2 °С, при 0 °С — до 8 сут.

Переохлажденное мясо с температурой по всему объему туш и полутуш –2...–1 °С хранят в подвешенном виде. Допустимые сроки хранения охлажденного мяса на воздухе с температурой –1,5...0 °С в зависимости от вида и состояния мяса составляет 7–12 сут., переохлажденного — до 17 сут.

Срок хранения мяса можно увеличить, понижая температуры хранения (до –2 °С). Однако применение близкриоскопической температуры при хранении мяса требует применения надежных технических средств контроля этой температуры.

Субпродукты в охлажденном виде можно хранить не более 3 сут. Для увеличения длительности хранения субпродуктов их замораживают. Режимы хранения замороженных субпродуктов аналогичны температурному режиму хранения замороженного мяса.

Охлажденную птицу хранят в ящиках, уложенных в штабели с промежутками между тарой для осуществления свободного движения воздуха, который должен быть не менее 4–6 объемов в час. Температура хранения 0...+4 °С, относительная влажность 80–85%. Срок хранения битой птицы при этих условиях составляет 4–5 сут.

Мороженую птицу хранят в течение нескольких месяцев. Предельные сроки хранения мороженой птицы при влажности 85–90% составляют: не упакованных тушек цыплят, кур, индеек при температуре воздуха –25 °С — 11 мес., упакованных — до 14 мес. Предельные сроки хранения неупакованных гусей, уток при температуре воздуха –25 °С составляют 11 мес., упакованных — до 12 мес.

Сроки хранения продуктов в зависимости от температуры отражены в табл. 5.2 приложения.

Охлажденную рыбу хранят в ящиках со льдом. Срок хранения составляет не более суток. В холодильных камерах при температуре –2...0 °С и влажности 90–95% — не более 2 сут. Слабосоленую рыбу, пряную и маринованную хранят до 10 сут. в заливных бочках при температуре –1...+1 °С, рыбу холодного копчения, вяленые балычные изделия при влажности воздуха 75–80% и температуре –2...0 °С — до 7 сут., при 0...+4 °С — до 4 сут.

Рыбные консервы натуральные хранят при температуре 0...+10 °С в течение 6–24 мес. соответственно; рыбные консервы в масле хранят при температуре 0...+20 °С в течение 12–24 мес. соответственно; рыбные консервы в томатном соусе хранят при температуре 0...+5 °С в течение 6–18 мес. соответственно.

Рыбные пресервы хранят при температуре –1...+1 °С и влажности 70–75% в течение 10 сут., при температуре +4...+6 °С — в течение 3 сут.

Сроки хранения мороженой рыбы существенно зависят от ее индивидуальных свойств, состояния, способа разделки и способа замораживания.

Рыбу преимущественно морских пород (до 85% от всех видов выловленной рыбы) разделывают и замораживают на промысловых судах. Как правило, вследствие больших единовременных траловых выловов при ограниченной производительности морозильных аппаратов рыбу предварительно охлаждают льдом. Наиболее простой путь решения проблемы сохранности улова — замораживание рыбы без ее предварительной разделки. Недостаток метода состоит в том, что в последующем рыба на рыбоперерабатывающем комбинате размораживается, потрошится и часть ее вновь повторно замораживается. Вместе с тем, по данным Международного института холода (МИХ), повторное замораживание рыбы существенно не ухудшает ее качества.

В замороженном состоянии рыба обладает пониженной сохранностью. Изменение ее свойств определяются прогорканием жиров и денатурационными изменениями белков. При прогоркании рыбы наблю-

дается ухудшение ее аромата и вкуса. Кроме того, разрушается тканевая структура, изменяется консистенция рыбы.

Увеличение длительности хранения замороженной рыбы достигается применением разнообразных способов ее обработки, например глазированием рыбы (нанесением льда на поверхности продукта), нанесением на поверхности рыбы пленки из термопластичных восков, упаковкой рыбы под вакуумом и т. д. Последний способ позволяет увеличить срок хранения на 3–4 мес.

Яйца хранят преимущественно в картонных коробках при температуре –2...0 °С и относительной влажности воздуха 85%. Хранение яиц при температуре –2 °С позволяет обеспечить их сохранность до 6 мес.

Принципиально возможны понижение температуры хранения яиц до –2,5 °С и хранение их в переохлажденном состоянии. Однако переохлажденное состояние является неустойчивым. При отсутствии надлежащего температурного контроля яйца могут быть подморожены.

Яичные продукты хранят в замороженном состоянии, упакованными в тару, препятствующую доступу кислорода к поверхности продукта (металлические банки, картонные коробки со вкладышами из полиэтиленовой пленки или ламинатов). Температура хранения составляет –25...–12 °С. Соответственно длительность холодильного хранения составляет от 8 до 15 мес.

Животные топленые жиры (говяжий, бараний, свиной) хранят в деревянных бочках и ящиках при температуре 0...+6 °С не более месяца, в герметичных металлических и стеклянных банках — до 18 мес.

Условия и сроки хранения сливочного масла определяются его видом и способом выработки и температурным режимом.

Срок хранения большинства сортов сливочного масла существенно не зависит от температуры. Средний срок холодильного хранения крестьянского масла составляет от 1 до 3 мес., в частности масла кислосливочного — до 6 мес.

5.1.2. Хранение плодов и овощей

Температурно-влажностный режим хранения плодов и овощей ограничен интервалом температур –3...+5 °С и относительной влажностью 85–95% (табл. 5.3 приложения). Однако это ограничение сугубо качественное, не отражающее индивидуальных условий хранения плодов и овощей. Например, большинство сортов яблок европейского происхождения целесообразно хранить при 4–5 °С, так как более низкая температура для них вредна. Американские сорта яблок лучше хранятся при 0 °С.

Широко известный сорт «джонатан» при 0 °С заболевает внутренним побурением мякоти; «кокс оранжевый» сохраняется до 4 мес. при +4 °С, «макинтош» — при +5 °С, а для хранения яблок сорта «ричард» необходима стабильная температура 0 °С.

Аналогичная картина наблюдается при хранении груш. Груши сорта Вильямс рекомендуется хранить способом ступенчатого охлаждения, т. е. постепенным понижением температуры от 0 до −1,5 °С. Таким образом, режим хранения индивидуален для каждого продукта и, что особенно важно, он зависит от стабильности температуры в камере, исключающей ее колебания более ±5 °С и относительной влажности воздуха ±5%.

Холодильное хранение в регулируемой газовой среде

Широкое распространение находит холодильное хранение плодов в регулируемой газовой среде. Метод обладает достоинством, поскольку позволяет путем поддержания определенного газового состава среды регулировать происходящие в плодах физиологические и биохимические процессы и тем самым предупреждать преждевременное перезревание плодов и возникновение ряда физиологических изменений.

Хранение плодов осуществляют в холодильниках с газонепроницаемыми камерами, оснащенными специальным оборудованием для поддержания газового состава воздуха, заданной температуры и влажности.

В основе метода лежит хранение плодов в воздухе с индивидуальным составом газовой среды, в основном CO_2, O_2, N_2, индивидуальными для каждого вида продукта. Содержание углекислого газа принимают равным 10–15% концентрации, кислорода — не более 10%.

При хранении плодов в регулируемой газовой среде наиболее заметные результаты получены при хранении яблок и груш. В зависимости от сорта и состава газовой среды яблоки хранятся до 270–300 сут., груши — 150–200 сут. с сохранением внешнего вида и отвечают требованиям стандарта качества.

Менее устойчив при холодильном хранении в газовой среде виноград. Удовлетворительное хранение (до 9 мес.) винограда достигается при его хранении в среде SO_2.

Сравнительно с традиционными способами не установлено отличий в хранении лимонов в регулируемой газовой среде.

Апельсины и мандарины в регулируемой газовой среде сохраняют товарные качества не более 25–30 сут.

Метод хранения плодов «биологический вакуум»

Разновидностью методики создания регулируемой газовой среды, прежде всего применительно к хранению яблок и груш, является создание *биологического вакуума*. Суть метода состоит в том, что плоды помещают в герметичную полимерную пленку, где продолжается процесс дыхания плодов. Концентрация кислорода через 2–3 недели снижается до 2–7%. Концентрация CO_2 повышается до 8% по объему. Благодаря заданной проницаемости пленки внутри пакетов развивается отрицательное давление и создается так называемый биологический вакуум. Пленка плотно обтягивает продукт. За 270 дней хранения в условиях биологического вакуума и при температуре +1...+4 °С порчи продуктов практически нет.

Газовый состав внутри пакета определяется свойствами продукта и селективными свойствами пленки. Наилучшие результаты хранения обеспечивает полиэтиленовая пленка высокого давления толщиной 55–65 мкм и плотностью 60 г/м^2.

Недостаток метода «биологического вакуума» состоит в ограниченности его применения. В большинстве косточковых — в сливе, персиках, в черешне, вишне, хурме и т. д. — протекают окислительные процессы, которые делают практически невозможным хранение этих продуктов данным методом.

Метод «поливакстер» при холодильном хранении плодов

Экспериментальным, но привлекательным методом длительного хранения косточковых плодов является метод «поливакстер» (сочетание слов — полиэтилен, вакуум). Метод основан на активировании окислительных ферментов, активность которых при жизни плодов заметно уменьшается.

Технология хранения состоит в следующем. Плоды помещают в пакеты из пленки высокого давления. Из пакетов откачивается воздух до плотного облегания плодов пленкой. Пакеты завариваются, после чего прогреваются в воде при температуре +40...+42 °С для слив, +43...+45 °С для персиков и +45...+50 °С для субтропической хурмы. Длительность нагрева 15–20 мин. После прогрева фруктов они немедленно охлаждаются водой температурой +1...+5 °С и длительностью 15–25 мин. Пакеты хранят в холодильной камере при температуре +1...+5 °С.

Достоинство метода состоит в том, что этим методом можно хранить даже плоды, частично поврежденные болезнью.

Метод «поливакстер», как и «биовакуум», оказался неприемлемым для хранения ряда продуктов, в частности для хранения мандаринов, лимонов, апельсинов.

5.1.3. Влияние барометрического давления на условия холодильного хранения продуктов

Барометрическое давление как параметр, влияющий на длительность холодильного хранения продуктов, представляет интерес не только как составная часть ранее рассмотренных технологических процессов, но и как часть метода, обеспечивающего сохранность продуктов при их транспортировании в контейнерах.

Этот способ заключается в том, что продукты помещают в контейнер, куда подается увлажненный воздух (влажность до 95%) при пониженном давлении (частичный вакуум, который снижает в воздухе содержание кислорода на 0,1%). При этом удаляются летучие вещества, выделяемые продуктами (этилен, углекислый газ и др.), а также другие газы, которые при обычных условиях хранения и транспортировки удерживаются в продуктах. Предотвратить накапливание этих газов в обычных условиях практически трудно, так как для этого требуется эффективная вентиляция, которую невозможно осуществить, одновременно поддерживая низкую температуру в контейнере.

При пониженном давлении нет необходимости сильно охлаждать воздух, поступающий в контейнер. Из-за высокой относительной влажности воздуха улучшается газообмен и снижаются потери массы продукта.

Если продукт загружается в контейнер теплым, то он должен быть быстро охлажден. В условиях пониженного давления охлаждение ускоряется за счет быстрого испарения влаги.

Примером такого контейнера является контейнер «Дормавак». В нем нет поверхностей, на которых может конденсироваться влага из воздуха (как на поверхности воздухоохладителя при машинной системе охлаждения). Хладоноситель (гликоль) циркулирует в трубах, запрессованных в стенах контейнера. Тепловых мостиков почти нет, что позволяет сократить теплопритоки через ограждения. Вследствие высокой теплопроводности алюминиевые стенки имеют температуру, близкую к температуре гликоля, и, в свою очередь, температура воздуха в контейнере близка к температуре алюминиевых стенок.

Сравнительно с традиционными методами продолжительность транспортировки и последующего хранения продуктов в контейнере «Дормавак» значительно увеличилась. Например, длительность хранения

бананов в контейнере «Дормавак» возросла с 14 до 150 дней, огурцов — с 14 до 42 дней, лука зеленого — с 2 до 15 дней, салата — с 14 до 49 дней, томатов — с 12 до 35 дней и т. д.

При пониженном давлении хорошо сохраняются мясные продукты. Свинина, обычно имеющая срок хранения до 10 дней, при пониженном давлении хранится до 3 недель, говядина остается свежей в контейнерах «Дормавак» более 6 недель, не теряя цвета и без снижения массы.

Вакуумно-водяная система с помощью насоса удаляет из грузового пространства влажный воздух, при этом влага из него конденсируется, а воздух выпускается в атмосферу.

Система регулирования давления смешивает пар, получаемый в увлажнителе, с наружным отфильтрованным воздухом, и эту смесь подает в грузовое пространство. Эта система поддерживает в контейнере высокую относительную влажность и низкое давление (частичный вакуум), а также обеспечивает интенсивный воздухообмен в контейнере, удаляя газы, выделяемые продуктами.

Частичный вакуум в контейнере поддерживается с помощью вакуумного шибера, через который проходит наружный воздух, поступающий в контейнер, и который регулирует количество воздуха для создания в грузовом пространстве требуемого давления.

5.2. Усушка при холодильном хранении продуктов

Усушку нельзя рассматривать как простую потерю продуктами влаги. При усушке ухудшается качество продукта, так как в подсохшем поверхностном слое усиливаются окислительные и гидролитические процессы и этот слой в процессе хранения приобретает ненатуральные, несвежие вкус и запах.

Усушка при хранении имеет ту же физическую основу, что и при охлаждении продукта. Отличительной особенностью является длительность процесса.

Для описания величины усушки при охлаждении использовано выражение (3.31). Это выражение наглядно, но для практического пользования неудобно, поскольку в выражении (3.31) присутствует трудноопределяемая температура поверхности продукта ($t_п$). Установлено, что разность температур поверхности продукта и теплоотводящей среды пропорциональна психрометрической разности.

Коэффициент пропорциональности (H) зависит от скорости движения воздуха. В интервале скоростей от 0,2 до 3,0 м/с коэффициент

пропорциональности изменяется от 0,85 до 1,0. Учитывая то, что эта величина близка к единице, для оценки относительной величины усушки (g) замороженных продуктов приближенно можно считать:

$$g = \frac{\alpha \cdot F \cdot \tau}{G_{пр} \cdot L_{и}} \cdot H \cdot \frac{(100 - \varphi) \cdot (24 + t_c)}{480}, \qquad (5.1)$$

где

φ — относительная влажность воздуха;

t_c — температура воздуха в холодильной камере, °С.

Выражение (5.1) позволяет выделить основные параметры, влияющие на усушку. Это прежде всего теплоотдача от поверхности продукта, оцениваемая коэффициентом теплоотдачи. Коэффициент теплоотдачи пропорционален скорости движения воздуха в холодильной камере. С увеличением скорости движения воздуха возрастает усушка продукта, что предполагает применение технических средств и приемов, обеспечивающих ее уменьшение, например влагоизоляцию поверхности, применение систем конвективного охлаждения и т. д.

Усушка возрастает с увеличением площади поверхности продукта. Поэтому при хранении продуктов холодильную камеру следует загружать с достаточной полнотой. Это требование вытекает и из анализа отношения $F/G_{пр}$. Преобразование $F/G_{пр} \rightarrow F/V_{пр}$ дает основание утверждать, что с увеличением размеров штабеля с продуктом в холодильной камере отношение $F/V_{пр}$ уменьшается, т. е. уменьшается относительная площадь поверхности продукта, с которой возможно испарение влаги.

Увеличение относительной влажности воздуха в холодильной камере приводит к уменьшению усушки. При относительной влажности воздуха φ = 100% усушка равна 0.

Понижение температуры холодильного хранения уменьшает усушку. При температуре t_c = –24 °С усушка равна 0. Строго говоря, результаты холодильного хранения неупакованных замороженных продуктов свидетельствуют, что при температуре –24 °С усушка не равна 0. С уверенностью можно утверждать лишь то, что она к этому стремится. Усушка практически равна нулю при температуре холодильного хранения ниже –35 °С. Поэтому современная тенденция долгосрочного холодильного хранения продуктов с учетом практической целесообразности состоит в применении на холодильниках температуры хранения –35 °С и ниже.

Более простое представление о величинах, определяющих усушку, дает выражение (5.2):

$$g = \frac{Q}{G_{пр} \cdot L_и}, \quad (5.2)$$

где

Q — тепло, полученное поверхностью продукта, Дж;

$L_и$ — удельная теплота испарения или сублимации, Дж/кг.

Из выражения (5.2) следует, что величина усушки определяется количеством тепла, достигающего поверхности продукта Q, Вт.

Технические средства уменьшения усушки продукта при холодильном хранении

Тепло Q, достигающее поверхности продукта, является суммой теплопритоков в холодильную камеру. Это теплоприток через наружные ограждения (через теплоизоляцию $Q_н$, теплоприток от воздуха, поступающего в камеру как через двери, так и при вентилировании камер хранения растительной продукции $Q_в$, теплопритоков от продуктов, имеющих температуру выше температуры воздуха холодильной камеры $Q_п$, и все остальные виды менее значимых теплопритоков, называемых эксплуатационными теплопритоками $Q_э$).

Величину теплопритока через наружные ограждения можно оценить из выражения (5.3):

$$Q_и = k \cdot F \cdot (t_{вн} - t_{вк}), \quad (5.3)$$

где

k — коэффициент теплопередачи плоской стенки, Вт/(м² · К);

F — площадь поверхности ограждения, м²;

$t_{вн}$, $t_{вк}$ — температура воздуха снаружи и внутри холодильной камеры, °С.

Коэффициент теплопередачи плоской стенки выражают соотношением (5.4):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \sum\left(\frac{\delta_{стр}}{\lambda_{стр}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}\right) + \frac{1}{\alpha_{вк}}}, \quad (5.4)$$

где

$\alpha_{вн}$, $\alpha_{вк}$ — коэффициенты теплоотдачи по обе стороны стенки холодильной камеры, Вт/(м² · К);

$\delta_{стр}$ — толщина каждого из элементов строительной конструкции стены, м;

$\lambda_{стр}$ — теплопроводность каждого из элементов строительной конструкции стены, Вт/(м · К);

$\delta_{из}$ — толщина теплоизоляции холодильной камеры, м;

$\lambda_{из}$ — теплопроводность материала теплоизоляции, Вт/(м · К).

Величины $\alpha_{вн}$, $\alpha_{вк}$ определяются скоростью движения воздуха. Полагаем, что эти величины неизменны и ими для упрощения логики анализа можно пренебречь.

Если принять постоянной отношение $\delta_{стр}/\lambda_{стр}$, то величина коэффициента теплопередачи будет определяться теплопроводностью теплоизоляции $\lambda_{из}$ и ее толщиной $\delta_{из}$.

Таким образом, если допустить, что все тепло, проникающее через теплоизоляцию, достигает поверхности продукта, то уменьшить усушку можно посредством установки более совершенной теплоизоляции. Это может быть достигнуто установкой теплоизоляции, имеющей малую величину теплопроводности материала, из которого она изготовлена, или посредством теплоизолирующих систем, обеспечивающих погашение теплопритоков.

Такие системы могут быть выполнены в виде «защитной рубашки» с конвективным (рис. 5.1) или принудительным движением в них воздуха (рис. 5.2).

Погашение теплопритока возможно посредством так называемых панельных систем (рис. 5.3).

Строительно-изоляционная конструкция с защитной рубашкой применяется преимущественно на больших холодильниках.

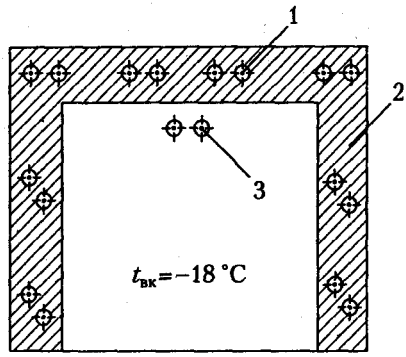


Рис. 5.1
Холодильная камера с теплозащитной рубашкой
1 — батареи с холодильным агентом, 2 — теплозащитная рубашка, 3 — батареи внутри камеры

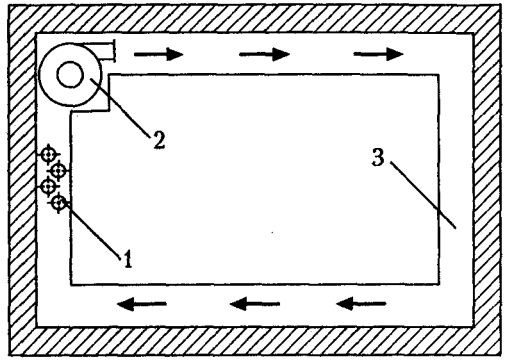


Рис. 5.2
Теплозащитная рубашка с вентилятором
1 — воздухоохладитель, 2 — вентилятор,
3 — воздушный канал

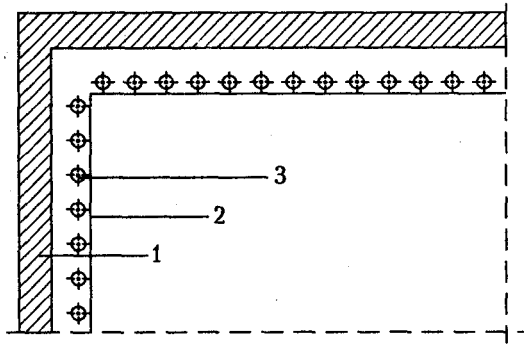


Рис. 5.3
Панельная система охлаждения
1 — теплоизоляция камеры, 2 — металлический лист,
3 — батареи с холодильным агентом

Системе с защитной рубашкой присущи достоинства и недостатки. Достоинство системы — ее простота и способность к погашению теплопритоков. Недостатки состоят в неудобствах, вызванных удалением инея с поверхности батарей, неравномерным распределением температуры по объему продуха, т. е. пространства между стенами. Кроме того, не всегда удается обеспечить равенство температур в продухе и в холодильной камере. С тем чтобы иметь возможность погашать теп-

лопритоки внутри камер, в них приходится устанавливать дополнительные батареи (рис. 5.1, поз. 3).

В холодильных камерах с принудительным движением воздуха приходится решать проблему организации равномерного распределения потоков воздуха по всему объему канала, т. е. распределять воздух таким образом, чтобы он омывал всю площадь поверхности каналов. Кроме того, при расположении воздухоохладителя внутри канала появляются трудности в контроле состояния воздухоохладителя и при необходимости его ремонте.

Профессор С. Г. Чуклин предложил панельную систему охлаждения, выполняющую функцию гасящего теплового экрана. Достоинствами такой системы являются простота и надежность.

Система представляет контур, выполненный из металлического листа к которому приварены трубы (рис. 5.3). В трубах может циркулировать хладоноситель или холодильный агент. Тепловой поток, проникающий через ограждение, гасится на поверхности металлического листа — испарителя холодильной машины. Наряду с погашением теплопритоков испаритель подобного типа с гипертрофированно развитой поверхностью теплообмена обеспечивает стабильную температуру воздуха в холодильной камере.

Достоинство этой системы состоит еще и в том, что она позволяет существенно уменьшить разность температур между температурами воздуха в камере и температурой теплоотводящей среды.

Если тепло, подводимое к продукту и определяющее величину его усушки, принять равным теплу, отводимому испарителем, то эту величину можно представить выражением (5.5):

$$Q_o = k_o \cdot F_o \cdot (t_{вк} - t_o), \qquad (5.5)$$

где t_o — температура кипения холодильного агента или температура хладоносителя.

Выражение (5.5) соответствует количеству тепла, отводимому плоской поверхностью металлического листа испарителя.

Разность температур $(t_{вк} - t_o) \rightarrow 0$. При этих условиях испаритель должен иметь развитую поверхность, поскольку при конвективных условиях теплоотвода коэффициент теплопередачи испарителя невелик, $k_o = 4–6$ Вт/(м^2 · К).

Уменьшение разности температур $t_{вк} - t_o$ обеспечивает минимальную величину усушки, поскольку уменьшается потенциал влагопереноса — разность влагосодержаний вблизи поверхности продукта и в воздухе холодильной камеры.

Недостатком системы является металлоемкость. Система наиболее пригодна для длительного хранения замороженных продуктов, например для хранения государственного резерва мяса. Несмотря на то что уменьшение усушки превалирует над затратами по созданию системы, эта система находит свое своеобразное отражение в некоторых типах торгового холодильного оборудования, прежде всего в морозильных ларях.

5.3. Перекристаллизация льда (рекристаллизация) в тканях при холодильном хранении

При замораживании продуктов преследуется главная технологическая цель — сохранение исходных свойств продукта, иными словами, получение замороженного продукта высокого качества.

В основу любого из принятых методов замораживания положен принцип интенсификации процесса. При этих условиях тканевая влага замораживается в продукте без ее перераспределения по объему.

Наряду с другими методами результат замораживания обычно оценивают, рассматривая под микроскопом гистологические препараты замороженной ткани.

Стандартная гистологическая методика анализа результатов льдообразования состоит в том, что в замороженной ткани при температуре ткани спиртом или иным веществом растворяют кристаллы льда. Препараты окрашивают, и оставшиеся пустоты заполняют парафином. Таким образом, эффект льдообразования оценивается по величине и количеству пустот, которые рассматриваются как эквивалент кристаллов.

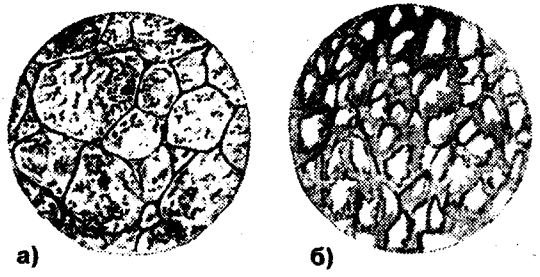


Рис. 5.4
Микрофотография поперечного среза рыбы, замороженной в жидком азоте и хранившейся при –30 °С
а) через 3,5 мес., б) через 14 мес.

На рис. 5.4 представлены поперечные срезы мышечной ткани после 3,5 и 14 мес. холодильного хранения при температуре –30 °С. На рисунке просматривается увеличение размера кристаллов при увеличении длительности хранения рыбы.

Изменение размеров кристаллов льда принято соотносить с различием упругости водяных паров над поверхностью кристаллов, имеющих малый и большой радиусы кривизны. Так как у поверхности кристаллов, имеющих небольшие размеры, упругость насыщения больше, то они постепенно растворяются, пар перемещается к поверхности крупных кристаллов и конденсируется на этих кристаллах.

Изменение размеров кристаллов может происходить на основе процесса режеляции (смерзания). Оно вызывается неравномерностью удельных давлений на различные части кристаллов, плавлением тех частей, где давление повышенное, и перемещением жидкости с последующим ее смерзанием в областях, характерных малым давлением. На этой основе отдельные кристаллы способны образовывать конгломераты, крупные слитки.

Рост кристаллов тем более ощутим, чем выше температура холодильного хранения продуктов и чем больше амплитуда колебаний температуры воздуха в охлаждаемом объеме и как следствие в объеме продукта.

Процесс растворения кристаллов обусловлен тем, что тканевый сок является многокомпонентной системой, в котором растворены компоненты, имеющие различные эвтектические температуры. При колебаниях температуры в продукте интенсифицируется процесс растворения мелких кристаллов. При повышении температуры они растворяются, при понижении температуры происходит намерзание влаги на поверхности больших кристаллов.

Рост кристаллов в процессе длительного хранения может быть обусловлен не только перераспределением тканевой влаги, но и биохимическими процессами при которых протекает денатурация белковых компонентов ткани с потерей связанной влаги. Оценка приращения количества вымороженной воды, выполненная на основе калориметрических исследований, подтверждает это мнение.

Таким образом, общее правило длительного хранения продуктов состоит в том, что продукт следует хранить при той температуре, при которой он замораживался, или по крайней мере достаточно низкой температуре, при которой процесс перекристаллизации не будет выражен. Колебания температуры в продукте в процессе хранения недопустимы.

Контрольные вопросы:

1. Каковы основные требования к холодильному хранению продуктов животного и растительного происхождения?
2. В чем состоит суть методов хранения, использующих эффект «биологического вакуума»?
3. Каково влияние барометрического давления на длительность холодильного хранения продуктов?
4. От чего зависит величина усушки при холодильном хранении продуктов?
5. Какими техническими средствами обеспечивается сохранность продукта?
6. От чего зависит перекристаллизация льда в продуктах при холодильном хранении и как перекристаллизация влияет на изменение качества продуктов?
7. Какие методы холодильного хранения продуктов широко используются в практике хранения продуктов в общественном питании и торговле?

Глава 6
ОТЕПЛЕНИЕ И РАЗМОРАЖИВАНИЕ ПРОДУКТОВ

6.1. Отепление продуктов

В технологическом плане отепление представляет собой процесс повышения температуры продукта в отсутствие влаговыпадения на его поверхности.

В осуществлении этого процесса нуждаются лишь отдельные продукты, такие, например, как яйца, фрукты, овощи.

Хотя значимость этого процесса несомненна, метод находит ограниченное применение в силу своей технической и технологической сложности.

Отепление проводят в специальных холодильных камерах с усиленной циркуляцией кондиционированного воздуха. Продукты в специализированной камере укладываются свободно, обеспечивая доступ воздуха к продукту.

Температуру воздуха в камере повышают постепенно. Процесс осуществляют таким образом, чтобы разность температур воздуха и продукта составляла 2–3 °С. Этот процесс должен контролироваться техническими средствами, обеспечивающими заданный темп прогрева продукта.

Относительная влажность поддерживается на уровне 80%, с тем чтобы продукт не увлажнялся и в то же время не высыхал.

Конечная температура продукта зависит от температуры и влажности наружного воздуха. При высокой влажности наружного воздуха продукт отепляют до температуры на 2–3 °С ниже температуры наружного воздуха. Если влажность наружного воздуха составляет 40–45%, то конечная температура продукта устанавливается ниже температуры наружного воздуха на 4–5 °С.

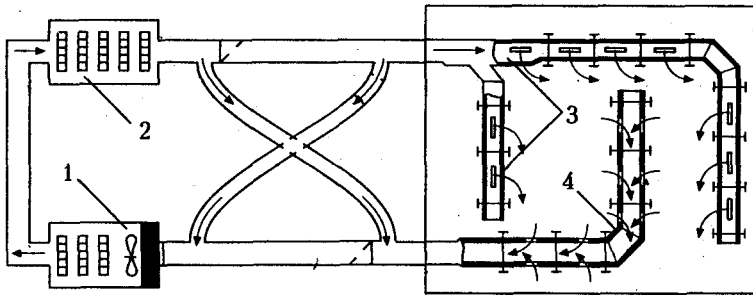


Рис. 6.1
Схема камеры отепления
1 — воздухоохладитель, 2 — калорифер, 3— нагнетательный канал, 4 — всасывающий канал

Длительность процесса отепления зависит от размеров продуктов, вида тары, теплофизических свойств продуктов, температуры, скорости движения воздуха и продолжается от 1 до 2 сут., что по технологическим меркам является чрезвычайно продолжительным процессом.

Для равномерного распределения воздуха в объеме камеры направление движения воздуха периодически изменяют.

Схема камеры отепления представлена на рис. 6.1.

Процесс отепления осуществляется следующим образом. Воздух из камеры отепления поступает в воздухоохладитель 1, где охлаждается и подсушивается, и далее направляется в калорифер 2, где нагревается при постоянном влагосодержании, и вновь поступает в камеру отепления. В камере воздух соприкасается с продуктом, нагревает его. При этом воздух охлаждается и увлажняется. При нагреве продукта воздухом тепло расходуется не только на нагрев продукта, но и на испарение влаги из поверхностного слоя продукта.

6.1.1. Оценка условий влаговыпадения на поверхности продукта

При отеплении продуктов регулируют состояние и движение воздуха, омывающего продукт. Температуру поверхности продукта постепенно повышают таким образом, чтобы разность температур между воздухом, поступающим к поверхности продукта, и поверхностью продукта составляла 20–25 °С. Это необходимо для того, чтобы обеспечить высокую скорость теплоподвода.

Отепление завершается при достижении поверхностью продукта температуры, при которой влаговыпадение было бы исключено.

В рекомендациях Международного института холода приведена номограмма (рис. 6.2), которая позволяет оценить параметры процесса, при которых будет отсутствовать поверхностная конденсация.

Вертикальные прямые на номограмме представляют собой линии постоянного влагосодержания воздуха. Они же соответствуют температурам поверхности продукта. Горизонтальные прямые — изотермы воздуха, а наклонные прямые — линии относительной влажности.

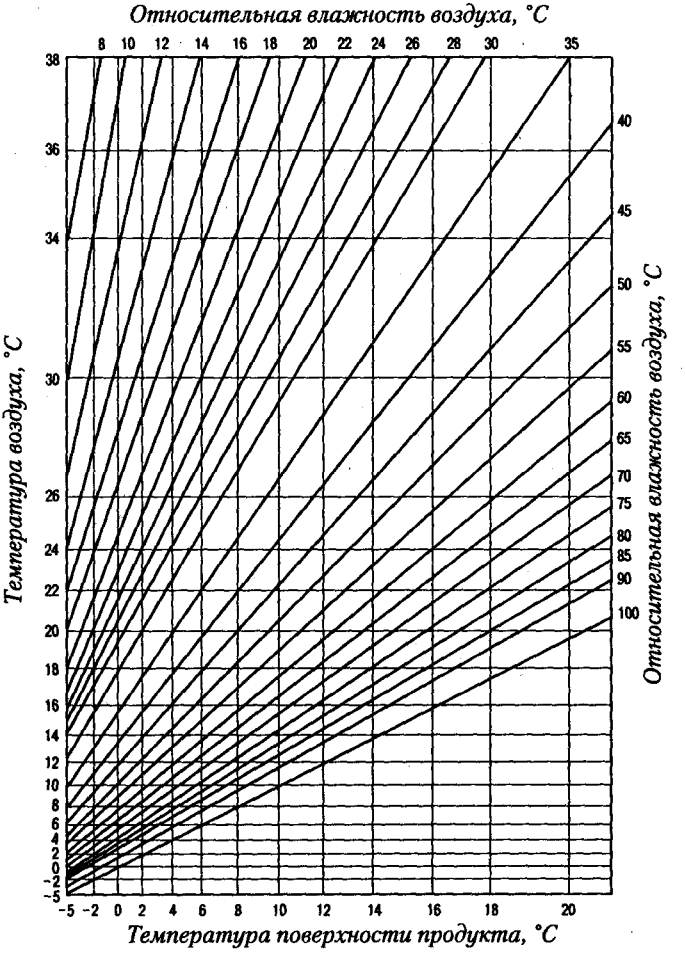


Рис. 6.2
Номограмма для определения возможной конденсации атмосферной влаги на поверхности продуктов

Пользоваться номограммой достаточно просто. Например, если продукт поместить в камеру с температурой 29 °С и относительной влажностью 35% или в помещение с температурой воздуха 20 °С и относительной влажностью 60%, то при температуре поверхности продукта 12 °С будет достигнута точка росы и на его поверхности произойдет конденсация атмосферной влаги. При меньшей влажности воздуха в помещении влаговыпадение не будет наблюдаться.

Несмотря на достоинства номограммы, на практике чаще прибегают к оценке влаговыпадения на поверхности продукта на основе i—d-диаграммы влажного воздуха (приложение, рис. 3.1).

Если состояние воздуха в помещении соответствует точке 1 (рис. 6.3), а процесс охлаждения воздуха на поверхности продукта отображается отрезком 1–2 (далее воздух охлаждается по линии насыщения — φ = = 100%), то при температуре поверхности продукта, соответствующей изотерме t_a, влаговыпадение не будет наблюдаться. Влаговыпадение будет наблюдаться, если температура воздуха в помещении соответствует изотерме t_b. Однако если состояние воздуха помещения соответствует точке 3, то при любой из отмеченных температур воздуха (точки 1 и 3) влаговыпадение не будет наблюдаться.

6.2. Размораживание продуктов

Размораживание, или, как его часто называют, пользуясь английской транскрипцией, дефростация (*defrosting*), является процессом восстановления исходного состояния продукта, при котором твердокристаллическое состояние тканевой влаги восстанавливается до состояния жидкости.

Общей целью размораживания является достижение технологической обратимости замораживания, т. е. восстановления тех свойств, которые определяют исходные свойства и соответственно качество продукта.

В зависимости от совершенства процесса замораживания мера обратимости замораживания продукта различна. Она обусловлена индивидуальными свойствами продукта, его структурными особенностями, прочностью удержания влаги, особенностями ее распределения в тканевой системе, проницаемостью клеточных мембран для растворенных компонентов и влаги и т. д.

При медленном замораживании, как ранее отмечалось, формируются кристаллы льда простых стереометрических форм. При этом происходит перемещение внутриклеточной влаги в межклеточное простран-

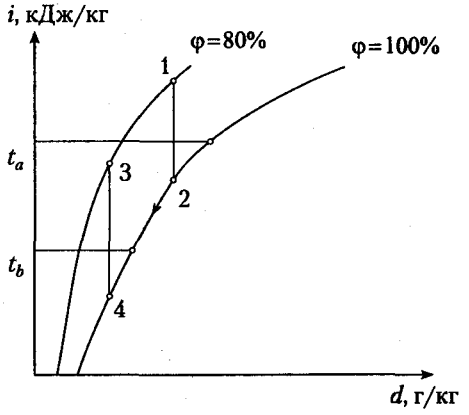


Рис. 6.3
Диаграмма *i*—*d* влажного воздуха

ство. Этот процесс для биологически активных растительных тканей имеет положительную направленность. Перемещение влаги в межклеточное пространство является одним из способов приспособления растительных тканей к понижению температуры в природных условиях. Известно, например, что ткани яблони хуже приспособлены к замораживанию, чем ткани смородины. Способность к миграции влаги из клеток в межклеточное пространство у смородины выше, чем у яблони, в 30–40 раз. Поэтому смородина более устойчива к замораживанию, чем яблоня.

Перемещение влаги в тканях пищевых продуктов при замораживании сопровождается частичным нарушением клеточной структуры, гидратацией белков. Поэтому восстановление белками и клетками потерянной влаги при размораживании может рассматриваться лишь на уровне ткани в целом, заведомо полагая, что мера этого восстановления не будет полной. Например, при медленном замораживании при температуре воздуха –6...–8 °С отмечаются потери тканевого сока до 11–12% к начальному весу продукта. При продолжительном хранении продуктов процент потерь сока может увеличиться до 15–16%.

6.2.1. Размораживание посредством теплоподвода к поверхности продукта

Размораживание продуктов посредством теплоподвода к поверхности является традиционным, наиболее употребительным методом. Как и при замораживании, в выборе способа размораживания имеет значение

нтенсивность процесса. Классифицируя процесс размораживания по этому параметру, методы размораживания в порядке уменьшения длительности процесса можно классифицировать следующим образом. Длительность размораживания в порядке уменьшения этой величины обеспечивается:

- отеплением в воздухе при температуре 0...+4 °С;
- отеплением в воздухе в паровоздушной среде при температуре +15...+20 °С;
- орошением или погружением продукта в воду при температуре +2...+4 °С при постепенном повышении температуры воды до 20 °С;
- размораживанием в среде мелкодробленого льда.

В воздухе размораживают продукты небольшого размера или измельченные продукты.

В воде размораживают преимущественно рыбу. Для размораживания рыбы может использоваться ток промышленной частоты, однако сравнительно с традиционным методом размораживания рыбы в воде он находит ограниченное применение.

При размораживании продуктов с нежной тканевой структурой в бытовых условиях традиционно используют естественную конвекцию воздуха. Для некоторых продуктов растительного происхождения процесс размораживания дополняют их погружением в раствор сахарного сиропа.

Промышленная установка для размораживания продуктов в воздухе представлена на рис. 6.4.

6.2.2. Механизм размораживания продуктов при теплоподводе к поверхности продукта

При теплоподводе к поверхности продукта размораживается тонкий поверхностный слой (рис. 6.5). Поскольку теплопроводность жидкого тканевого сока в размороженном слое меньше теплопроводности замороженного слоя (практически в два раза), тепло из центральных слоев продукта к поверхности через размороженный обводненный слой проникает с меньшей скоростью.

При размораживании четко выраженной движущейся границы раздела фаз «вода—лед» от поверхности продукта к центру не отмечается. Тепло через замороженную часть продукта проникает глубоко к центру продукта. В объеме продукта образуются отдельные зоны таяния. Образование этих зон обусловлено тем, что тканевый сок представляет полидисперсную среду с компонентами, имеющими разные эвтек-

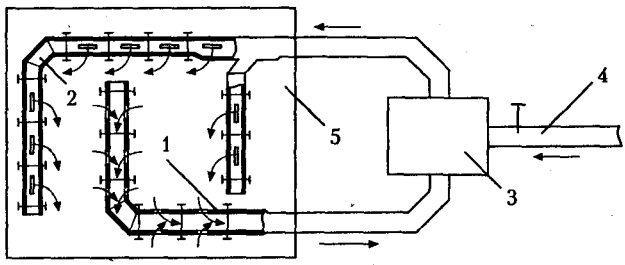


Рис. 6.4
Схема установки для размораживания продуктов
1 — всасывающий канал, 2 — нагнетательный канал, 3 — кондиционер, 4 — канал подачи свежего воздуха, 5 — камера размораживания

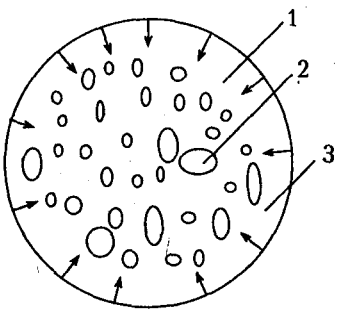


Рис. 6.5
Иллюстрация процесса размораживания продукта
1 — размороженный поверхностный слой,
2 — капли оттаявшего тканевого слоя, 3 — замороженный продукт

тические температуры. Таким образом, процесс образования капель тканевого сока является объемным процессом, замедляющим проникновение тепла в глубь продукта. Вследствие этого сравнительно с процессом замораживания, где тепло фазового перехода «вода—лед» отводится через замороженный слой, при размораживании длительность процесса больше в среднем на 25–30%.

6.2.3. Размораживание посредством тепловыделения в объеме продукта

В основе методов объемного размораживания продуктов лежит процесс преобразования энергии того или иного вида в тепло непосредственно в объеме продукта. К таким видам энергии относят энергию

электрического поля различной частоты, от промышленной частоты до СВЧ. К этому типу энергии также относят энергию ультразвуковых колебаний.

Достоинством объемного нагрева является тот факт, что подобные методы являются безградиентными, т. е. практически нет различий температуры в любой из выбранных точек объема продукта.

СВЧ-методы применяют преимущественно для размораживания овощей, кулинарных изделий и замороженных готовых блюд. СВЧ-метод является наиболее совершенным из рассмотренных ранее не только в технологическом, но и в энергетическом плане. Он обеспечивает высокую скорость размораживания при сохранении в продукте влаги, растворимых в воде белков и витаминов. Структура ткани сохраняется наилучшим образом.

6.3. Тепловой расчет размораживания

Физическая картина процесса размораживания не укладывается в рамки представления о движении границы раздела фаз. Неравномерность размораживания продукта по объему, непостоянство теплообмена на поверхности продукта — все это приводит к необходимости математического описания процесса размораживания с еще большими допущениями, чем при замораживании.

Процесс размораживания упрощенно представляют как двухстадийный процесс. Первая стадия — отепление продукта от отрицательной начальной температуры до криоскопической. Эта часть задачи решается традиционными методами. Вторую часть Э. Алмаши предложил оценивать на основе метода элементарных тепловых балансов.

В. А. Сенютович, опираясь на представления Э. Алмаши, предложил рассматривать температуру и коэффициент теплоотдачи от поверхности продукта постоянными.

Получено следующее выражение:

$$\tau = \frac{R^2 \cdot q \cdot \rho}{2(t_c - t_{кр}) \cdot \lambda_{пр}} \left[1 + \frac{2c_o}{\mu^2 \cdot q} \cdot (t_п - t_{кр}) \right], \text{ с}, \qquad (6.1)$$

где

$\lambda_{пр}$ — теплопроводность продукта до его замораживания, Вт/(м · К);

c_o — теплоемкость продукта до его замораживания, Дж/(кг · К);

$q = L \cdot W \cdot \omega$ — тепло плавления, Дж/кг;

$t_п$ — температура поверхности продукта, °С.

Если принять в качестве средней температуры поверхности температуру поверхности второй стадии $\bar{t}_п$, то выражение (6.1) упрощается:

$$\tau = \frac{R^2 \cdot q \cdot \rho}{2 \cdot \lambda_{пр} \cdot (\bar{t}_п - t_{кр})}, \text{ с.} \qquad (6.2)$$

Выражение (6.2) не позволяет достаточно точно оценивать длительность размораживания, поскольку в выражение (6.2) вошли величины, являющиеся функцией температуры.

Аналогичное решение получено Г. Д. Кончаковым. Для оценки длительности второй стадии решение принимает вид:

$$\tau = \frac{q \cdot \rho}{t_с - t_{кр}} \cdot R \cdot \left(\frac{R}{2 \cdot \lambda_{пр}} + \frac{1}{\alpha}\right), \text{ с.} \qquad (6.3)$$

Это выражение практически не отличается от аналогичной формулы Р. Планка для оценки длительности замораживания продуктов. Отличие состоит лишь в том, что в выражении (6.3) теплопроводность продукта принимается равной теплопроводности незамороженного продукта. Длительность же первой стадии предлагается оценивать как 30% от длительности второй стадии.

Для конкретного вида продукта, например для размораживания говяжьего бедра, в выражении (6.3) предлагается ввести множитель 0,57. Учет длительности первой фазы размораживания обеспечивается коэффициентом, численно равным 1,3. Таким образом, выражение длительности размораживания приобретает вид:

$$\tau = \frac{q \cdot \rho}{t_с - t_{кр}} \cdot R \cdot \left(\frac{R}{2 \cdot \lambda_{пр}} + \frac{1}{\alpha}\right) \cdot 0{,}57 \cdot 1{,}3, \text{ с.} \qquad (6.4)$$

Выражение (6.4) позволяет с достаточной для практических целей точностью ±5% оценивать длительность размораживания. Оно пригодно только для частных условий — для оценки длительности размораживания говяжьих полутуш. Поэтому на практике длительность размораживания оценивают простыми эмпирическими выражениями, пригодными для каждого конкретного случая размораживания. Например, для оценки длительности размораживания блоков и мелких порций мяса в интервале температур от −10 до −0,5 °С предложено выражение (6.5):

$$\tau = \frac{m_1}{t_c + 1} + n_1, \text{ с}, \qquad (6.5)$$

где m_1 и n_1 — постоянные, числовые значения которых в зависимости от $G_{пр}$, приведены в табл. 6.1.

Набор таких эмпирических выражений невелик, поэтому приходится опираться в основном на опытные данные, полученные в конкретных условиях. Данное обстоятельство диктует необходимость разработки приемлемых аналитических зависимостей, удовлетворительно описывающих процесс размораживания.

Таблица 6.1

Коэффициенты, учитывающие массу размораживаемого продукта

Продукт	$G_{пр}$, кг	m_1	n_1
Блоки	7	180	4
Порции	1	136	0,8
	0,5	85	0,5

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит цель отепления продукта?
2. Каким образом при отеплении продукта обеспечивается отсутствие влаговыпадения на его поверхности?
3. Какими техническими средствами осуществляется процесс отепления?
4. Какова цель размораживания продукта?
5. Какими техническими средствами обеспечивается размораживание продукта?
6. Каковы методы интенсификации процесса размораживания продукта?

Раздел II

ОСНОВЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Глава 7
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ХОЛОДА

Искусственное охлаждение — это процесс переноса теплоты от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой посредством совершения внешней работы.

Искусственное охлаждение может быть с разомкнутым циклом (одноразовым). Например, охлаждение водным, «сухим» льдом, жидким азотом или другим рабочим веществом без восстановления его первоначальных свойств.

Машинное охлаждение является охлаждением при помощи рабочего вещества, постоянно возвращаемого в холодильной машине в исходное состояние, — охлаждением с замкнутым циклом.

В испарителе 4 (рис. 7.1) холодильной машины тепло от охлаждаемой среды Q_0, Вт, подводится к рабочему веществу, которое в холодильной технике принято называть холодильным агентом. В результате подвода тепла к холодильному агенту он кипит, превращаясь в пар. Пары холодильного агента отводятся из испарителя компрессором 1, сжимаются в компрессоре и направляются в конденсатор 2, где парообразный холодильный агент вновь превращается в жидкость.

При сжатии холодильного агента в компрессоре совершается работа, которая воспринимается холодильным агентом в виде теплоты L, Вт. Таким образом, от поверхности конденсатора в теплоотводящую среду отводится тепло, эквивалентное совершенной работе в компрессоре и отведенная от охлаждаемой среды в испарителе:

$$Q = Q_0 + L, \text{ Вт.} \qquad (7.1)$$

Количество теплоты, отведенной от охлаждаемой среды в испарителе, в удельной форме выражают удельной массовой холодопроизводительностью q_0, Дж/кг. Она эквивалентна количеству тепла, которое можно отвести одним килограммом жидкого холодильного агента при превращении его в пар.

$$q_o = \frac{Q_o}{G}, \text{ Дж/кг.} \qquad (7.2)$$

Удельная массовая холодопроизводительность холодильного агента величина непостоянная. Она зависит от свойств холодильного агента и температурного режима работы холодильной машины.

7.1. Физические принципы получения холода

Основой процесса охлаждения является теплообмен между двумя средами — охлаждаемой и охлаждающей. Любой процесс, сопровождающийся поглощением тепла, может быть использован для охлаждения.

Охлаждение среды достигается при помощи разнообразных физических процессов: при помощи фазовых превращений, сопровождающихся поглощением тепла (плавление, парообразование, растворение

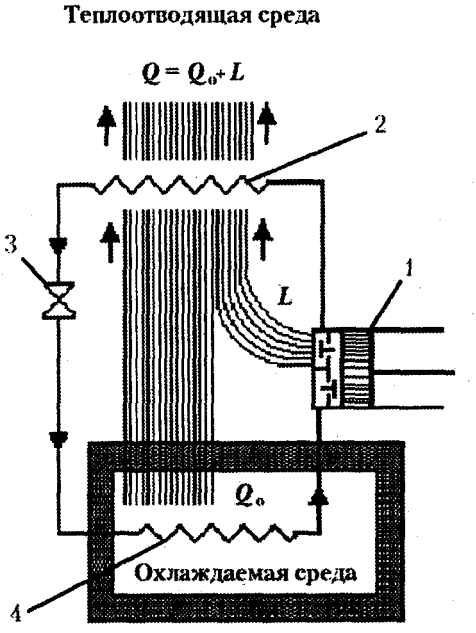


Рис. 7.1
Энергетический баланс компрессионной холодильной установки
1 — компрессор, 2 — конденсатор,
3 — дросселирующее устройство, 4 — испаритель

соли); десорбцией газов, расширением сжатого газа, дросселированием (эффект Джоуля–Томсона), посредством вихревого эффекта, размагничивания твердого тела, посредством термоэлектрического эффекта (эффекта Пельтье).

Охлаждение при помощи отдельных процессов (таяние льда, сублимации твердой углекислоты, дросселирования газов) протекает лишь до тех пор, пока не истощается запас этого вещества. Процесс с возобновлением рабочего вещества, или, как его называют, круговой (цикличный) процесс, возможен лишь в условиях энергетических затрат.

Тепло переходит от тела более нагретого к телу менее нагретому, но не наоборот. Некомпенсированный переход тепла от тела с меньшей температурой к телу с большей температурой невозможен.

В качестве компенсации должна быть совершена механическая работа или другой эквивалентный по направленности процесс.

В соответствии со вторым законом термодинамики непрерывное искусственное охлаждение не может происходить без затрат энергии. Совокупность процессов, которые при этом осуществляет рабочее тело, получила название *обратного термодинамического цикла.*

В прямом термодинамическом цикле тепло переносится от горячего тела к менее нагретому телу, при этом производится работа. В обратном цикле тепло переносится от холодного тела к нагретому телу, при этом затрачивается энергия на совершение работы.

7.2. Характеристика методов получения холода

7.2.1. Охлаждение при помощи десорбции

Суть метода состоит в последовательном насыщении, например, активированного угля газом (например, гелием) и последовательном откачивании его из этой среды. Данный способ протекает с большими энергетическими потерями, и с термодинамической точки зрения он имеет смысл лишь при получении сверхнизких температур, т. е. температур в области жидкого гелия.

7.2.2. Охлаждение посредством расширения сжатого газа

Охлаждение достигается в процессе расширения сжатого газа. Метод находит практическое применение в воздушных холодильных машинах при расширении газа в поршневых компрессорах или турборасширителях («турбодетандерах»).

7.2.3. Охлаждение при помощи дросселирования (эффект Джоуля–Томсона)

Дросселированием называется снижение давления жидкости или газа при прохождении его через узкое отверстие (трубка малого диаметра, вентиль с малым проходным сечением). Поток вещества не производит работу, и давление снижается практически адиабатически, т. е. без теплообмена с внешней средой. При этом энтальпия (теплосодержание) вещества остается постоянной.

Физическая сущность дросселирования состоит в том, что внутренняя энергия газа расходуется не на получение внешней работы, а на преодоление сопротивления (вследствие внутреннего трения газа). При преодолении газом или жидкостью сопротивления, местного (узкое отверстие) или по длине (прохождение через трубку малого сечения), температура среды понижается.

Процесс дросселирования широко используется в качестве основного способа изменения давления холодильного агента в холодильной машине — от давления конденсации до давления кипения в испарителе.

7.2.4. Вихревой эффект охлаждения

Метод реализуется в вихревых трубках, названных в честь изобретателя метода — французского инженера Ранка. Процессы, протекающие в вихревой трубе, сложны, и теория этого вопроса недостаточно проработана.

В общих чертах суть процесса состоит в том, что поток сжатого воздуха, который подается в трубу через сопло по касательной к ее сечению, образует вихрь, в котором происходит разделение газа. Наружный слой нагревается, внутренний становится холодным. Поток холодного воздуха, расположенного в центральной части, выходит из трубы через диафрагму 2, а внешние, нагретые слои воздуха, выходят за пределы трубы через дроссельный вентиль 3 (рис. 7.2).

Термодинамические процессы вихревой трубы, несмотря на ее конструктивную простоту, с практической точки зрения мало эффективны. Получение холодного воздуха при помощи вихревой трубы связано со значительным перерасходом энергии (в 8–10 раз) по сравнению с воздушной холодильной машиной.

Следует отметить, что использование вихревых труб в практике получения низких температур (с одновременным получением нагретого воздуха) ограничено не только энергетикой процесса, но и целым рядом требований. Так, например, воздух, поступающий в вихревую трубу, должен быть очищенным, не иметь пыли и влаги, не содержать

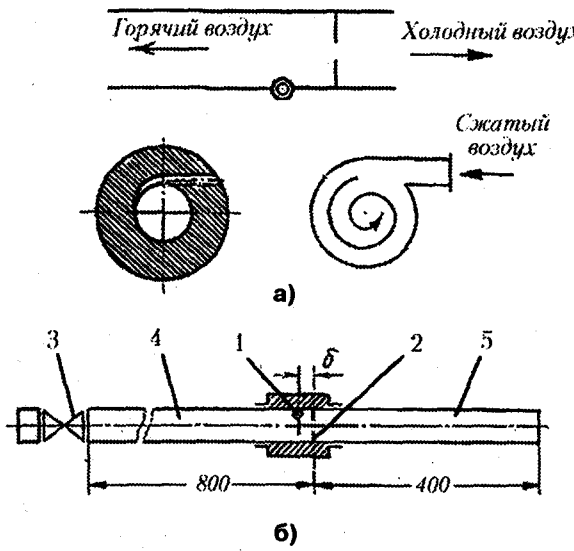


Рис. 7.2
Вихревая труба
а) принцип подачи воздуха; б) устройство вихревой трубы
1 — сопло, 2 — диафрагма, 3 — дроссель, 4 — горячий конец трубы, 5 — холодный конец трубы

масла. Выполнить все эти требования, одновременно обеспечивая большой расход воздуха, технически трудно.

Кроме того, вихревая камера трубы должна быть выполнена с высоким уровнем технического совершенства (иметь высокий уровень чистоты рабочей поверхности). В процессе эксплуатации вихревой трубы при скоростях потока воздуха, близких к скорости звука, возможно нарушение чистоты рабочей поверхности.

Высокие скорости воздушного потока определяют высокий уровень шума работающей трубы, что предполагает необходимость устройства звукоизолированных помещений. Совокупность отмеченных качеств ограничивает применение вихревой трубы для решения задач пищевой технологии.

7.2.5. Термоэлектрическое охлаждение (эффект Пельтье)

В 1834 г. Пельтье установил, что при пропускании электрического тока через цепь, состоящую из двух разных проводников, один из спаев охлаждается, а другой нагревается. Количество тепла Q, поглощаемо-

го или выделяемого спаем, в зависимости от направления тока силой I за время τ определяется следующим соотношением:

$$Q = \Pi \cdot I \cdot \tau. \qquad (7.3)$$

Величина Π называется коэффициентом Пельтье.

Попытки использовать эффект Пельтье для получения низких температур успеха не имели, поскольку не удавалось получить высокую величину термо э. д. с. Проблема получила разрешение с применением А. Ф. Иоффе полупроводников вместо проводников (рис. 7.3).

Термоэлемент выполняется последовательным соединением двух полупроводников, составляющих его ветви. Полупроводники имеют разную проводимость. Они соединяются медными пластинами. При пропускании постоянного электрического тока на одном из спаев выделяется тепло, на другом достигается отрицательная температура.

Эффективность термоэлементов в значительной степени зависит от свойств материала. Отыскание соответствующих материалов является одним из эффективных направлений развития полупроводниковой техники.

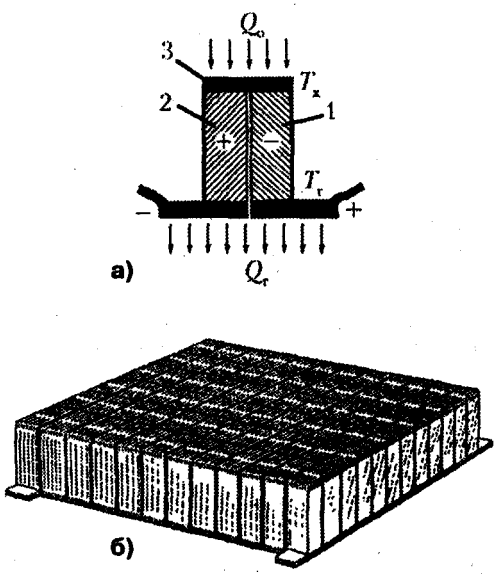


Рис. 7.3
Полупроводниковый элемент (*а*) и полупроводниковый блок (*б*)
1, 2 — полупроводники, 3 — медная пластина.

7.2.6. Охлаждение при помощи фазовых превращений

Фазовые превращения (плавление, кипение, сублимация...) являются процессами с поглощением значительного количества тепла.

Плавление. Температура таяния чистой воды составляет 0 °С, поэтому теплоотводящую среду можно охладить до более низкой температуры, используя солевые растворы. На практике для получения низких температур используют вещества с предельной эвтектической температурой — поваренную соль ($t_{эвт}$ = −21,2 °С), хлористый кальций ($t_{эвт}$ = −55 °С). Однако с увеличением концентрации солевого раствора уменьшается его холодопроизводительность. Например, холодопроизводительность 1 кг чистого льда составляет 335 кДж/кг, а при температуре эвтектики — лишь 192 кДж/кг.

Эвтектическим раствором заполняют водонепроницаемые пакеты, которые называют аккумуляторами холода (зероторами). Их помещают в охлаждаемый объем, где замороженная эвтектическая смесь льда и соли оттаивает, отнимая тепло от охлаждаемой среды. Однако длительность хранения продуктов ограничена объемом солевого раствора, поэтому способ применяется в основном для хранения небольших количеств продуктов, например при транспортировке продуктов в бытовых сумках-холодильниках.

Автомобильный транспорт с охлаждаемыми аккумуляторами и теплоизолированным кузовом находит ограниченное применение по совокупности недостатков, связанных с большой массой аккумуляторов, необходимостью их замораживания и т. д.

Кипение и сублимация. Кипением называют процесс парообразования по всему объему жидкости, протекающий с поглощением определенного количества тепла. Температура кипения зависит от давления паров над жидкостью и при постоянном давлении неизменна.

Удельной теплотой парообразования называется количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг жидкости в пар при температуре кипения.

При уменьшении давления температура кипения жидкости понижается, так как для отрыва молекул пара от жидкости требуется меньшая внутренняя энергия. Понижая давление над жидкостью, можно заставить кипеть жидкость при низкой температуре, вплоть до температуры ее замерзания.

Состояние вещества, в котором предельные значения переходной области из жидкости в пар совмещаются, называют критической точкой. Тепло парообразования в критической точке равно нулю. При температуре выше критической точки газ нельзя превратить в жидкость.

Для получения холода применяют жидкости, имеющие при нормальном (атмосферном) давлении низкую температуру кипения и большую теплоту парообразования.

Сублимацией называется процесс перехода вещества из твердого состояния в газообразное состояние, минуя жидкое. В обычных условиях сублимируют, например, «сухой лед» (твердая углекислота), йод, камфара.

Механизм процесса сублимации состоит в выделении за пределы твердого вещества наиболее «быстрых» молекул, кинетическая энергия которых обеспечивает преодоление сил притяжения остальных частиц твердого вещества.

Удельное тепло сублимации равно сумме теплоты плавления и парообразования.

Полное скрытое тепло парообразования равно:

$$r = u'' - u' + A \cdot p \cdot (v'' - v') = i'' - i', \text{ кДж/кг}, \qquad (7.4)$$

где

u'', u', v'', v', i'', i' — внутренняя энергия, удельный объем, энтальпия насыщенного пара и жидкости;

p — давление.

Тепло сублимации I_s равно сумме теплоты плавления λ и парообразования r, поэтому процесс дает большой холодильный эффект:

$$I_s = \lambda + r, \text{ кДж/кг}. \qquad (7.5)$$

На практике охлаждение посредством сублимации реализуют в основном посредством твердой углекислоты. Твердая углекислота («сухой лед») при атмосферном давлении имеет большую холодопроизводительность (574 кДж/кг) и низкую температуру сублимации (–78,9 °С).

7.3. Термодинамические основы получения искусственного холода

7.3.1. Перенос тепла в холодильной машине, цикл Карно

В природе перенос тепла осуществляется от тела более нагретого к телу менее нагретому. Этот процесс происходит самопроизвольно до установления теплового термодинамического равновесия, когда температура двух сред станет равной.

Для переноса тепла в обратном направлении, согласно второму закону термодинамики, необходимо затратить энергию.

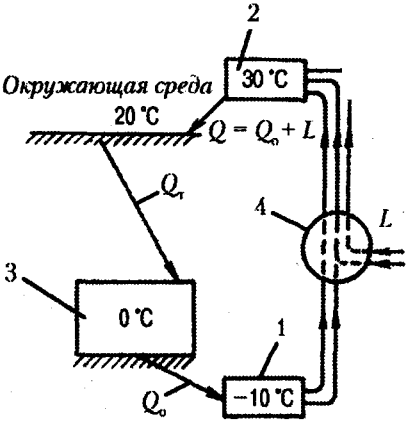


Рис. 7.4
Обоснование принципа получения искусственного холода
1 — рабочая среда (холодильный агент), 2 — теплоотводящая часть (конденсатор), 3 — охлаждаемая среда (охлаждаемый объем), 4 — совершаемая работа (компрессор)

К охлаждаемой среде (рис. 7.4, поз. 3), например к воздуху в холодильной камере $Q_в$, непрерывно подходит тепло от внешней среды $Q_т$.

Рабочая среда (1) (холодильный агент), имеющая более низкую температуру, чем температура охлаждаемой среды $Q_в$, воспринимает тепло Q_0, отнимая его от охлаждаемой среды (3). В холодильной машине для передачи этого тепла окружающей среде на совершение работы L затрачивается энергия. Эта работа, преобразованная в тепло, вместе с отведенным теплом Q_0, которое называют холодопроизводительностью холодильной машины, переносится на теплоотводящую часть холодильной машины, называемую конденсатором. Температура рабочего вещества в этой части машины на 10–15 °С выше температуры окружающей среды, поэтому тепло перемещается в направлении теплового потока от нагретой среды к окружающей среде.

Теоретической основой переноса тепла в холодильной машине является второй закон термодинамики:

$$Q = Q_0 + L, \text{ Вт.} \qquad (7.6)$$

Процесс переноса тепла отображается обратным циклом Карно (рис. 7.6).

Он протекает с минимальными энергетическими потерями на совершение переноса тепла и рабочего вещества в холодильной машине,

в силу чего его принято называть идеальным. Процессы, протекающие в цикле Карно, традиционно рассматривают в диаграмме T—S, как наиболее наглядной демонстрационной диаграмме (T — температура, S — энтропия). Энтропию представляют как изменение количества тепла при температуре T или как меру потери энергии.

$$\Delta S = \frac{\Delta q}{T}, \text{ Дж/кг.} \qquad (7.7)$$

Процессы, протекающие в холодильной машине, отображаются в диаграммах состояния T—S и LgP—i (рис. 7.5).

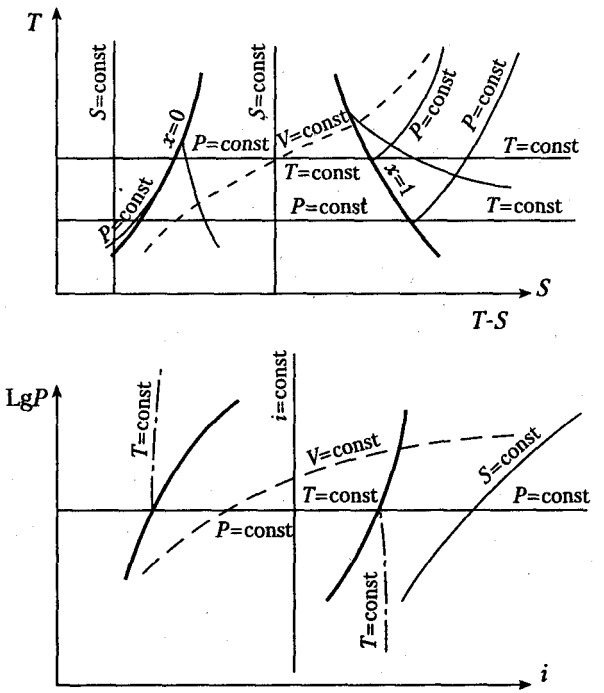


Рис. 7.5
Структура диаграммы T—S и LgP—i

Пояснения к отображению процессов на диаграммах T—S и LgP—i

В диаграмме T—S по оси абсцисс нанесены значения энтропии (S), а по оси ординат — температуры. Сетка диаграммы образована изотермами (горизонтальными линиями) и изоэнтальпиями — адиабатами (вертикальными линиями).

Левая пограничная кривая характеризует состояние вещества как жидкость. Состояние вещества на этой линии соответствует нулевому значению паросодержания. Состояние вещества между пограничными линиями отражает состояние вещества в виде влажного пара. Состояние вещества на правой пограничной кривой характеризуется как сухой насыщенный пар. Состояние вещества правее правой пограничной кривой называют перегретым паром.

Изобары (P = const) в области влажного пара расположены параллельно оси абсцисс и совпадают с изотермами (T = const), а в области перегретого пара они круто идут вверх. В области жидкости изобары практически совпадают с левой пограничной кривой.

В диаграмме T—S подведенное и отведенное тепло от хладагента изображаются площадями, расположенными под линиями процессов; удельная работа сжатия — разность этих площадей.

В диаграмме LgP—i на оси абсцисс нанесены значения энтальпии (i, кДж/кг), а на оси ординат — абсолютные давления (в логарифмическом масштабе), P, МПа. Сетка диаграммы образована изобарами (горизонтальные линии) и изоэнтальпами (вертикальные линии).

На диаграмме нанесены те же линии, что и в диаграмме T—S, но расположение их иное: в области влажного пара изотермы совпадают с изобарами, в области перегретого пара они круто опускаются вниз, а в области жидкости поднимаются вверх. Излом изотерм происходит на пограничных линиях.

В диаграмме LgP—i подведенное и отведенное тепло, а также работа изображаются в виде отрезков на оси абсцисс. Диаграмма LgP—i удобна для выполнения практических расчетов, поэтому сравнительно с диаграммой T—S ее используют чаще.

Цикл Карно

Работа холодильной машины в рамках идеального цикла Карно происходит в температурном диапазоне: охлаждаемая среда T_o, теплоотводящая среда T.

Цикл Карно описывается 2 изотермическими и 2 адиабатическими процессами (рис. 7.6).

Процесс теплоотвода от охлаждаемой среды (отрезок 4–1) характеризует количество тепла (площадь b–1–4–a–b), которое может быть отведено 1 кг холодильного агента при превращении жидкого холодильного агента в пар (q_o, Дж/кг):

$$q_o = T_o \cdot (S_b - S_a), \text{ Дж/кг.} \quad (7.8)$$

Количество тепла, которое передается теплоотводящей среде, оценивается площадью (b–2–3–a–b) под изотермой конденсации (отрезок 2–3):

$$q = T \cdot (S_b - S_a), \text{ Дж/кг.} \quad (7.9)$$

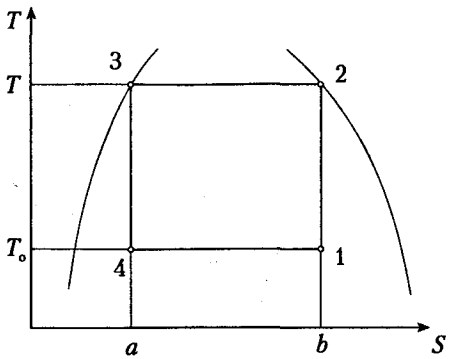


Рис. 7.6
Цикл Карно

Энергетические затраты на совершение работы сжатия (L, Дж/кг) отображаются площадью (1–2–3–4–1), процесс сжатия — адиабатой (отрезок 1–2). При этом повышается температура рабочего вещества от температуры T_0 до T:

$$l = (T - T_0) \cdot (S_b - S_a), \text{ Дж/кг.} \qquad (7.10)$$

Энергетическая эффективность получения холода на основе цикла Карно оценивается холодильным коэффициентом ε:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{T_0}{T - T_0}. \qquad (7.11)$$

Величина холодильного коэффициента цикла Карно зависит от температурного уровня охлаждаемого объекта и теплоотводящей среды. Эффективность переноса тепла возрастает, если понижается температура теплоотводящей среды T и если температура охлаждаемой среды T_0 не является чрезмерно низкой. При $(T - T_0) \to 0$ перенос тепла невозможен.

7.3.2. Холодильная машина и установка, структура

Холодильная машина состоит из четырех основных элементов, соединенных трубопроводами. Она представляет собой замкнутую герметичную систему, заполненную хладагентом. В ее состав входят: испаритель, компрессор, конденсатор, расширительный цилиндр (регулирующий вентиль). При отсутствии любого из этих элементов получение холода невозможно.

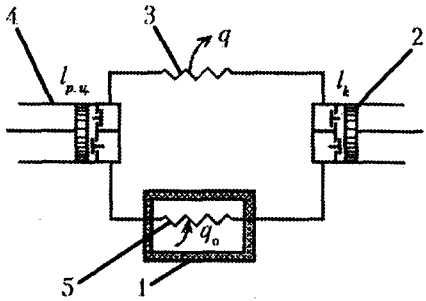


Рис. 7.7
Холодильная установка
1 — охлаждаемый объем, 2 — компрессор, 3 — конденсатор, 4 — расширительный цилиндр, 5 — испаритель. Совмещение холодильной машины и объекта охлаждения называют холодильной установкой

Следовательно, торговое холодильное оборудование — прилавок, витрина, холодильный шкаф и т. д. — есть не что иное, как холодильная установка. Простейшая холодильная установка, состоящая из холодильной машины и объекта охлаждения, приведена на рис. 7.7.

7.4. Основные принципы работы паровой компрессионной холодильной машины

В основе получения холода при помощи паровой компрессионной холодильной машины лежит отвод тепла от охлаждаемой среды при кипении рабочего вещества в испарителе (5) (рис. 7.7). Кипение холодильного агента осуществляется при отводе тепла от охлаждаемой среды q_0, Дж/кг.

Процессы в аппаратах холодильной машины (1, 2, 3, 4) отражены на диаграммах состояния холодильного агента T—S и LgP—i (рис. 7.8).

На диаграммах T—S и LgP—i (рис. 7.8) представлены цикл Карно и теоретический цикл паровой компрессионной холодильной машины. Теоретический цикл отличается как от реальных условий работы холодильной машины, так и от идеального цикла Карно.

В испарителе 5 (рис. 7.7) холодильной машины кипит холодильный агент. Процесс кипения холодильного агента в испарителе холодильной машины, работающей на основе цикла Карно 4–1, обеспечивается выполнением двух условий: подводом тепла к испарителю (отводом тепла от охлаждаемой среды) и отводом паров, скапливающихся в ис-

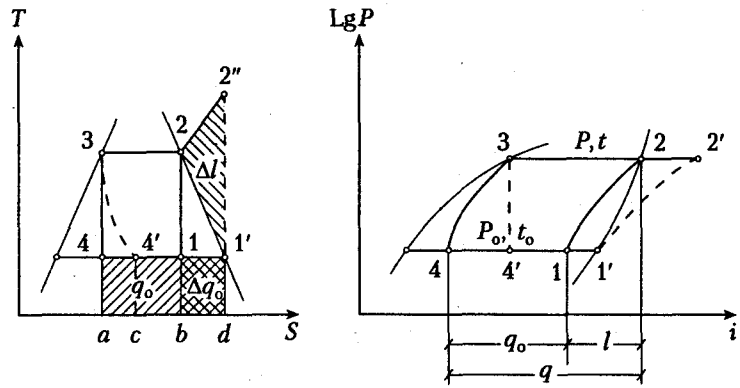


Рис. 7.8
Теоретический цикл паровой компрессионной холодильной машины в диаграммах *T*—*S* и Lg*P*—*i*

парителе. Последнюю функцию выполняет компрессор холодильной машины.

Компрессор 2 отводит пары из испарителя, сжимает их до давления конденсации и перемещает пары в конденсатор 3. При сжатии пара повышается давление холодильного агента от давления кипения P_o, МПа до давления конденсации P, МПа (1–2). Процесс сжатия сопровождается повышением температуры холодильного агента. Пар становится сухим насыщенным (точка 2). В нем отсутствует капельно-жидкая влага.

Сухой насыщенный пар поступает в конденсатор 3, где при постоянном давлении конденсации охлаждается до состояния насыщения (точка 3), превращаясь в жидкость.

В холодильной машине, работающей по циклу Карно, жидкий холодильный агент поступает в расширительный цилиндр 4 (детандер), где, расширяясь, совершает полезную работу. Расширение сопровождается понижением давления и температуры до температуры кипения холодильного агента в испарителе.

Холодопроизводительность холодильной машины соответствует площади (4–1–*b*–*a*–4) под изотермой кипения (4–1).

7.4.1. Отличия теоретического цикла паровой компрессионной холодильной машины от цикла Карно

В цикле Карно всасывание паров холодильного агента в цилиндр компрессора осуществляется в состоянии влажного пара (точка 1). Влажный

пар обусловливает в своем составе наличие капель жидкого холодильного агента. Поступление в цилиндр компрессора жидкого холодильного агента влечет за собой последствия, которые следует учитывать в условиях работы холодильной машины. Поскольку жидкости несжимаемы, то попадание жидкого холодильного агента в цилиндр компрессора может привести к явлению, которое носит название «гидравлический удар». Суть явления состоит в том, что при сжатии несжимаемой жидкости возможно разрушение конструктивных элементов компрессора. Наиболее уязвимой частью компрессора, подверженной разрушению при гидравлическом ударе, является всасывающий клапан. Он может разрушиться. Особенно это опасно для герметичных компрессоров, поскольку последствия подобного предполагают отправку компрессора в ремонт.

Гидравлический удар как явление при эксплуатации малых холодильных машин бывает скорее исключением из правил, чем правилом. Более неприятным явлением, связанным с поступлением в цилиндр компрессора небольшого количества капель жидкого холодильного агента, является вскипание этих капель непосредственно в самом компрессоре. Образование пара в компрессоре, как отмечалось ранее, приводит к уменьшению коэффициента подачи компрессора λ (к. п. д. компрессора). Его холодопроизводительность падает, что приводит к повышению температуры воздуха в охлаждаемом объеме:

$$Q_o = \lambda \cdot q_v \cdot V_h, \text{ Вт}, \qquad (7.12)$$

где

q_v — удельная объемная холодопроизводительность, кДж/м^3;

V_h — часовой объем, описываемый поршнем (поршнями), м^3/с.

Таким образом, сравнительно с циклом Карно логически обоснован переход от холодильного агента в состоянии влажного пара (точка 1) к сухому насыщенному пару (точка 1′), т. е. пару, не имеющему в своем составе жидкости.

Переход от состояния холодильного агента (рис. 7.8, точка 1) к состоянию (точка 1′) обеспечивает работу компрессора «сухим ходом», что позволяет достичь наибольшего значения коэффициента подачи и увеличить холодопроизводительность компрессора Δq_0, Дж/кг, на величину, эквивалентную площади b–d–1′–1–b. Однако одновременно с увеличением холодопроизводительности, Дж/кг, возросла и величина энергетических затрат в виде работы l, Дж/кг. Величина адиабатной работы эквивалентна площади 1–1′–2′–2–1.

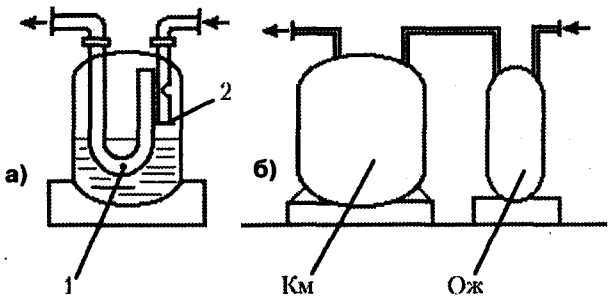


Рис. 7.9
Конструкция отделителя жидкости
а) — отделитель жидкости (Ож), б) — отделитель жидкости совместно с компрессором (Км) холодильной машины:
1 — дозирующее отверстие для масла, 2 — отражатель

Поскольку приращение площади, эквивалентной работе, больше площади, эквивалентной холодопроизводительности, энергетически данный процесс менее эффективен, чем процесс, протекающий в рамках цикла Карно. Однако практическая целесообразность превалирует над соображениями, связанными с энергетическими затратами.

Таким образом, для увеличения холодопроизводительности холодильной машины необходимо обеспечить подачу в цилиндр компрессора сухого насыщенного пара в состоянии точки 1′ (рис. 7.8) или пара в состоянии перегрева.

Обеспечить подачу в компрессор пара без капель жидкости можно двумя путями — либо предварительно отделяя жидкость от пара в отделителе жидкости (Ож) (рис. 7.9), либо нагревая (перегревая) пар в испарителе посредством изменения расхода холодильного агента, проходящего через прибор автоматического регулирования расхода холодильного агента — ТРВ.

Отделение жидкого холодильного агента от пара в отделителе жидкости

В отделитель жидкости холодильный агент поступает из испарителя вместе с маслом. Поток холодильного агента ударяется в отражатель 2, масло опускается на дно отделителя жидкости, а капли жидкого холодильного агента превращаются в пар и поступают в компрессор. Пары холодильного агента поступают в верхнюю часть V-образной трубки и далее в компрессор. Масло всасывается в компрессор через калиброванное отверстие 1, обеспечивающее дозированную его подачу.

Отделители жидкости устанавливают в основном в низкотемпературных холодильных машинах. Недостатком отделителя жидкости является его металлоемкость.

Перегрев пара в испарителе при помощи терморегулирующего вентиля (ТРВ)

Процесс дросселирования осуществляется в соответствии с закономерностями гидравлики: путем создания для потока жидкого холодильного агента «местного сопротивления» или «сопротивления по длине».

Первый метод реализован в технических конструкциях, называемых терморегулирующими вентилями (ТРВ), второй метод — дросселированием холодильного агента в капиллярной трубке (тонкая длинная трубка). Капиллярная трубка выполняет только одну функцию — дросселирует жидкий холодильный агент, проходящий через нее.

Схема терморегулирующего вентиля приведена на рис. 7.10. Величина перегрева пара, т. е. нагрев пара относительно температуры кипения холодильного агента в испарителе (Δt, °С, рис. 7.11), обеспечивается прибором автоматики — терморегулирующим вентилем (ТРВ).

Регулирование заполнения испарителя холодильным агентом, точнее регулирование расхода холодильного агента, протекающего через дросселирующее устройство (через ТРВ) и соответственно через испаритель, осуществляется вращением регулирующего винта 2 терморегулирующего вентиля (рис. 7.10).

Объем под мембраной в ТРВ соединен с выходом из испарителя. При увеличении усилия сжатия пружины $P_{пр}$ клапан уменьшает проходное сечение, уменьшается расход холодильного агента, протекающего через ТРВ. При малом количестве холодильного агента в испарителе пар, выходящий из испарителя, перегревается, давление холодильного агента в термобаллоне (8), плотно прижатом к испарителю, повышается. Устанавливается новое равенство давлений на мембрану с каждой из сторон: снизу — давление пружины $P_{пр}$ и давление кипения $P_{о}$, сверху — давление холодильного агента, создаваемого в термобаллоне $P_{тб}$.

Таким образом, основная функция ТРВ состоит в регулировании величины перегрева паров, выходящих из испарителя, а не температуры кипения и соответственно не температуры воздуха в охлаждаемом объеме. Температура воздуха в охлаждаемом объеме устанавливается регуляторами температуры или давления кипения холодильного агента в испарителе.

Вместе с тем следует отметить, что при вращении регулировочного винта ТРВ вследствие дросселирования холодильного агента и изменения эффективной площади теплообмена испарителя в определенной мере изменяется давление кипения холодильного агента в испарителе и, следовательно, температура воздуха в охлаждаемом объеме.

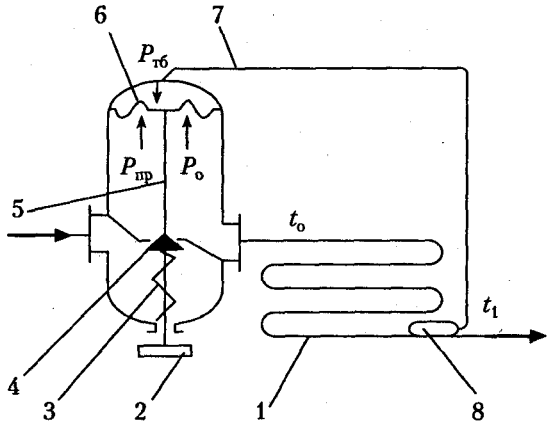


Рис. 7.10
Терморегулирующий вентиль
1 — испаритель, 2 — регулирующий винт, 3 — регулирующая пружина, 4 — игла (клапан), 5 — толкатель, 6 — мембрана, 7 — капиллярная трубка, 8 — термобаллон

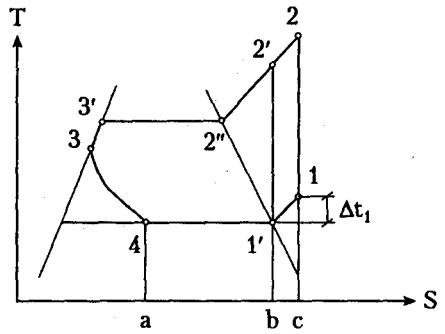


Рис. 7.11
Теоретический цикл паровой компрессионной холодильной машины с ТРВ
Процессы: 3–4 — дросселирования в ТРВ, 1′–1 — перегрев пара в испарителе

Переохлаждение жидкого холодильного агента перед его дросселированием

В цикле Карно расширение жидкого холодильного агента протекает в расширительном цилиндре (рис. 7.8, процесс 3–4). В теоретическом цикле паровой компрессионной холодильной машины реализован принцип дросселирования жидкого холодильного агента (рис. 7.8, процесс 3–4′) с предварительным его охлаждением.

Охлаждение жидкого холодильного агента перед его дросселированием может осуществляться в конденсаторе холодильной машины достаточно простым способом — путем увеличения площади поверхности конденсатора или в простейшем случае путем увеличения длины трубки конденсатора (рис. 7.12).

Применение способа сопряжено с увеличением размеров и массы конденсатора. Поэтому в холодильной технике применяется более эффективный способ, позволяющий сочетать понижение температуры жидкого холодильного агента перед его дросселированием с дополнительным нагревом (перегревом) паров холодильного агента на всасывании в компрессор. Для этих целей используют теплообменные аппараты, называемые теплообменниками. Конструкция одного из них представлена на рис. 7.13.

Регенеративный теплообменник (рис. 7.13) решает две практические задачи: охлаждает жидкий холодильный агент, выходящий из конденсатора (рис. 7.14, отрезок 3–3″), и нагревает пар, поступающий из испарителя в компрессор (отрезок 1–1″). Кроме того, применение теплообменника обеспечивает эффективность использования площади поверхности испарителя и хороший возврат масла в компрессор.

Переохлаждение холодильного агента перед дросселированием и перегрев пара на всасывании обеспечивают дополнительное увеличе-

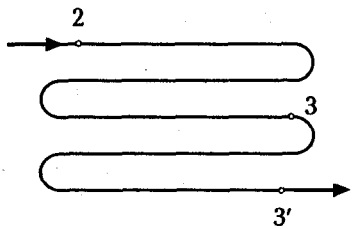


Рис. 7.12
Охлаждение холодильного агента в конденсаторе холодильной машины
2 — пар, поступающий в конденсатор, 3 — холодильный агент в состоянии жидкости, 3′ — переохлаждение жидкого холодильного агента

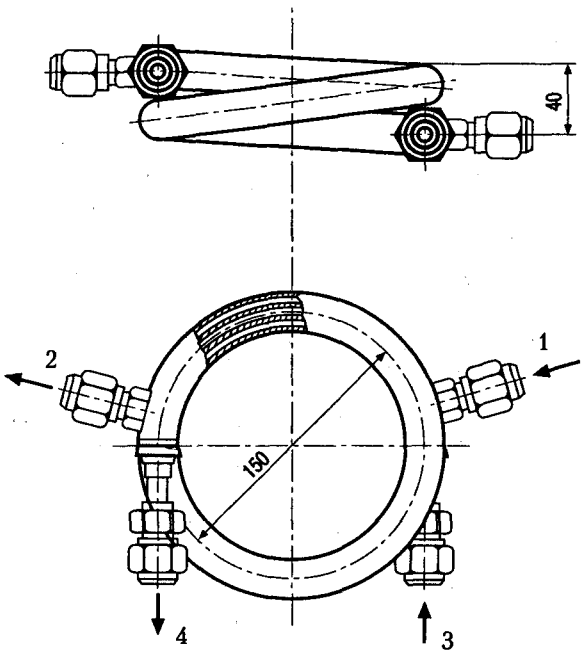


Рис. 7.13
Теплообменник $ТФ_2$-25
Подача (3) и выход (4) жидкого холодильного агента, подача (1) и выход (2) перегретого пара

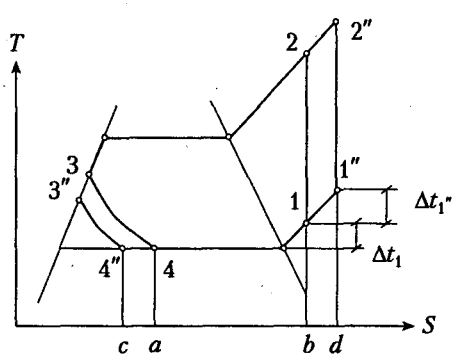


Рис. 7.14
Работа холодильной машины с теплообменником

ние холодопроизводительности холодильной машины (площади *c–a–4–4″–c* и *b–d–1″–1–b*). Поэтому теплообменник является необходимым и обязательным элементом холодильной машины.

7.5. Получение холода при помощи двухступенчатой холодильной машины

Достижение в охлаждаемом объеме низкой отрицательной температуры связано с одновременным стремлением сохранить высокую холодопроизводительность холодильной машины.

В частности, это стремление может быть обусловлено технологическими соображениями, например необходимостью замораживания продуктов. Как известно, для замораживания 1 кг влаги следует отвести 335 кДж/кг тепла. Если в технологическом или торговом холодильном оборудовании следует получить низкую температуру воздуха, порядка –40...–35 °С и при этом отвести значительное количество тепла, то необходимо, чтобы холодопроизводительность компрессора (Q_o, Вт) обеспечивала погашение всех теплопритоков.

Холодопроизводительность компрессора зависит от удельной объемной холодопроизводительности холодильного агента q_{v_1}, Дж/кг:

$$Q_o = \lambda \cdot q_{v_1} \cdot V_h, \text{ Вт}, \qquad (7.13)$$

где

q_{v_1} — удельная объемная холодопроизводительность 1 м³ холодильного агента, $q_{v_1} = q_o / v_1$, Дж/м³;

v_1 — удельный объем пара, поступающего в цилиндр компрессора в состоянии точки цикла 1, м³/кг;

λ — коэффициент подачи компрессора;

V_h — часовой объем, описываемый поршнем, м³/с.

При одноступенчатом сжатии холодильного агента в поршневом компрессоре при отношении давлений конденсации и кипения больше 9 удельная холодопроизводительность q_o, Дж/кг, невелика (рис. 7.15).

Она отображена площадью *a–b–1–4–a* под изотермой кипения. Кроме того, температура в точке 2 превышает допустимые для нормальной работы компрессора значения.

При последовательном двухступенчатом сжатии холодильного агента полная удельная холодопроизводительность увеличивается, а работа сжатия уменьшается.

Схема двухступенчатой холодильной машины отражена на рис. 7.16.

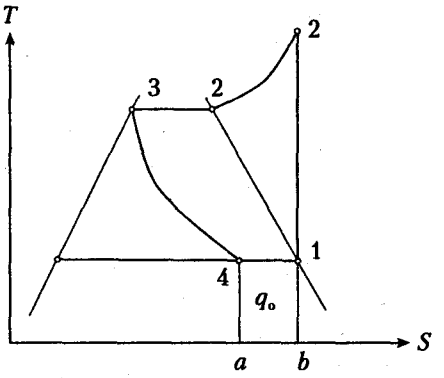


Рис. 7.15
К обоснованию получения низкой температуры воздуха в охлаждаемом объеме

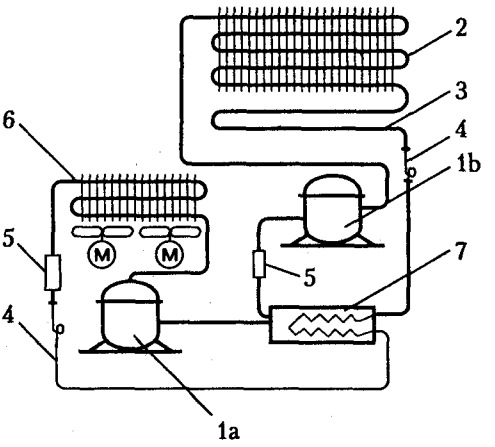


Рис. 7.16
Схема двухступенчатой холодильной машины

1a — компрессор высокой ступени, 1b — компрессор низкой ступени, 2 — основной испаритель, 3 — испаритель, 4, 9 — капиллярные трубки, 5, 8 — фильтры, 6 — конденсатор, 7 — теплообменник

Низкотемпературный прилавок с установленной в нем двухступенчатой холодильной машиной отражен на рис. 7.17.

Холодильный агент из конденсатора 6 через жидкостной фильтр 5 проходит через капиллярную трубку 4, дросселируется (рис. 7.18, от-

резок 5–6) и поступает в теплообменник 7, охлаждая пар, поступающий из компрессора 1 в низкой ступени (отрезок 6–7).

Далее жидкий холодильный агент повторно дросселируется в капиллярной трубке 4 (отрезок 7–8) и поступает последовательно в испарители 3 и 2 (отрезок 8–1). Пары из испарителя 2 откачиваются компрессором 1в, сжимаются (отрезок 1–2), охлаждаются после сжатия (отрезок 2–3) в теплообменнике 7 и направляются в компрессор вы-

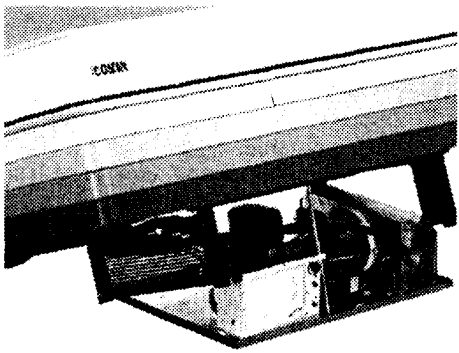


Рис. 7.17
Холодильный прилавок с двухступенчатой холодильной машиной

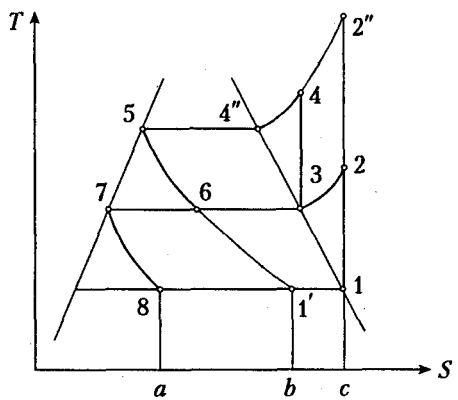


Рис. 7.18
Получение холода при помощи двухступенчатой холодильной машины

сокого давления 1а, где сжимаются (отрезок 3–4) до давления конденсации (отрезок 4–5).

Достоинство такой схемы получения низкой температуры состоит в том, что наряду с низкой температурой обеспечивается получение высокой холодопроизводительности холодильной машины.

В отсутствие двухступенчатого сжатия (рис. 7.18) величина удельной холодопроизводительности q_0, кДж/кг, определялась площадью b–c-1–1′–b. Применение схемы двухступенчатого сжатия позволило получить холодопроизводительность q_0, кДж/кг, эквивалентную площади a–c–1–8–a. Кроме того, при двухступенчатом сжатии затрачивается меньше энергии на совершение сжатия. Площадь 2–2′–4–3–2 эквивалентна энергетическим затратам на сжатие холодильного агента. При полном промежуточном охлаждении паров холодильного агента (отрезок 2–3) после их сжатия в компрессоре низкой ступени (1–2) обеспечивается уменьшение величины энергетических потерь.

Величина промежуточного охлаждения холодильного агента (отрезок 2–3) определяется эффективностью этого процесса в теплообменнике, площадью поверхности теплообмена и другими факторами.

7.6. Получение холода при помощи абсорбционной холодильной машины

Абсорбционные холодильные машины в отличие от холодильных машин, в которых совершается механическая работа, работают при затрате тепловой энергии.

В абсорбционной холодильной машине циркулируют два рабочих вещества: холодильный агент и абсорбент-поглотитель.

В зависимости от принципа их действия абсорбционные холодильные машины делят на холодильные машины непрерывного и периодического типа. Непрерывно действующие машины, в свою очередь, подразделяют на насосные и безнасосные (диффузионные).

Источниками энергии (тепла) для работы абсорбционных холодильных машин служат пар, газ, электричество. Они особенно выгодны там, где есть в достаточном количестве отработанное тепло.

В абсорбционных холодильных машинах в качестве холодильного агента используется преимущественно аммиак, а поглотителем является вода. В установках кондиционирования воздуха используют в качестве абсорбента водный раствор бромистого лития, а холодильным агентом служит вода.

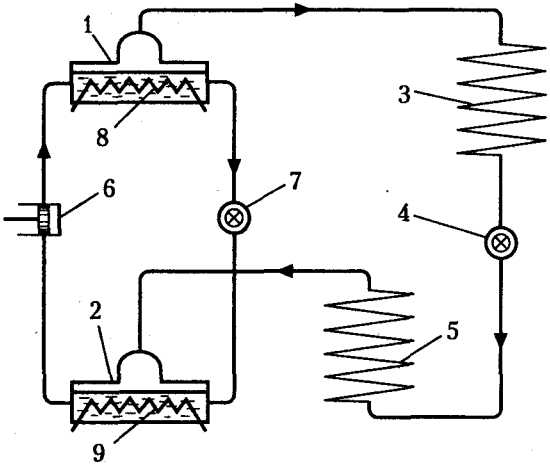


Рис. 7.19
Схема абсорбционной насосной холодильной машины непрерывного действия

1 — кипятильник, 2 — абсорбер, 3 — конденсатор, 4, 7 — регулирующие вентили, 5 — испаритель, 6 — насос, 8 — грелка, 9 — охладитель

7.6.1. Принцип работы абсорбционной насосной холодильной машины непрерывного действия

В системе «абсорбер—кипятильник» (рис. 7.19) циркулирует водоаммиачный раствор переменной концентрации. При этом в абсорбере 2 поддерживается давление такое же, как в испарителе 5, а в кипятильнике 1 — такое же, как в конденсаторе 3.

В абсорбер 2 водоаммиачный раствор поступает с низким содержанием аммиака. Он поглощает пары аммиака, поступающие из испарителя 5, и становится насыщенным. Насыщенный раствор перекачивается насосом 6 в кипятильник 1, где из него выпаривается аммиак, который направляется в конденсатор 3. В конденсаторе холодильный агент конденсируется. Далее он проходит через дросселирующий вентиль 4 и поступает в испаритель 5, где кипит, отнимая тепло от охлаждаемой среды.

В кипятильнике 1 раствор после выпаривания из него аммиака становится слабо концентрированным и через регулирующий вентиль 7 возвращается в абсорбер 2. Здесь раствор вновь обогащается аммиаком, поступающим из испарителя, после чего вновь поступает в кипятильник.

7.6.2. Тепловой баланс абсорбционной холодильной машины

При работе холодильной машины теплоподвод осуществляется в кипятильнике, испарителе и насосе (как эквивалент его механической работы). Отводится тепло в конденсаторе и абсорбере. По закону сохранения энергии уравнение теплового баланса абсорбционной машины представляют в виде:

$$Q_{кип} + Q_{о} + Q_{нас} = Q + Q_{абс}, \qquad (7.14)$$

где

$Q_{кип}$ — тепло кипятильника, Вт;

$Q_{о}$ — тепло испарителя, Вт;

$Q_{нас}$ — тепло насоса, Вт;

$Q_{абс}$ — тепло абсорбера, Вт.

Ввиду малости сравнительно с другими составляющими теплового баланса $Q_{нас}$ этой величиной можно пренебречь.

Эффективность работы абсорбционной холодильной машины можно оценить тепловым коэффициентом ζ, который представляет собой отношение холодопроизводительности $Q_{о}$ к затрачиваемому теплу $Q_{зат}$:

$$\varsigma = \frac{Q_{о}}{Q_{зат}} = \frac{Q_{о}}{Q_{кип} + Q_{нас}}. \qquad (7.15)$$

Если пренебречь величиной $Q_{нас}$, то:

$$\varsigma = \frac{Q_{о}}{Q_{кип}}. \qquad (7.16)$$

Достоинство абсорбционных холодильных машин состоит в простоте конструкции, надежности в работе, бесшумности.

Недостатком абсорбционной холодильной машины является высокая металлоемкость.

В торговле и бытовых целях применяют преимущественно холодильники абсорбционно-диффузионные.

7.6.3. Абсорбционно-диффузионные холодильники

Наиболее широкое распространение получили абсорбционно-диффузионные холодильные машины (рис. 7.20).

При нагреве генератора 1 в нем нагревается крепкий раствор аммиака, пары водно-аммиачного раствора проходят по трубке конденсатора 3 и попадают в конденсатор 4. Водяные пары, охлаждаясь, конденсируются раньше паров аммиака, снова стекают в верхнее отделение

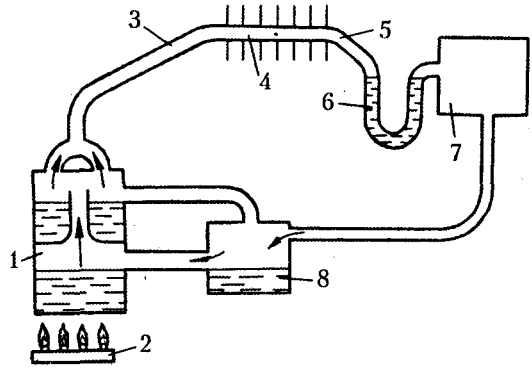


Рис. 7.20
Принципиальная схема работы
абсорбционно-диффузионной холодильной машины

1 — генератор, 2 — нагреватель, 3 — трубка конденсатора,
4 — конденсатор, 5 — наклонная трубка, 6 — сифонная трубка,
7 — испаритель, 8 — абсорбер

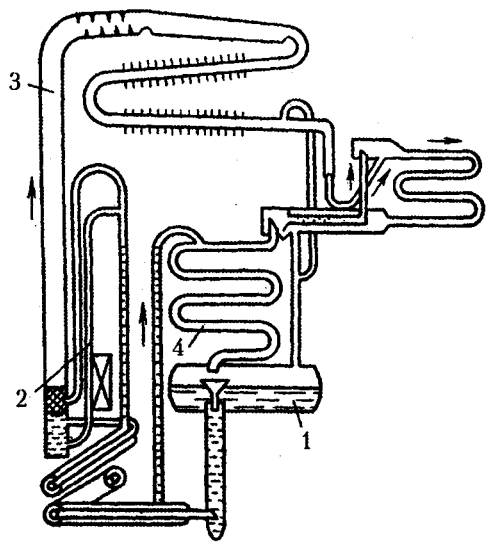


Рис. 7.21
Устройство абсорбционно-диффузионного
холодильника

1 — абсорбер, 2 — термосифон,
3 — пароотводящая трубка, 4 — змеевик

генератора 1 и поступают в абсорбер 8, а пары аммиака, сконденсировавшись, стекают по наклонной трубке 5 в сифонную трубку 6. Оттуда жидкий аммиак поступает в испаритель 7, где начинает кипеть и испаряться при теплоотводе от охлаждаемой среды.

Из испарителя пары аммиака направляются в абсорбер, где насыщаются водой, поступившей из верхнего отделения генератора. Насыщенный раствор аммиака из абсорбера идет в генератор. Затем процесс повторяется.

На рис. 7.21 изображена схема абсорбционно-диффузионной холодильной машины. Абсорбер 1 через зарядный штуцер на заводе заполняется водно-аммиачным раствором с хроматом натрия и водородом. Хромат натрия предохраняет от коррозии внутренние поверхности трубок холодильной машины.

После включения холодильной машины в сеть нагреватель подогревает термосифон 2. Здесь происходит образование паров аммиака, которые попадают в конденсатор по пароотводящей трубке 3.

В конденсаторе горячие пары аммиака охлаждаются воздухом помещения, который омывает наружную поверхность конденсатора. Вместе с парами аммиака в конденсатор поступают и водяные пары.

Конденсация паров воды происходит при более высокой температуре, чем конденсация паров аммиака, поэтому при охлаждении в пароотводящей трубке пары воды конденсируются и каплями стекают в генератор, частично насыщаясь парами аммиака. Пары аммиака в конденсаторе переходят в жидкое состояние. Жидкий аммиак стекает в испаритель. Здесь давление аммиака ниже, чем в конденсаторе, поэтому аммиак испаряется, отнимая тепло от стенок испарителя и соприкасающегося с ним воздуха холодильной камеры.

В верхнюю часть испарителя поступает также водород. В результате диффузии аммиака образуется парогазовая смесь водород–аммиак. Эта смесь по наружной трубе газового теплообменника опускается в абсорбер 1, а затем поднимается по змеевику 4.

Навстречу смеси вниз по змеевику абсорбера движется слабый водный раствор аммиака, поступающий из генератора. Аммиак из парогазовой смеси переходит в раствор. Это приводит к обогащению водно-аммиачного раствора и превращению парогазовой смеси в чистый водород, который по внутренней трубке газового теплообменника вновь поступает в испаритель.

Циркуляция компонентов между генератором и абсорбером, а также между конденсатором и испарителем осуществляется за счет разности уровней находящихся там растворов. Движение водорода и па-

рогазовой смеси между испарителем и абсорбером происходит за счет разности их плотностей.

В холодильном аппарате имеются два теплообменника — жидкостный и газовый. В жидкостном теплообменнике нагревается богатый аммиаком раствор, идущий в генератор, а в газовом теплообменнике охлаждается водород, поступающий в испаритель. Такой цикл работы все время повторяется.

Контрольные вопросы:

1. Каковы теоретические основы получения искусственного холода?
2. Каковы способы получения искусственного холода? Дать краткую характеристику.
3. В чем состоит суть цикла Карно?
4. Чем отличается цикл Карно от теоретического цикла паровой компрессионной холодильной машины?
5. Каким образом достигается низкая температура воздуха в охлаждаемом объеме в сочетании с высокой холодопроизводительностью холодильной машины?
6. Рассмотреть основной принцип получения холода при помощи абсорбционной холодильной машины.

Глава 8
ХОЛОДИЛЬНЫЕ АГЕНТЫ

Холодильные агенты — рабочие вещества холодильных машин, используемые для осуществления обратных термодинамических циклов.

Название холодильных агентов происходит от английского *refrigerant*. Их обозначают по международному стандарту ISO № 817-74 буквой R с добавлением индивидуального для каждого вещества цифрового обозначения.

В качестве хладагентов наиболее широко используются хладоны, полученные на основе метана и этана. Аммиак, пропан, изобутан и т. д. в отличие от производных этих холодильных агентов в холодильной технике менее распространены. Их применение ограничивают токсичность и горючесть. Они используются в герметичном оборудовании с небольшой дозой зарядки хладагента, а также в некоторых типах промышленных холодильников.

Широкое применение находят смеси хладонов, поэтому общее число известных хладагентов насчитывает несколько десятков наименований.

8.1. Основные свойства холодильных агентов

Холодильные агенты должны удовлетворять совокупности требований, определяющих их пригодность для использования в холодильных машинах. Различают термодинамические, физико-химические, физиологические свойства и экономические показатели.

8.1.1. Термодинамические свойства

Термодинамические свойства включают в себя возможность получения в испарителе холодильной машины низкой температуры кипения (а следовательно, и низкой температуры воздуха в охлаждаемом объеме) при давлении не ниже атмосферного. Помимо этого, холодильный агент должен иметь приемлемое давление конденсации (обычно до 2 МПа), что

понижает требования к прочности конструктивных элементов холодильной машины.

Холодильный агент должен иметь высокую удельную объемную холодопроизводительность (q_v, кДж/м^3), что уменьшает размеры компрессора, низкую температуру замерзания, высокое положение критической точки и др.

8.1.2. Физико-химические свойства

Физико-химические свойства включают в себя следующие основные параметры.

Плотность и вязкость холодильного агента должны быть небольшими, что обеспечивает минимум энергетических затрат на перемещение холодильного агента по трубопроводам холодильной машины.

Коэффициенты теплопроводности и теплоотдачи должны быть по возможности высоки, что улучшает теплообмен в теплообменных аппаратах.

Масло в холодильном агенте

В холодильных установках используют масла нефтяного происхождения – минеральные (М) и синтетические (С). В качестве синтетических масел используют жидкости различных классов. К ним относят кремнийорганические, фторорганические, полиэфиры, полигликоли и другие жидкости. Используют также загущенные минеральные масла (МЗ), смеси минеральных масел с синтетическими (МС) и масла, синтезированные из углеводородов (СУ).

К компрессорным маслам для холодильных машин предъявляют специфические требования, обусловленные непрерывным контактом смазывающего материала с хладагентом, а также постоянным изменением температуры и давления среды. Для компрессоров холодильных машин рекомендуют применять синтетические и минеральные масла с достаточно низкой температурой застывания и высокой химической стабильностью.

Важнейшими эксплуатационными характеристиками холодильных масел являются их способность к взаимному растворению с хладонами, а также температура, при которой из раствора выпадают хлопья парафина. При эксплуатации необходимо также учитывать возможную агрессивность смесей хладагента с маслом по отношению к металлам и другим материалам, применяемым в холодильных машинах.

В отечественном холодильном оборудовании наиболее употребительными маслами являются: ХА-30, ХФ12-16 и ХФ22-24, ХС-40.

Масло ХА-30 предназначено для компрессоров, работающих на аммиаке и углекислоте.

Масла ХФ12-16, ХФ22с-16 и ХФ22-24 предназначены для компрессоров, работающих на хладоне.

Масло ХС-40 предназначено для компрессоров холодильных машин всех типов, работающих в диапазоне температур –50...+150 °С.

Для низкотемпературных холодильных машин применяют масла отечественного производства ХФ22-24, ХСН40, ПФГОС-4.

Для смазки винтовых компрессоров применяют масла ХМ35, ХС40, ПТМС-5, для центробежных компрессоров — турбинные КП8, 30, 40 и холодильные ХА30, ХМ35, ХМ50, ХС40.

Основные свойства некоторых масел отражены в табл. 8.4 приложения.

Вращающиеся части компрессора холодильной машины нуждаются в смазке. Поэтому наличие масла в холодильной машине является неизбежным условием ее нормальной эксплуатации.

Пар холодильного агента, выходящий из компрессора, всегда содержит масло. Масло увлекается парами холодильного агента в капельной форме и в виде пара. При движении холодильного агента с маслом оно достигает вначале конденсатора, а затем и испарителя. Влияние, которое масло оказывает на работу теплообменных аппаратов, зависит от взаимной растворимости холодильного агента и масла. Так, жидкий аммиак в малой степени растворяется в минеральных маслах, а его плотность ($\rho \approx 650$ кг/м^3) меньше плотности смазочных масел ($\rho \approx 900$ кг/м^3). По этой причине в аппаратах аммиачных холодильных машин масло располагается в самой нижней зоне аппарата.

В хладоновых теплообменных аппаратах при условии ограниченной растворимости масла слой масла ($\rho \approx 900$ кг/м^3) располагается над слоем хладона ($\rho \approx 1200–1400$ кг/м^3).

Наличие масла в конденсаторе приводит к повышению температуры конденсации, а в испарителе — к понижению температуры кипения. Масло образует на внутренней поверхности теплообменного аппарата пленку, которая создает дополнительное термическое сопротивление теплообмену.

Возврат масла из испарителя в компрессор в хладоновых холодильных машинах является специфической частью выполнения монтажной схемы.

Проще всего этого достигают подачей холодильного агента в верхнюю часть испарителя. При этом испаритель располагают выше компрессора. Уклон трубопроводов в сторону компрессора должен со-

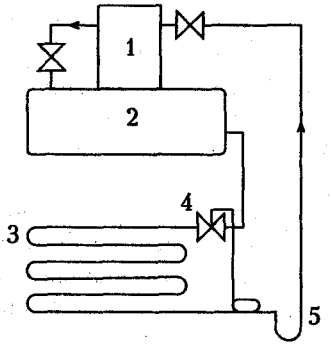


Рис. 8.1
Возврат масла в картер компрессора
при расположении компрессора выше испарителя
1 — компрессор, 2 — конденсатор, 3 — испаритель,
4 — ТРВ, 5 — маслоподъемная петля

ставлять порядка 1–2%. Если компрессор расположен выше испарителя, возврат масла обеспечивается посредством маслоподъемной петли (рис. 8.1).

Масло в петле накапливается и при достаточном его количестве за счет разности давлений в испарителе и компрессоре поднимается, достигая компрессора.

Высота подъема масла должна составлять не более 3 м.

Количество масло в холодильной машине обычно составляет порядка 5% от количества циркулирующего в час хладона, в малых герметичных холодильных машинах — 1,5%.

Влага в холодильном агенте

Влага попадает в холодильную машину из воздуха при выполнении монтажных работ. Она может находиться в холодильном агрегате и трубопроводах при отсутствии тщательной сушки всех элементов холодильной машины. Неосушенная холодильная машина может содержать влагу, которая способна вызвать нарушения в ее работе.

Растворимость воды в холодильном агенте зависит от индивидуальных свойств холодильного агента. Аммиак имеет большое химическое сродство к воде. Его растворение в воде считают неограниченным. Хладоны практически все не растворяют в себе влагу. Малая растворимость влаги в холодильном агенте приводит к ее замерзанию в конструктивных элементах, и прежде всего в дросселирующих устройствах (капиллярной трубке, терморегулирующем вентиле — ТРВ).

Растворимость воды в хладонах зависит от температуры. Например, растворимость воды в R22, выраженная в процентах к весу холодильного агента, составляет соответственно: при +35 °С — 0,169; 0 °С — 0,0596; –20 °С — 0,0282; –30 °С — 0,0186; –40 °С — 0,012. Это значит, что при –30 °С в 1 кг жидкого холодильного агента может содержаться до 186 мг воды.

При наличии влаги в холодильном агенте образуются кислоты, которые могут разрушать металлические части холодильной машины, в том числе разрушать обмотку электродвигателя герметичных компрессоров. Основой образования кислот является попадание припоя внутрь трубопроводов, по которым перемещается холодильный агент.

Наличие влаги в холодильном агенте определяет необходимость применения адсорбентов, поглощающих влагу. Как правило, вещества, поглощающие влагу, помещаются в устройство, которое наряду с поглощением влаги выполняет функцию очистки холодильного агента от грязи, окалины. Эти устройства называют фильтрами-осушителями.

Один из фильтров-осушителей представлен на рис. 8.2.

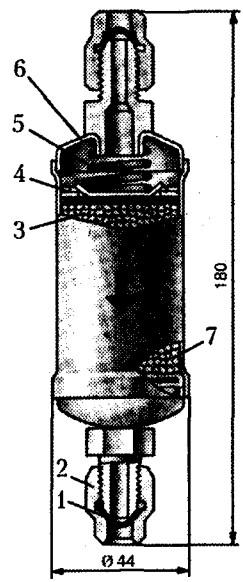


Рис. 8.2
Фильтр-осушитель ФО-60
1 — заглушка, 2 — гайка накидная, 3 — цеолит,
4 — распределитель потока, 5 — пружина, 6 — крышка, 7 — кожух

Адсорбенты

Адсорбенты подразделяют на силикагели и цеолиты. Функция адсорбентов — очистка холодильного агента от влаги и от кислот.

Силикагели

В зависимости от гранулометрического состава и характера пористой структуры силикагели обозначают тремя буквами: первая буква характеризует размер гранул, последняя — размер пор. Так, крупный силикагель мелкопористый обозначают КСМ, мелкий силикагель среднепористый — МСС, мелкий силикагель мелкопористый — МСМ. Средние фракции называют «шихта» и соответственно обозначают ШСК, ШСС, ШСМ.

Синтетические цеолиты

Адсорбционное пространство цеолитов образовано пустотами. В основу классификации цеолитов положено двузначное обозначение: вначале указывается катион, вводимый в решетку цеолита (K, Na, Ca), а затем тип кристаллической решетки цеолита (A или X), табл. 8.1. Если калиевая, магниевая или иные формы цеолита получены из натриевой и катионный обмен произведен не полностью, цеолит обозначают KNaA, MgNaA и т. д. Цеолит NaA-2МШ применяют для домашних холодильников.

Следует отметить, что цеолит NaA-2МШ разлагает хладон R22 и может применяться только в среде хладона R12. Чтобы исключить это явление, используют синтетические цеолиты: 4АХН, 4АХН-2, 4АХН-24.

В малых холодильных машинах в качестве адсорбентов применяют минеральный гранулированный силикагель КСМ (ГОСТ 3956–64), синтетические цеолиты NaA-2МШ и NaA-2КТ. Силикагель КСМ имеет малую механическую прочность.

Цеолиты NaA-2МШ и NaA-2КТ производятся в виде таблеток или чаще шариков.

Сохранение высокой поглощательной способности цеолита при высокой температуре (60 °С) позволяет устанавливать фильтры-осушители на стороне нагнетания.

Таблица 8.1

Классификация цеолитов

Классификация, принятая в России	KA	NaA	CaA	CaX	NaX
Классификация США	3A	4A	5A	10X	13X
Диаметр входного окна, нм	0,3	0,4	0,5	0,8	0,9

При помощи цеолита NaA-2КТ хладон R12 можно осушить до содержания воды $(2–3)10^{-4}$%.

Цеолит NaA-2КТ кроме поглощения влаги способен нейтрализовать продукты окисления.

Воздух в холодильном агенте

В холодильной машине вместе с холодильным агентом может находиться воздух. Это относится преимущественно к холодильным машинам с компрессорами открытого типа и полугерметичным. Воздух в холодильную машину с компрессором открытого типа может попасть при ремонте компрессора и в том случае, если давление холодильного агента на всасывании ниже атмосферного. В этом случае возможно проникновение воздуха в компрессор через сальниковое уплотнение.

В соответствии с законом Дальтона давление смеси равно сумме парциальных давлений ее компонентов, т. е. $P_{см} = P_{ха} + P_{воз}$. Повышение давления в конденсаторе приводит к возрастанию температуры конденсации, уменьшению удельной холодопроизводительности холодильного агента.

Результатом присутствия воздуха в холодильной машине является возрастание энергетических затрат на получение холода и нарушение температурного режима работы холодильной машины.

8.1.3. Экономические требования

Холодильный агент должен быть достаточно дешевым.

Выбор холодильного агента определяется совокупностью всех перечисленных качеств и целевого использования холодильной машины.

8.1.4. Физиологические и экологические требования

Холодильный агент должен быть нетоксичным, взрыво- и пожаробезопасным. Он не должен влиять на экологию и прежде всего не вызывать разрушения озонового слоя Земли и не приводить к возникновению парникового эффекта.

Основные требования безопасности с холодильными агентами отражены в ГОСТ Р 12.2.142-99 (ИСО 5149-93).[1] Перечень требований к условиям эксплуатации холодильных машин приведен в гл. 22.

[1] Система стандартов безопасности труда. Системы холодильные холодопроизводительностью свыше 3,0 кВт. Требования безопасности.

8.2. Обозначения хладагентов и их смесей

В качестве первого хладагента использовалась вода, поскольку с 1755 г. она служила «для получения фригорий (отрицательных калорий)» в лабораторной установке, которую создал Уильям Гуллен (William Gullen). Позднее, в 1834 г., Якоб Перкинс (Jacob Perkins) изготовил компрессионную машину, работавшую на диэтиловом эфире, а в 1844 г. Джон Горри (John Gorrie) — машину со сжатием и расширением воздуха. В 1859 г. Фердинанд Карри (Ferdinand Carre) создал абсорбционную холодильную машину, использующую в качестве холодильного агента аммиак, а 4 года спустя Чарлз Теллир (Charles Tellir) запустил компрессор, работающий на метиловом эфире. Были опробованы еще хладагенты: углекислый газ (CO_2) и двуокись серы (SO_2). Из перечисленных хладагентов аммиак стал использоваться не только для адсорбционных холодильных машин, но и для компрессионных.

Этих три последних хладагента, а именно аммиак (R717), углекислый газ (R744) и двуокись серы (R764), оставались наиболее распространенными вплоть до 1930 г. Но после внедрения в 1930 г. в США новой категории хладагентов — хлорфторуглеродов, хорошо известных под аббревиатурой CFC, все ранее упоминавшиеся хладагенты, за исключением аммиака, почти полностью исчезли. Однако начиная с 1980 г. ученые стали подавать тревожные сигналы, привлекая внимание общественности к вредному воздействию CFC на окружающую среду. Поэтому производители начали разработку менее вредных для экологии планеты хладагентов, некоторые из которых уже появились на рынке. Эти хладагенты, заменяющие группу CFC, принадлежат главным образом к двум категориям химических соединений — фторхлорсодержащим углеводородам (HCFC) и фторуглеводородам (HFC).

Хотя число широко используемых хладагентов было сокращено, их номенклатура остается еще достаточно многочисленной. Чтобы обеспечить их обозначение, была введена система буквенно-цифровых индексов. Эта система установлена для всех химических соединений, состав которых не всегда в точности совпадает с описанными выше категориями CFC, HCFC или HFC (ГОСТ 29265-91 (ISO 817-74). Хладагенты органические (Хладоны). Цифровые обозначения.

8.2.1. Предельные углеводороды, их галогенные производные

Они обозначаются буквой **R** с тремя цифрами после нее, т. е. **Rcdu**, где:

- **c** (сотни) равно числу атомов углерода, уменьшенному на единицу;

- **d** (десятки) равно числу атомов водорода, увеличенному на единицу;
- **u** (единицы) равно числу атомов фтора.

Для определения химической формулы соединения ее состав дополняют хлором таким образом, чтобы полное число одновалентных атомов, т. е. атомов водорода, фтора и хлора, вместе взятых, было равно 4 для производных метана, 6 — для производных этана, 8 — для производных пропана и т. д.

Пример1

Хладон R12, химическая формула CF_2Cl_2 (дифтордихлорметан), его обозначение следовало бы записать как R012. Хладон имеет следующее число атомов: nC =1, nH =0, nF =2, следовательно, R(1 – 1 = 0)(0 + 1)(1 + 1)= = R012 или R12;

Хладон R22 (R022) имеет: nC = 1, nH = 1, nF = 2, следовательно, nC1 = 1; его формула CHF_2Cl, т. е. дифторхлорметан.

Хладон R114 имеет: nC = 2, nH = 0, nF = 4, следовательно, nC1 = 2; его формула $C_2F_4Cl_2$, т. е. тетрафтордихлорэтан.

В случае если в составе соединения имеется бром, в его обозначении появляется буква B (хотя химический символ брома — Br), за которой следует число атомов брома.

Пример 2

Хладон R13B1 (R013B1) имеет: nC = 1, nH = 0, nF = 3, nBr = 1; его химическая формула CF_3Br, т. е. трифторбромметан.

Изомеры производных этана имеют один и тот же цифровой индекс, и то, что данный изомер является полностью симметричным, указывается его индексом без каких-либо уточнений. По мере возрастания значительной асимметрии к цифровому индексу соответствующего изомера прибавляется буква a, при еще большей асимметрии она заменяется буквой b, затем c. Например, R134a или R142b и т. п.

8.2.2. Непредельные углеводороды и их галогенные производные

Способ цифрового обозначения тот же самый, что и в предыдущем случае, но слева после буквы добавляется 1 для обозначения тысяч (например, R1150).

8.2.3. Циклические углеводороды и их производные

Для хладагентов на основе циклических углеводородов и их производных после буквы R перед цифровым индексом включают букву C (например, RC270).

8.2.4. Различные органические соединения

Им присвоена серия 600, а номер каждого хладагента внутри этой серии назначается произвольно (например, метиламин имеет номер 30, следовательно, его обозначение запишется как R630).

8.2.5. Различные неорганические соединения

Им присвоена серия 700, а идентификационный номер хладагентов, принадлежащих к этой серии, определяется как сумма числа 700 и молекулярной массы каждого хладагента. Например, для аммиака, химическая формула которого NH_3, имеем $1 \cdot 14(N) + 3 \cdot 1(H3) + 700 = 717$; таким образом, обозначение NH_3 записывается как R717.

8.2.6. Смеси хладагентов

Смеси хладагентов обозначаются согласно международному стандарту ISO № 817-74.

В ряде стран действуют национальные стандарты на обозначение хладагентов, учитывающие основные положения международного стандарта.

В Германии в ноябре 1998 г. был принят стандарт DIN 8960 по обозначению хладагентов. Смеси обозначают номерами входящих в смесь хладагентов (в порядке возрастания температур кипения), разделенными дробной чертой, с указанием в скобках массовых долей в процентах, а также условно принятыми номерами рядов 400, 500.

Неазеотропные смеси

Для обозначения неазеотропных смесей используется цифровой ряд 400 с произвольным номером для каждого хладагента внутри этой серии. У неазеотропных холодильных смесей (ряд 400) температура смеси в процессе кипения возрастает до значения t_{01} — так называемый температурный гистерезис, или скольжение. В состоянии термодинамического равновесия пар и жидкость имеют различный состав, первым начинает испаряться более летучий компонент, что изменяет характеристики остающейся смеси.

Смеси, которые содержат одинаковые исходные компоненты, но различаются их массовыми соотношениями, обозначаются заглавной буквой, стоящей после цифрового обозначения. Для обозначения органических соединений, не попавших в эти ряды, предназначен ряд 600, при этом нумерация соединений задается произвольно, например R600.

Азеотропные смеси[1]

Им присвоена серия 500 также с произвольным номером каждого хладагента внутри этой серии. Например, типичной азеотропной смесью является хладагент R502, состоящий из 48,8% R22 и 51,2% R115. Особое обозначение имеют хладагенты на основе предельных углеводородов, содержащих бром. Им присвоено двойное обозначение, начинающееся либо с буквы R и имеющее в своем составе букву B, как рассмотрено ранее (например, R13B1), либо с буквы H, за которой следуют те же цифры 1 и 3, но далее к ним добавляются еще две цифры, первая из которых указывает число атомов хлора, а вторая — число атомов брома. Например, трифторбромметан (CF_3Br), у которого число атомов хлора равно 0, а атомов брома — 1, может обозначаться либо R13B1, либо H1301.

8.2.7. Современные тенденции в обозначении холодильных агентов

В настоящее время появилась тенденция при обозначении хладагента предварять цифровой индекс не буквами R или H, а аббревиатурой, уточняющей воздействие на окружающую среду. Например, предлагаются обозначения:

- CFC12 для хладагента R12, относящегося к категории CFC, в которую входят чрезвычайно вредные для окружающей среды хладагенты, поскольку их молекулы содержат атомы хлора (в CFC12 два атома хлора, его формула CF_2Cl_2);
- HCFC142b для R142b, относящегося к категории HCFC, состоящей из хладагентов средней или слабой вредности для окружающей среды, так как их молекулы содержат меньше, чем CFC, атомов хлора, поскольку часть их замещена атомами водорода (формула HCFC142b CH3-CClF2);
- HFC134a для R134a, относящегося к категории HFC, состоящего из хладагентов, безвредных для окружающей среды, поскольку все атомы хлора в их молекулах замещены атомами водорода (формула HFC134a CH2F-CF3).

[1] Азеотропные холодильные смеси при изменении агрегатного состояния ведут себя как однородные вещества — температура кипения хладагента t_o, °C, состав газовой и жидкой фаз в процессе кипения не изменяются.

8.2.8. Фирменные обозначения отдельных холодильных агентов

Каждый производитель хладагентов выпускает в продажу свою продукцию под собственным наименованием, например:

- *Du Pont de Nemour* имеет торговую марку Фреон (*Freon*) или Сува (*Suva*);
- *Elf Atochem* — торговую марку Форан (*Foran*);
- *Solvay* — торговую марку Кальтрон (*Kaltron*);
- *ICI* — торговую марку Клеа (*Klea*);
- *Daikin Kogyo* — торговую марку Дайфлон (*Daiflon*) и т. д.

Поэтому R22 может поступать на рынок под марками Фреон-22, Форан-22 и т. д., R134a — под марками Клеа134a, Сува134a и т. д.

8.3. Основные типы фторуглеводородных хладагентов

8.3.1. Хлорфторуглероды (ХФУ)

Хладагенты этого типа включают R11, R12, R13, R113, R500, R502 и R503. Они обладают высоким показателем разрушения озонового слоя (ODP) относительно фтортрихлорметана (R11) и потенциалом глобального потепления относительно двуокиси углерода на расчетный период 100 лет (GWP100).

К началу 1970-х гг. мировой рынок хлорфторуглеводородов (ХФУ) достиг огромных размеров. Исследования, проведенные в это время, показали, что некоторые из этих композиций необычайно долговечны в силу своей химической стабильности и могут существовать в атмосфере без разрушения в течение десятков лет, достигая стратосферы. Кроме того, многие из этих соединений содержат атомы хлора, которые вступают во взаимодействие с озоном при разрушении молекулы ХФУ в верхних слоях атмосферы. Стратосферный озон поглощает большую часть солнечных ультрафиолетовых лучей. Разрушение озонового слоя увеличивает уровень ультрафиолетовой радиации на Земле, что может приводить к раковым заболеваниям у людей и животных, а также гибели растений.

8.3.2. Гидрохлорфторуглероды (ГХФУ)

Композиции этого типа содержат атомы водорода. Это приводит к более короткому времени существования этих хладагентов в атмосфере по сравнению с ХФУ. Как результат ГХФУ оказывают гораздо мень-

шее влияние на истощение озонового слоя. Многие продукты, предлагаемые сейчас в качестве альтернативных для замены ХФУ, содержат в своем составе ГХФУ, как, например, R22.

8.3.3. Гидрофторуглероды (ГФУ)

ГФУ не содержат хлора, а содержат только водород и фтор. Они не разрушают озоновый слой и имеют короткий период жизни в атмосфере. ГФУ считаются долгосрочными альтернативными заменителями. ХФУ и ГХФУ для большинства холодильных систем, например R134a или R404a.

8.4. Требования Монреальского протокола к холодильным агентам

Монреальский протокол опирается на две численные характеристики каждого из хладонов — потенциал разрушения озонового слоя (ODP) и потенциал глобального потепления (GWP).

Потенциал разрушения озонового слоя (ODP) хладона показывает, насколько сильнее или слабее это соединение разрушает озон по сравнению с таким же количеством хладона R11.

Появление второй характеристики — GWP связано с наблюдаемым за последнее десятилетие усилением парникового эффекта. В справочной литературе его указывают относительно диоксида углерода с принятым для него временным рубежом 100 лет.

Данные по основным наиболее употребительным холодильным агентам отражены в табл. 8.2.

В 1987 г. в Монреале всеми индустриально развитыми государствами был подписан международный протокол о постепенном сокращении, а затем и полном прекращении выпуска озоноопасных хладагентов. Но проблема продолжала обостряться, и в ноябре 1992 г. в Копенгагене на очередной встрече стран — участниц Монреальского протокола была принята более жесткая редакция этого документа. В настоящий момент установлены следующие сроки запрета производства и применения озоноразрушающих хладагентов:

- R11, R12, R502 — полное прекращение производства 1 января 1996 г. На 1 января 1994 г. выпуск этих соединений составлял в соответствии с Монреальским протоколом только 25% от уровня 1989 г.
- *R22* — отнесен к группе соединений, имеющих меньшую экологическую опасность. Первое сокращение производства этих соеди-

нений должно начаться в 2004 г., а полностью они исчезнут с рынка в 2030 г.

Монреальский протокол наложил жесткие экономические ограничения не только на производство и применение ХФУ, но и на торговлю, экспорт и импорт любой холодильной техники, содержащей ХФУ.

Кроме Монреальского протокола мощным движущим фактором отказа от озоноразрушающих хладагентов является внутреннее регулирование, введенное в ряде государств. Так, в странах ЕС прекращение производства ХФУ произошло 1 января 1995 г. В ряде стран, например в США, потребитель ХФУ вынужден при покупке этих продуктов заплатить государственный налог, который превышает стоимость самого хладона. Аналогичные меры введены в Чехии.

Советский Союз подписал Монреальский протокол в 1987 г. В 1991 г. Россия, Украина и Беларусь подтвердили свою правопреемственность этому решению.

Таблица 8.2

Основные параметры холодильных агентов

Номер хладагента	Химическая формула, состав, торговая марка	M, кг/моль	$t_{кип}$, °С	$t_к$, °С	$P_к$, МПа	ODP	GWP
R11	CCl_3F	137,37	23,8	198,0	4,47	1	4000
R12	CCl_2F_2	120,91	–29,8	111,8	4,12	0,9	8500
R22	$CHClF_2$	86,47	–40,8	96,2	4,99	0,05	1700
R134a	CH_2FCF_3	102,03	–26,1	101,1	4,06	0	1300
R404a	R125/R134a/R143 (44/52/4) HP62, FX70	97,6	–46,5	72,1	3,73	0	3850
R717	NH_3	17,03	–33,3	133,0	11,42	0	<1
R744	CO_2	44,01	–78,4	31,1	7,38	0	1
R290	$CH_3CH_2CH_3$ (пропан)	44,10	–42,8	96,8	4,25	0	3
R600a	$CH(CH_3)_2CH_3$ (изобутан)	58,12	–11,8	135,0	3,65	0	–

8.5. Проблемы ретрофита[1]

Пользователи холодильного оборудования могут продолжать использовать хладон R12 и R502, но должны быть готовы к тому, что цены на эти хладоны будут расти и превысят цены на озонобезопасные хладагенты. Две главные причины тому: государственное регулирование и резкое сокращение производства этих хладонов при большом спросе на них. Уже сейчас стоимость новых хладагентов ниже, чем стоимость R502. Такая же тенденция и с R12.

Поскольку количества хладонов R12 и R502, поставляемых на рынок, быстро сокращаются, то владельцы полугерметичных и открытых холодильных систем должны сейчас рассмотреть возможность ретрофита их оборудования на сервисные хладагенты (на основе ГХФУ).

Владельцы герметичного оборудования могут проводить ретрофит только в случае утечки. Оборудование, которое приближается к концу его срока службы, может быть заменено на новое, заправленное ГФУ.

8.6. Перевод холодильного оборудования, работающего на озоноопасных хладагентах, на альтернативные хладагенты

В настоящий момент существуют три наиболее распространенных типа альтернативных хладагентов: сервисные хладагенты SUVA, долгосрочные хладагенты — ГФУ (гидрофторуглероды), нефторированные (чистые) хладагенты. Наряду с ними отечественные производители рекомендуют трехкомпонентные смеси на основе гидрохлорфторуглеродов R22, R21, R142b в процентном соотношении 53/13/34, состоящие из переходных хладонов, разрешенных к использованию в Российской Федерации до 2025 г.

8.6.1. Сервисные хладагенты SUVA

Альтернативные хладагенты этого типа — это решение при сервисном обслуживании холодильной техники, так как позволяют использовать ее до конца установленного срока службы. Для этих целей часто используют сервисные смеси SUVA, состав которых обеспечивает пер-

[1] Перевод холодильного оборудования, работающего на озоноразрушающих хладагентах, на альтернативные хладагенты получил название «ретрофит».

воначальные эксплуатационные характеристики холодильной системы.

Для сервисных смесей SUVA подходит алкилбензольное масло, которое смешивается с минеральным маслом. Поэтому не нужна дорогостоящая многократная промывка системы маслом. Однако необходимо удалить из системы как можно больше старого масла (не менее 50%). В последнее время компрессоры, работающие на R12, поступают уже заправленными алкилбензольным маслом. В этом случае процесс «ретрофита» еще более упрощается.

Все эти обстоятельства делают перевод работающего оборудования на сервисные смеси SUVA экономически целесообразным. Однако следует помнить, что в состав смесей входит R22, поэтому время их использования ограничено (ориентировочно 20 лет). Сервисные смеси включают в себя серию хладагентов SUVA MP (смеси среднего давления) и SUVA HP (смеси высокого давления):

- SUVA MP39 — основной хладагент для ретрофита большинства среднетемпературных холодильных систем, заправляемых R12.
- SUVA MP66 — сервисный хладагент для ретрофита холодильных систем, заправленных R12 и работающих при температуре кипения ниже –15 °С. Этот же хладагент является основным хладагентом для ретрофита транспортного холодильного оборудования.
- SUVA HP80 — альтернативный хладагент для ретрофита холодильных систем, заряженных R502, в которых необходимо получить ту же температуру нагнетания, что и в исходной системе.
- SUVA HP81 — альтернативный хладагент для ретрофита холодильных систем, заряженных R502, который обеспечивает более высокий коэффициент эффективности, но одновременно немного увеличивает температуру нагнетания.

8.6.2. ГФУ (гидрофторуглероды) — долгосрочные хладагенты

Обладая нулевым потенциалом истощения озонового слоя, ГФУ не запрещаются к производству и применению и поэтому являются наиболее оптимальным решением при производстве большинства новых холодильных систем, а также для ретрофита некоторых типов холодильного оборудования.

Предлагаемой долгосрочной альтернативной заменой для R12 является R134a. Этот хладагент производится фирмой «Дюпон» в про-

мышленных масштабах с 1991 г. под маркой SUVA 134a. R134a стал основным альтернативным хладагентом для холодильных систем, которые ранее заправлялись R12, таких как бытовые холодильники и морозильники, торговое и транспортное холодильное оборудование, а также промышленные холодильные установки.

SUVA 134a — однокомпонентный хладон, термодинамические свойства которого очень близки свойствам R12. Этот хладон — главная замена R12 в новом оборудовании (приложение, табл. 8.2).

К сожалению, не существует однокомпонентного хладона, который по своим свойствам был бы близок к свойствам R502. Предлагаемые альтернативные хладагенты для замены R502 (и позже R22, приложение, табл. 8.2) представляют собой смеси двух или трех ГФУ.

Несмотря на то что на рынке существует сейчас много смесей для замены R502 на основе ГФУ (приложение, табл. 8.3), наибольшее распространение получила смесь производства фирмы «Дюпон» SUVA HP62 (R404a).

SUVA HP62 (R404a) представляет собой трехкомпонентную смесь ГФУ-134a, ГФУ-143a и ГФУ-125. Этот хладон — главная замена R502 в новом оборудовании.

SUVA 134a с успехом используется для проведения ретрофита по методике, сходной с методикой, аналогичной методике замены сервисных смесей. Однако в отличие от сервисных смесей (на основе ГХФУ) ГФУ требует, чтобы остаточное содержание минерального масла было менее 5%, а предпочтительнее — менее 1%. Также ГФУ для эффективной работы требуют применения синтетических полиэфирных масел. Для того чтобы снизить остаточное содержание минерального масла до требуемого уровня, обычно необходимы по крайней мере три промывки. Рекомендуемая процедура промывки включает удаление старого масла и замену его на полиэфирное масло требуемой вязкости. После этого система должна проработать в течение определенного периода времени, обычно 2–14 дней. После этого срока систему вновь заполняют свежим полиэфирным маслом. После повторения этой процедуры по крайней мере еще один раз хладон R12 заменяют хладоном R134a.

Следует отметить, что если содержание минерального масла в системе не снижено до необходимого уровня, то это приводит к тому, что оно скапливается в испарителе, что приводит к ухудшению теплопередачи в нем и затруднению работы компрессора. В свою очередь, это приводит к ухудшению рабочих параметров системы и в конечном итоге может повлечь выход компрессора из строя.

8.6.3. Нефторированные (чистые) хладагенты

К этой группе холодильных агентов относятся альтернативные хладагенты: углеводороды (пропан изобутан и др.) и аммиак. Токсичность и горючесть этих хладагентов ограничивают их применение. Они используются в герметичном оборудовании с небольшой дозой зарядки хладагента, а также некоторыми типами промышленных холодильников.

8.6.4. Ретрофит без замены масла

Отечественные производители холодильных агентов предлагают более удобные для практического пользования смеси, чем, например, SUVA MP39 (приложение, рис. 8.1).

Хладагенты группы С10М1 марки А и Б (ТУ 2412-003–32837395-98) — это трехкомпонентные смеси. Они выполнены на основе гидрохлорфторуглеродов: R22/R21/R142b. Их состав в процентном соотношении составляет: марки А — 65/5/30, и марки Б — 65/15/20. Смеси состоят из переходных хладонов, разрешенных к использованию в Российской Федерации до 2025 г. Состав смесей подобран таким образом, чтобы рабочие характеристики оборудования с этими хладагентами минимально отличались от показателей, достигаемых при работе с заменяемым хладоном R12. Хладоны марки Б пригодны для всех типов торгового холодильного оборудования, включая домашние холодильники.

Диаграмма состояния холодильного агента С10М1 отражена в приложении, рис. 8.1.

Перевод холодильного оборудования с R12 на С10М1 осуществляется исключительно заменой самого хладагента без какой-либо модернизации холодильного оборудования, без внесения изменений в конструкцию холодильной машины и без замены компрессорного масла (в холодильном оборудовании, работающем на R12, повсеместно используется отечественное минеральное масло ХФ12-16). При использовании хладагентов SUVA MP39 и FORANE FX56 применение минерального масла недопустимо, а совместимые с ними синтетические масла гигроскопичны, трудны в обращении, стоимость их много выше, чем масла ХФ12-16. Масла для хладонов SUVA являются экспортной продукцией, что увеличивает стоимость ретрофита.

8.6.5. Возможные замены хладонов

В Германии Министерство экологии и охраны окружающей среды рекомендует перевод существующих холодильных установок, работающих на хладагенте R12, на R22 и R134a. Однако для этих целей мож-

но использовать также и другие хладагенты с низким потенциалом истощения озонового слоя, например R410A, R507.

Для замены хладагента R502 рекомендуются следующие холодильные смеси:

- R 404A (R125/ R134a/R143);
- R 407A и R407B (R32/R125/R134a);
- R 507 (R125/R143a);
- R 32/R125/K143a (10%/45%/45%) — торговая марка FX 40, *Elf Atochem.*

Кроме указанных выше смесей в качестве замены для R502 можно найти хладагенты с более низким значением потенциала истощения озонового слоя.

В качестве альтернативы используемым в настоящее время в промышленных и коммерческих установках хладагентам R12, R22 и R502 уже давно рекомендуются так называемые природные хладагенты, такие как пропан (R290), изобутан (R600a) и аммиак (R717), которые не представляют угрозы для окружающей среды. Однако при использовании таких хладагентов должны строго выполняться все предписанные меры предосторожности, позволяющие избежать опасных воздействий на обслуживающий персонал или сооружения, в которых установлены холодильные установки.

Хладагенты и смеси для замены R12, R22 и R502 отражены в табл. 8.2–8.4 приложения.

8.7. Краткая информация по основным холодильным агентам

- **R717**. Аммиак. Формула NH_3. Бесцветный газ с характерным резким запахом. Токсичен, сильно раздражает слизистые оболочки глаз и дыхательных путей, ПДК (предельно допустимая концентрация) составляет 20 мг/м^3. Пожаро- и взрывоопасен. Класс опасности — 1. Хорошо растворяет воду. Химически инертен по отношению к черным металлам и бронзе, однако в присутствии влаги реагирует с медью и медно-цинковыми сплавами, а также быстро ухудшает качество смазочных масел. На порядок дешевле хладонов. Давление конденсации при +30 °С равно 1,168 МПа; температура кипения при атмосферном давлении –33,34 °С; теплота парообразования — 1369,7 кДж/кг.

- **R22**. Дифторхлорметан. Формула CFClH. Бесцветный газ со слабым запахом трихлорметана. Нетоксичен, ПДК 3000 мг/м³. Негорюч. Класс опасности — 4. Плохо растворяет воду, поэтому холодильная система требует тщательной осушки. Хороший растворитель органики и резины, инертен к большинству металлов. Давление конденсации при +30 °С равно 1,191 МПа; температура кипения при атмосферном давлении –40,81 °С; теплота парообразования — 233,2 кДж/кг.
- **R134a**. Тетрафторэтан. Формула CFCFH. Бесцветный газ. ПДК в настоящее время не установлена. Трудногорюч. Класс опасности — 4. Инертен к большинству металлов. Давление конденсации при 30 °С равно 0,773 МПа; температура кипения при атмосферном давлении –26,5 °С; теплота парообразования — 216,5 кДж/кг.
- **R404a**. Неазеотропная смесь чистых хладагентов R125/143a/134a в пропорции 44/52/4% по массовым долям, поэтому кипение в испарителе происходит при переменной температуре (изменение температуры по длине аппарата около 5 °С). Температура кипения при атмосферном давлении –46,5 °С, теплота парообразования близка к хладону R22. Высокое давление конденсации (порядка 2–2,8 МПа) повышает требования к качеству монтажных работ.

8.8. Хранение и перевозка холодильных агентов

8.8.1. Емкости для холодильных агентов

Если речь идет о небольших количествах холодильных агентов, то они поставляются в емкостях из алюминия. Такие емкости, имея прочность не ниже стальных емкостей, обладают существенным преимуществом: они вдвое легче, чем стальные.

С тех пор как возникла необходимость регенерации для повторного использования сливаемых из установок использованных хладагентов, понятие «чистые хладагенты» относится как к тем, что еще не были в эксплуатации, так и к тем, что уже использовались, но были регенерированы в отличие от загрязненных хладагентов, извлеченных из установки. В связи с этим следует различать сосуды для чистых хладагентов и для загрязненных. Эти два типа сосудов внешне различают по окраске. Для сосудов, специально предназначенных для слива в них хладагентов, которые подлежат регенерации, предусмотрена зеленая флюоресцирующая окраска, тогда как чистые сосуды для неисполь-

зовавшихся или регенерированных хладагентов окрашиваются в различные цвета в зависимости от марки хладагента, а именно:

- бледно-серый для R12;
- ярко-зеленый для R22;
- бледно-голубой для R134a;
- розовый для R142b и т. д.

Независимо от того, для каких хладагентов, чистых или загрязненных, предназначены емкости, они должны быть испытаны на прочность при давлении, как минимум в 1,5 раза превышающем давление насыщенных паров соответствующего хладагента при температуре 50 °С, считающейся базовой температурой для Европейской территории (для тропических территорий исходят из другого коэффициента запаса прочности и температуры 65 °С). Так, например, минимальное давление испытания сосуда, предназначенного для хранения **R22**, составит 1,5 · 19,42 = 29,13 бар, где величина давления взята из таблицы насыщенных паров.

Баллон, испытанный при одном и том же давлении, может быть заполнен различными средами, однако при этом необходимо убедиться, что максимальное количество залитого в него вещества меняется при переходе от одного хладагента к другому.

Заправка зависит одновременно от внутреннего объема баллона (называемого также заправкой по воде) и плотности заливаемого сжиженного хладагента. Следовательно, для каждого продукта существует своя максимальная степень заполнения, которая зависит от характеристик холодильного агента и выражается в килограммах на литр заправки по воде.

Степень заполнения оговаривается международными или национальными требованиями и определяется в зависимости от занятого объема и давления, развивающегося при данной температуре.

8.9. Техника безопасности при эксплуатации холодильных машин с учетом свойств холодильных агентов

В зависимости от степени опасности и характера физиологического воздействия на людей, воспламеняемости и взрывоопасности смесей с воздухом холодильные агенты подразделяют на три группы:

1. Невоспламеняющиеся, нетоксичные холодильные агенты.

2. Токсичные и вызывающие коррозию холодильные агенты, нижний предел воспламенения которых (или нижняя граница взрыва) составляет более 3,5% по объему в смеси с воздухом.
3. Холодильные агенты, нижний предел воспламенения которых (нижняя граница взрыва) ниже 3,5% по объему в смеси с воздухом.

При использовании холодильных агентов разных групп в одной и той же системе охлаждения должны учитываться правила каждой группы.

Группа 1

К этой группе относятся невоспламеняющиеся холодильные агенты, имеющие такие свойства, что при полной зарядке ими системы в количестве, достаточном для охлаждения объекта, весь хладагент (вся зарядка) может быть выброшен в окружающую среду, где находятся люди, и при этом не будут превышены пределы концентрации, указанные в табл. 8.3.

Использование системы непосредственного охлаждения в помещении, занятом людьми, представляет собой важную проблему безопасности. Непосредственные системы должны подчиняться требованиям в отношении разрешенного количества хладагентов, регламентируемых из-за их токсичности и опасности асфиксии. Токсичные продукты разложения могут при некоторых условиях получаться в результате контакта с пламенем или нагретыми поверхностями.

Основными продуктами разложения хладагентов группы 1 кроме углекислого газа являются соляная и фтористоводородная кислоты. При всей их токсичности они автоматически надежно дают о себе знать благодаря чрезвычайно резкому, раздражающему запаху даже при слабой концентрации.

Практически допустимая концентрация определяется при помощи табл. 8.3, относящейся к самому малому помещению, занятому людьми. При этом поступление воздуха в охлаждаемый объем принимается не менее 25% от полного объема поступления воздуха в данный объем. Это ограничивает концентрацию, которая могла бы получиться в результате утечки хладагента из системы.

Система, содержащая хладагент группы 1 в количестве, большем, чем это допускается по табл. 8.3, должна быть выполнена по схеме системы промежуточного типа, и все части, содержащие хладагент, за исключением трубопроводов, должны быть размещены в машинном отделении или вне здания. Необходимо следить за тем, чтобы не образовывались застойные зоны хладагента более тяжелого, чем воздух. Во

всех случаях необходимо заботиться о том, чтобы уменьшить утечки хладагента в окружающую среду.

Группа 2

К этой группе относят токсичные холодильные агенты. Несколько хладагентов этой группы являются также воспламеняемыми, но с нижней границей воспламеняемости, равной или выше 3,5% по объему, что требует надлежащих дополнительных ограничений.

Аммиак — единственный холодильный агент этой группы, который широко применяется в холодильной промышленности. У него есть пре-

Таблица 8.3

Допустимая концентрация паров холодильных агентов

Цифровое обозначение хладагента	Химическое название	Химическая формула	Практически допустимая концентрация[1], кг/м^3
R11	Фтортрихлорметан	CCl_3F	0,3
R12	Дифтордихлорметан	CCl_2F_2	0,5
R12B1	Дифторбромхлорметан	$CBrClF_2$	0,2
R13	Трифторхлорметан	$CClF_3$	0,5
R13B1	Трифторбромметан	$CBrF_3$	0,6
R22	Дифторхлорметан	$CHClF_2$	0,3
R23	Трифторметан	CHF_3	0,3
R113	Трифтортрихлорэтан	CCl_2FCClF_2	0,4
R114	Тетрафтордихлорэтан	$CClF_2CClF_2$	0,7
R500	R12(73,8%) + R152a (26,2%)	CCl_2F_2/CH_3CHF_2	0,4
R502	R22(48,8%) + R115 (51,2%)	$CHClF_2/CClF_2CF_3$	0,4
R503	R23(40,1%) + R13 (59,9 %)	R23(40,1%) + R13 (59,9%)	0,4
R744	Углекислый газ	CO_2	0,1

[1] Практические пределы концентраций для хладагентов группы 1 составляют менее половины значений, соответствующих границам их наркотического действия.

имущество. Он благодаря своему резкому запаху сигнализирует об утечке даже при концентрации, гораздо более низкой, чем уровень концентрации, представляющий опасность. Аммиак воспламеняется лишь в очень ограниченном диапазоне концентраций. При повышении температуры воспламеняемость аммиака увеличивается.

Все другие холодильные агенты этой группы используют редко и рассматривают как вышедшие из употребления. Они представляют лишь теоретический интерес.

Группа 3

К этой группе относят взрывоопасные и легковоспламеняемые холодильные агенты с нижней границей воспламеняемости ниже 3,5% по объему. Эти холодильные агенты обычно слаботоксичны.

Практически допустимая концентрация паров холодильных агентов группы 1 при аварийных ситуациях указана в табл. 8.3.

Контрольные вопросы:

1. Каковы основные свойства холодильных агентов?
2. Как взаимодействует холодильный агент и масло в холодильной машине?
3. В какой мере присутствие влаги в холодильной машине препятствует ее нормальной работе?
4. Какие используются способы борьбы с влагой в холодильной машине?
5. В чем состоит суть Монреальского протокола?
6. В чем состоит проблема ретрофита?
7. Каковы основные свойства наиболее часто используемых холодильных агентов?
8. Как обеспечиваются хранение и перевозка холодильных агентов?
9. Каковы основные требования к технике безопасности при эксплуатации малых холодильных установок?

Глава 9
ХЛАДОНОСИТЕЛИ

Хладоносители — это рабочие вещества холодильных машин, служащие для передачи холода от хладагента к охлаждаемой среде и не участвующие в термодинамическом цикле его выработки. Использование хладоносителей всегда является невыгодным с точки зрения термодинамики получения холода, так как возрастает разность температур между хладагентом и охлаждаемой средой. Применение хладоносителей увеличивает капитальные затраты на холодильную установку, поэтому применение хладоносителей целесообразно только в ряде специальных случаев. К ним относятся достаточно крупные предприятия, использующие централизованные установки с большим количеством удаленных потребителей холода: пищевые комбинаты различного профиля, молокозаводы и заводы по производству пива, кондитерские фабрики и в последнее время супермаркеты преимущественно с аммиачной установкой централизованного холодоснабжения витрин и камер.

Использование хладоносителей позволяет локализовать утечки хладагента в пределах машинного отделения, уменьшить его количество в системе, что несколько упрощает вопросы регулирования температуры в охлаждаемых объектах.

9.1. Типы хладоносителей, возможность применения в холодильной машине

В качестве хладоносителей чаще всего используется вода (в диапазоне 2–12 °С) и водные растворы различных веществ (для достижения более низких температур). Из хладоносителей чаще применяют раствор соли хлористого кальция, раствор этиленгликоля и спиртовые растворы.

В соответствии с законом Рауля температура замерзания растворов зависит от концентрации растворенного вещества. Самая низкая температура замерзания раствора соответствует так называемой криогидратной точке, которая для раствора хлористого кальция равна –55 °С

(при массовой концентрации соли 29,9%), для раствора этиленгликоля –73 °С (при 67%).

Выбранная концентрация раствора должна быть такой, чтобы температура его замерзания была на 5–7 °С ниже температуры кипения хладагента в испарителе холодильной машины.

Из отмеченных хладоносителей этиленгликоль является более дорогим веществом, чем хлористый кальций, однако его раствор обладает меньшей вязкостью и коррозионной активностью и поэтому повсеместно вытеснил раствор хлористого кальция в зарубежных установках с промежуточным хладоносителем.

Широко применяемые хладоносители — водные растворы хлористого кальция и хлористого натрия, вызывают коррозию металла и преждевременный выход оборудования из строя, а применение их в аппаратах, имеющих элементы из нержавеющих сталей, совершенно недопустимо в связи с активными электролитическими процессами, ведущими к разрушению этих сталей.

В таких схемах в качестве хладоносителя в основном применяют водные растворы этилен- или пропиленгликолей, спирта или глицерина, а также хлористого кальция или хлористого натрия. Однако все эти вещества имеют существенные недостатки, а именно: гликоли токсичны, обладают наркотическим действием. При попадании в организм даже в малых количествах разрушают нервную систему, почки и печень (ГОСТ 28084-89); пропиленгликоли имеют недостаточную температуру замерзания (не ниже –30 °С), высокую вязкость при низких температурах и высокую стоимость. Метиловый спирт не может широко применяться по причинам возможного отравления людей, которые могут использовать его как эквивалент этилового спирта, а водные растворы глицерина имеют высокую вязкость, требующую повышенных энергозатрат при перемещении по трубопроводам и ограниченную температуру замерзания (при 50%-ной концентрации не ниже –23 °С).

Достоинством аммиака, используемого в аммиачных системах, является высокое значение удельной массовой и объемной холодопроизводительности при невысокой его стоимости. При низкой стоимости аммиака и озонобезопасности аммиачные системы могли бы применяться достаточно широко. Однако из-за большой аммиакоемкости подобные системы не всегда могут быть рекомендованы к применению в холодильных установках. Экстренный выпуск аммиака из холодильной машины или разрыв теплообменных аппаратов может привести к загазованности местности или при высокой концентрации аммиака в воздухе к его взрыву.

Применение схем с хладоносителями позволяет в десятки раз уменьшить количество аммиака в системе. Применение современной пластинчатой теплообменной аппаратуры, изготовленной из нержавеющей стали, устраняет основной недостаток аммиачных холодильных установок — их аммиакоемкость.

Схема холодильной установки с рассольной системой охлаждения представлена на рис. 9.1.

Холодильный агент из компрессора 1 (рис. 9.1) поступает в конденсатор 2. Жидкий холодильный агент дросселируется в дросселирующем устройстве 7 и поступает в рассольный испаритель 3, где отнимает тепло от рассола (хладоносителя). Хладоноситель подается в рассольные камерные батареи насосом 11. Отепленный рассол возвращается в испаритель 3. Если в рассоле присутствует воздух, то он удаляется через расширительный бак 6. Кроме того, расширительный бак является регулятором заполнения системы рассолом и компенсатором теплового расширения рассола, поскольку плотность рассола является функцией его температуры.

9.2. Хладоносители нового типа

В настоящее время разработаны и промышленно освоены хладоносители — экосолы, являющиеся новым поколением хладоносителей. Основной компонент экосолов — этилкарбитол. Он малолетуч. Температура кипения 203 °С.

Экосолы не имеют указанных выше отрицательных воздействий на различные металлы, нетоксичны, невзрывоопасны, плохогорючи. Основ-

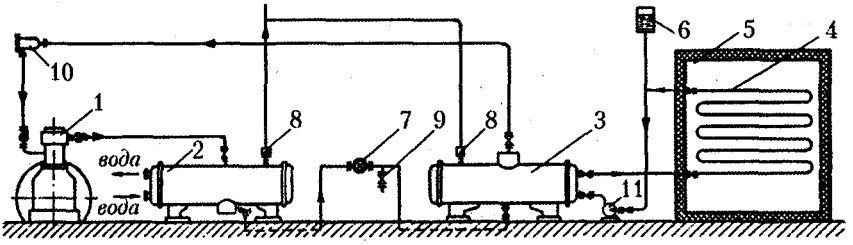


Рис. 9.1
Схема рассольной системы охлаждения

1 — компрессор, 2 — водяной конденсатор, 3 — рассольный испаритель, 4 — камерные батареи, 5 — холодильная камера, 6 — расширительный сосуд, 7 — дросселирующий вентиль, 8 — предохранительные клапаны, 9 — вентиль для заполнения системы хладагентом, 10 — фильтр, 11 — рассольный насос

Таблица 9.1

Сравнительные теплофизические свойства хладоносителей

Хладоноситель	Плотность, кг/м^3	Температура замерзания, °С	Теплоемкость, кДж/(кг · К)	Теплопроводность, Вт/(м · К)
«Экосол-40»	1024	–40	4,434	0,634
Этиленгликоль	1060	–33	3,260	0,430
Хлористый кальций	1240	–31,2	2,805	0,494

ные компоненты экосолов применяются в парфюмерии при изготовлении кремов, лосьонов и мазей. При этом теплофизические свойства существенно превышают свойства всех известных хладоносителей. Изготавливаются различные модификации экосолов: «Экосол-65», «Экосол-40», «Экосол-20» и «Экосол-10» (цифра обозначает температуру замерзания), которые выбираются из условий эксплуатации и поставляются в готовом к употреблению виде.

Минимальная температура замерзания «Экосола-65» — –65 °С, что позволяет использовать его практически во всех испарительных системах, как средне-, так и низкотемпературных. Вязкость экосолов при низких температурах не превышает вязкость многих известных хладоносителей, а теплоемкость значительно выше.

Вязкость самого концентрированного «Экосола-65» в диапазоне температур –20...–10 °С значительно ниже водного раствора этиленгликоля и хлористого кальция.

Объемное содержание воды в экосолах: «Экосол-65» — 35,5%, «Экосол-40» — 37,0%, «Экосол-30» — 41,2%. Вода из экосолов испаряется при температуре 106 °С.

Чрезвычайно важным свойством экосолов является уменьшение объема при понижении температуры, что исключает возможность разрыва трубопроводов и аппаратов при понижении температуры ниже точки замерзания.

Экосолы химически не активны. Однако стоимость экосолов соизмерима со стоимостью этиленгликоля.

Сравнительные теплофизические свойства хладоносителей при 20 °С приведены в табл. 9.1.

Контрольные вопросы:

1. Что собой представляют хладоносители?
2. Является ли энергетически выгодным применение хладоносителей?
3. Какие типы хладоносителей используются для охлаждения воздуха в холодильных камерах?
4. Представить схему холодильной машины с промежуточным теплоносителем.

Глава 10
КОМПРЕССОРЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

10.1. Классификация компрессоров

Компрессор холодильной машины обеспечивает сжатие паров холодильного агента, что является физически неотъемлемой частью процесса последующей конденсации холодильного агента в конденсаторе, создает в испарителе низкое давление и связанную с этим низкую температуру кипения, обеспечивает перемещение холодильного агента по всем элементам холодильной машины.

Компрессоры отличаются принципом действия, холодопроизводительностью, конструктивными признаками.

По принципу действия компрессоры разделяют на поршневые, ротационные, спиральные, винтовые, центробежные.

По холодопроизводительности компрессоры подразделяют на компрессоры малой холодопроизводительности (до 12 кВт), средней холодопроизводительности (от 12 до 90 кВт), большой холодопроизводительности (свыше 90 кВт). Холодопроизводительность компрессоров устанавливают при номинальном температурном режиме работы.

По конструкции компрессоры подразделяют на одноступенчатые или многоступенчатые (двух- и трехступенчатые).

По степени герметичности компрессоры делятся на открытые или сальниковые (электродвигатель соединяется с валом компрессора муфтой или клиноременной передачей), бессальниковые или разъемные, которые в ряде случаев не совсем корректно называются полугерметичными, герметичные. В герметичных компрессорах компрессор и электродвигатель размещаются в общем герметичном сварном неразъемном корпусе.

В современном торговом холодильном оборудовании в основном применяются холодильные машины, оснащенные поршневыми, ротационными и спиральными компрессорами.

10.2. Поршневые компрессоры

Поршневые компрессоры являются наиболее распространенным типом компрессоров. Ими комплектуются холодильные машины, обеспечивающие холодом торговое холодильное оборудование и холодильные камеры.

Многообразие типов поршневых компрессоров обусловило необходимость их индексации.

Для обозначения компрессоров принята буквенно-цифровая индексация. Первая буква в названии компрессора определяет хладагент, для которого предназначен компрессор (Ф — хладон (фреон), А — аммиак); вторая буква — расположение цилиндров (В — вертикальное, У — V-образное, УУ — W-образное, или веерообразное). Цифра, стоящая за буквами в обозначении компрессора, отражает холодопроизводительность, выраженную в тысячах килокалорий в час (1 ккал/ч = 1,163 Вт).

Для бессальниковых компрессоров в обозначение вводят буквы БС (например, ФВБС6) или ПБ (например ПБ7).

Герметичные компрессоры в буквенной части названия имеют буквы Г (например ФГС, ФГэС, ФГрС).

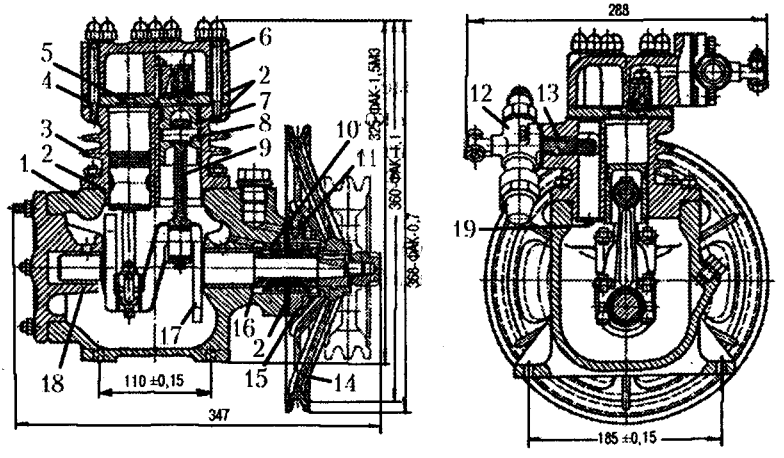


Рис. 10.1
Компрессор 2ФВ-4/4,5

1 — картер, 2 — прокладка, 3 — блок цилиндров, 4 — клапанная доска, 5 — всасывающий клапан, 6 — крышка, 7 — поршень, 8 — палец, 9 — шатун, 10 — сальник, 11 — крышка, 12 — всасывающий вентиль, 13 — фильтр, 14 — маховик, 15 — кольцо сальника, 16 — резиновое кольцо, 17 — коленчатый вал, 18 — опора вала, 19 — пластина

10.2.1. Непрямоточные сальниковые компрессоры открытого типа

В холодильных машинах с поршневыми компрессорами наибольшее применение в силу их конструктивной простоты находят непрямоточные компрессоры. В цилиндрах этих компрессоров холодильный агент изменяет движение в соответствии с изменением направления движения поршня.

Методологически устройство и принцип работы компрессоров открытого типа удобно рассматривать на примере снятого с производства, но еще используемого на предприятиях общественного питания и торговли компрессора типа 2ФВ-4/4,5 (рис. 10.1). Рекомендации по замене компрессора приведены в приложении, табл. 10.1.

Этот компрессор устанавливают в холодильных машинах с агрегатами типа ФАК (фреоновый компрессорно-конденсаторный агрегат).

Компрессоры «открытого типа» получили данное название в силу того, что в их конструкции коленчатый вал выходит за пределы герметичного картера. В ряде случаев это представление дополняется представлением о разъемности компрессора.

Движущиеся части компрессора нуждаются в смазке. Поэтому картер компрессора заполнен маслом. При вращении коленчатого вала он посредством противовесов и нижней части головок шатунов соприкасается с поверхностью масла. Образуются капли масла малого размера («масляный туман»), которые обеспечивают смазку всех движущихся элементов компрессора.

Следует отметить, что противовесы на валу компрессора являются необходимым элементом, обеспечивающим компенсацию инерции

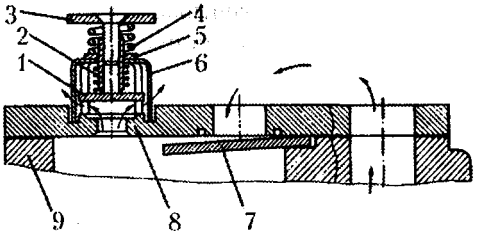


Рис. 10.2
Клапанная группа компрессора 2ФВ-4/4,5

1 — пластина нагнетательного клапана, 2 — рабочая пружина, 3 — стойка, 4 — буферная пружина, 5 — направляющая втулка, 6 — розетка, 7 — пластина всасывающего клапана, 8 — клапанная доска, 9 — цилиндр

поршня, шатуна и поршневого пальца при их линейном перемещении по высоте цилиндра с переменной скоростью.

Поскольку противовесы в отличие от поршней совершают вращательное движение, то полная компенсация инерции движущейся массы «поршень—шатун» не достигается. Это приводит к необходимости снабжения поршневых компрессоров дополнительными амортизаторами, которые применительно к герметичным компрессорам могут располагаться вне и внутри герметичного корпуса.

Наличие в холодильном агенте масла определяет необходимость перед сжатием паров в цилиндре компрессора отделять их от масла. В противном случае масло в виде отдельных капель может попасть в цилиндр компрессора и привести к возникновению явления, которое называют «гидравлический удар». В силу того что масло, как и любая жидкость, практически несжимаемо, оно ведет себя при сжатии как твердое тело. При поступлении большого количества масла в цилиндр компрессора это может привести к поломке наименее прочной части компрессора, а именно стальной самопружинящей пластины всасывающего клапана 7 (рис. 10.2), расположенной на клапанной доске (плоской стальной пластине).

Холодильный агент с растворенным в нем маслом поступает в компрессор через всасывающий вентиль 12, фильтр 13, и далее смесь холодильного агента и масла разделяется. Капли масла как более тяжелые, чем пары холодильного агента, выделяются из смеси и по вертикальному каналу опускаются вниз. Нижняя часть канала перекрыта пластинкой с отверстием малого диаметра.

Наличие в пластине отверстия малого диаметра обеспечивает возврат из испарителя масла в картер компрессора. При интенсивном поступлении масла из испарителя в вертикальном канале образуется столбик масла, который выполняет функцию «гидравлического затвора».

Для пользователей холодильной техники эксплуатационно значимой частью компрессора является сальниковое уплотнение, обеспечивающее герметичность картера компрессора и холодильной машины в целом. Разновидность сальникового уплотнения представлена на рис. 10.3.

Стальное кольцо 3 закрепляется в передней крышке 1 компрессора. Внутренняя торцевая поверхность стального кольца 3 отполирована. К ней под действием усилия сжатия пружины 8 прижато также отполированное металлизированное графитовое кольцо 5. Таким образом, создается трущаяся пара — стальное кольцо 3 и металлизированное графитовое кольцо 5. Такая пара работает нормально лишь при надлежащей обработке поверхности колец и при их эффективной смазке.

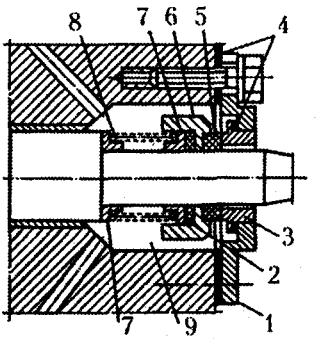


Рис. 10.3
Сальник графитово-стальной, односторонний

1 — крышка, 2 — резиновое уплотнительное кольцо, 3 — неподвижное стальное кольцо, 4 — уплотнительная прокладка, 5 — графитовое кольцо, 6 — обойма, 7 — держатель пружины, 8 — пружина, 9 — полость картера компрессора

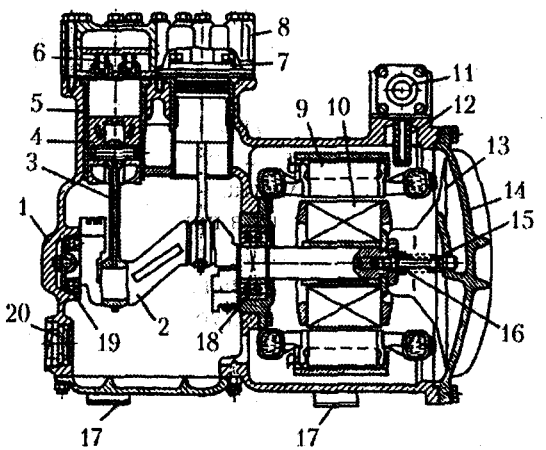


Рис.10.4
Компрессор разъемный поршневой бессальниковый ФВБС-6

1 — блок-картер, 2 — коленчатый вал, 3 — шатун, 4 — поршень, 5 — гильза цилиндра, 6, 7 — нагнетательные и всасывающие клапаны, 8 — крышка цилиндров, 9 — статор электродвигателя, 10 — ротор электродвигателя, 11 — фланец всасывающий, 12 — фильтр, 13 — маслоразбрызгивающий диск, 14 — задняя крышка, 15 — трубка подачи масла, 16 — уплотнительный элемент, 17 — опоры для крепления компрессора, 18, 19 — подшипники задний и передний, 20 — смотровое стекло за уровнем масла

В практике эксплуатации холодильных машин эти условия зачастую нарушаются. В ряде случаев оба эти кольца устанавливаются без надлежащей обработки в расчете на последующую притирку трущихся элементов.

При нарушении требований к выполнению монтажных работ, обеспечивающих возврат масла из испарителя в компрессор, например если уклон всасывающего трубопровода будет в сторону, противоположную компрессору, вероятность нарушения работы сальника существенно возрастает. При отсутствии смазки трущейся пары сальника (неподвижное стальное кольцо—графитовое кольцо) повреждаются соприкасающиеся поверхности, возможна утечка холодильного агента из холодильной машины.

Сальниковое уплотнение является наиболее уязвимой частью компрессоров открытого типа, требующей постоянного контроля со стороны механиков, обслуживающих холодильное оборудование.

10.2.2. Компрессоры разъемные поршневые бессальниковые

Отказаться от конструкции сальника можно, заключив компрессор и электродвигатель в герметичный корпус. Этот корпус может быть выполнен в разъемном (рис. 10.4) и герметичном исполнении (рис. 10.5).

Оба технических решения обладают эксплуатационными достоинствами и недостатками.

Эксплуатационным достоинством разъемного исполнения конструкции компрессора является простота ремонта и возможность замены любого его конструктивного элемента.

Недостаток конструкции состоит в принятом способе охлаждения статора (обмотки электродвигателя). Статор охлаждается парами холодильного агента, поступающими из испарителя, имеющими температуру −15...+10 °С. Поскольку температура паров холодильного агента, поступающего из испарителя в компрессор, существенно ниже температуры воздуха помещения, в котором размещается компрессор, то обмотка электродвигателя охлаждается достаточно эффективно. Это позволяет при малых габаритных размерах электродвигателя и при большом токе, проходящем через обмотку, обеспечивать большой крутящий момент на валу электродвигателя и соответственно компрессора.

Вместе с тем при отсутствии холодильного агента в холодильной машине, например при его утечке их холодильной машины, обмотка электродвигателя разогревается до температуры существенно выше 100 °С, что может привести к ее сгоранию.

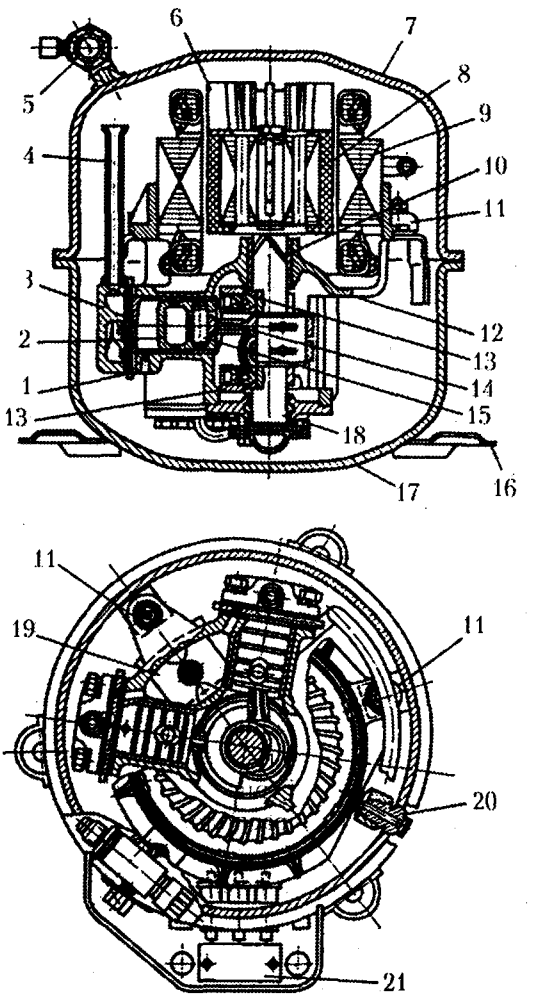


Рис. 10.5
Герметичный компрессор ФГ-0,7

1 — клапанная доска, 2 — поршень, 3 — крышка цилиндра,
4 — всасывающий патрубок, 5 — всасывающий вентиль, 6 — крыльчатка,
7, 17 — верхняя и нижняя части корпуса, 8 — ротор электродвигателя,
9 — статор электродвигателя, 10— подшипник, 11 — пружинная опора,
12 — корпус компрессора, 13 — противовес эксцентрикового вала,
14— шатун, 15 — поршневой палец, 16 — крепление кожуха,
18 — эксцентриковый вал, 19 — глушитель,
20 — нагнетательный штуцер, 21 — клеммная коробка

Условия эксплуатации компрессоров (рис. 10.4, 10.5) требуют создания герметичности не только самих компрессоров, но и всех элементов холодильной машины. Это касается в первую очередь сальниковых уплотнений вентилей на компрессоре и терморегулирующем вентиле (ТРВ). Соединения трубопроводов взамен ниппельной конструкции, в основе которой лежит крепление трубопроводов посредством накидных гаек, должны соединяться посредством сварки (пайки).

10.2.3. Компрессоры поршневые герметичные

Герметичные компрессоры отличаются конструктивными особенностями. Название компрессоров заключено в условном обозначении: ФГ — компрессор герметичный, ФГэ — компрессор герметичный с экранированным ротором, ФГр — компрессор герметичный ротационный.

Герметичные компрессоры отличаются температурным режимом и частотой (скоростью) вращения вала электродвигателя (25 $с^{-1}$, 50 $с^{-1}$).

По температурному режиму герметичные компрессоры подразделяют на среднетемпературные (С), низкотемпературные (Н), высокотемпературные (В).

Подаваемое напряжение на обмотку электродвигателя составляет 220 или 380 V. В последнем случае используются электродвигатели трехфазные, асинхронные с постоянной частотой вращения ротора.

Конструктивной особенностью герметичных компрессоров, в частности компрессоров типа ФГ-0,7 (рис. 10.5), является расположение вала компрессора. Вертикальное расположение вала компрессора обусловило ряд технических, а следовательно, и эксплуатационных особенностей конструкции. Масло в компрессоре находится в нижней части корпуса компрессора.

Смазка компрессора комбинированная. Масло разбрызгивается нижним противовесом и другими движущимися частями компрессора, расположенными на корпусе ниже уровня масла. С тем чтобы масло не попало в цилиндр компрессора, установлены всасывающие трубки 4 (рис. 10.5), обеспечивающие поступление холодильного агента из верхней части корпуса. Трубки расположены по отношению к всасывающему вентилю таким образом, чтобы в них не попало не только масло, но и капли жидкого холодильного агента в случае, когда компрессор работает так называемым влажным ходом.

Принудительный подвод масла осуществляется за счет центробежных сил по каналам в теле эксцентрикового вала. Для эффективного

охлаждения обмотки электродвигателя в верхней части ротора имеется крыльчатка.

10.2.4. Компрессоры герметичные с экранированным ротором

Отличительной особенностью герметичных компрессоров является их «чувствительность» к утечке холодильного агента из холодильной машины. Холодильный агент может выйти из холодильной машины через неплотности в сальниковых уплотнениях на всасывающем и нагнетательном вентилях, через неплотности в ниппельных соединениях трубопроводов с элементами холодильной машины (испарителем, ресивером) и т. д. Таким образом, достаточно совершенная конструкция герметичного компрессора, объединенного в холодильной машине с другими элементами посредством трубопроводов и ниппельных соединений, нуждается в высокой технической культуре обслуживания, в тщательном контроле всех соединений элементов холодильной машины. В противном случае при утечке холодильного агента возможно сгорание обмотки электродвигателя компрессора.

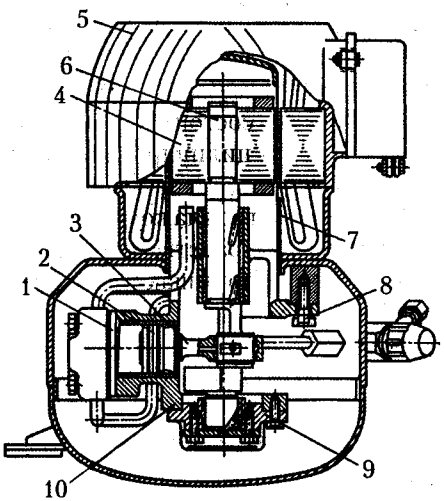


Рис. 10.6
Компрессор герметичный с экранированным ротором ФГэС-0,7~3(2)

1 — клапаны, 2 — поршень, 3 — шатун, 4 — ротор, 5 — статор, 6 — эксцентриковый вал, 7 — экран, 8 — кожух, 9 — опора вала, 10 — корпус

В отличие от открытого типа в герметичном компрессоре обмотка электродвигателя (статор) охлаждается потоком воздуха, прошедшего через конденсатор, а ротор, не имеющий электрических проводов, помещен внутрь экрана. В компрессоре реализован физический принцип наведения магнитного поля в роторе через магнитопроводящий материал, изготовленный с этой целью из нержавеющей стали (рис. 10.6).

Охлаждение статора потоком воздуха обеспечивает независимость компрессора от потерь холодильного агента из холодильной машины, что лишь в определенной мере можно считать эксплуатационным достоинством компрессора. Недостаток конструкции вытекает прежде всего из необходимости наведения магнитного поля в роторе через экран из нержавеющей стали. Создание статором необходимого магнитного поля предполагает увеличение энергозатрат и увеличение габаритных размеров статора сравнительно с электродвигателями компрессоров полностью герметичных той же холодопроизводительности. Вследствие совокупных причин компрессоры с экранированным ротором находят применение преимущественно в холодильных машинах, обслуживающих холодильные камеры.

10.3. Компрессоры объемного действия

10.3.1. Компрессоры герметичные ротационные

Работа компрессора (рис. 10.7) состоит в следующем. В положении катящегося ротора (рис. 10.8, а) цилиндр имеет одну полость, заполненную холодильным агентом.

При вращении эксцентрикового вала компрессора объем холодильного агента в серповидном пространстве уменьшается (рис. 10.8, б), холодильный агент сжимается, повышаются его температура и давление.

При дальнейшем перемещении ротора (рис. 10.8, в) давление холодильного агента в нагнетательной полости повышается, открывается нагнетательный клапан и пары холодильного агента начинают поступать в конденсатор. Одновременно со сжатием происходит заполнение всасывающей полости компрессора паром. Всасывающий клапан в компрессоре отсутствует, поскольку ротор, перемещаясь по поверхности цилиндра, перекрывает всасывающее отверстие.

Последующее движение ротора (рис. 10.8, г) завершает процесс сжатия, холодильный агент поступает в полость всасывания.

Сравнительно с поршневыми компрессорами герметичные ротационные компрессоры имеют ряд преимуществ:

- они имеют меньшие габариты и массу;
- в них отсутствует всасывающий клапан, что повышает надежность компрессора;
- компрессор имеет хорошую уравновешенность, поскольку нет линейного перемещения поршня;
- небольшое количество движущихся частей снижает износ, повышает надежность, упрощает техническое обслуживание.

Эксплуатационные качества компрессора заключены в особенностях его конструкции. Серповидные объемы компрессора образованы,

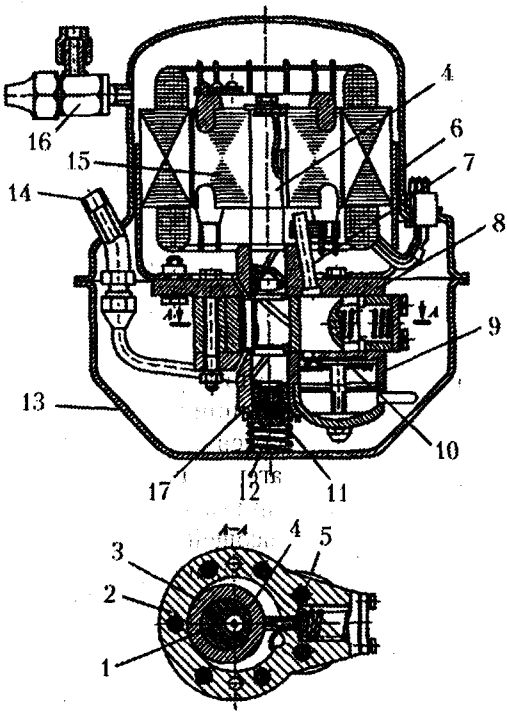


Рис. 10.7
Герметичный компрессор с катящимся ротором ФГр

1 — эксцентрик, 2 — цилиндр, 3 — ротор, 4 — вал компрессора, 5 — лопасть, 6 — статор электродвигателя, 7 — всасывающий патрубок, 8, 9 — верхняя и нижняя крышки цилиндра, 10 — нагнетательный клапан, 11 — масляный фильтр, 12 — пружина, 13 — герметичный корпус, 14 — нагнетательный патрубок, 15 — ротор электродвигателя, 16 — всасывающий запорный вентиль, 17 — масляный насос

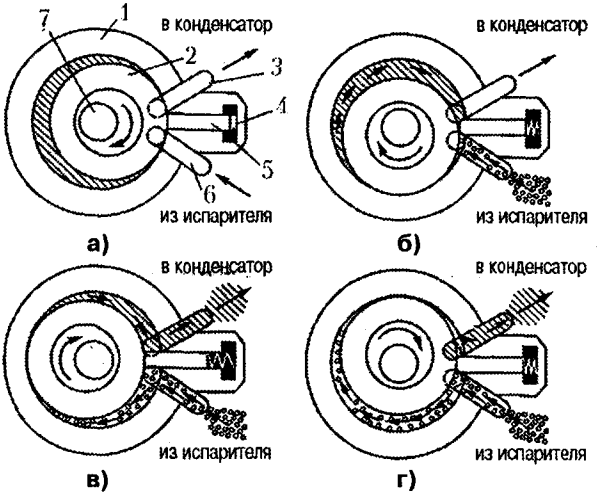


Рис. 10.8
Принцип работы ротационного компрессора.
Фазы сжатия (а—г) при последовательном перемещении катящегося ротора

с одной стороны, контактом ротора с поверхностью разделительной лопасти, с другой — контактом ротора с поверхностью цилиндра. Геометрически этот контакт происходит по линии, разделяющей полости нагнетания и всасывания (при давлении кипения и конденсации).

Контакт ротора и цилиндра должен быть таким, чтобы предотвратить перетекание холодильного агента из полости нагнетания в полость всасывания. Это возможно при качественной обработке поверхности ротора и цилиндра, исключающей любые зазоры между ними. Именно в этом заключается одна из эксплуатационных особенностей компрессора.

При загрязнении конденсатора холодильной машины уменьшается площадь поверхности теплообмена конденсатора и ротор компрессора нагревается, переходя порог, ограничивающий величину его теплового расширения.

Следствием этого могут быть царапины на поверхности ротора и цилиндра, в худшем случае может наблюдаться «заклинивание» ротора, т. е. остановка его вращения.

Для торгового холодильного оборудования и системы кондиционирования воздуха герметичные ротационные компрессоры выпускаются холодопроизводительностью от 0,3 до 1,3 кВт.

10.3.2. Компрессоры спиральные

Концепция создания холодильного компрессора спирального типа запатентована в 1905 г. французским инженером Леоном Креусом (Leon Creux). Однако в силу высоких технологических требований к изготовлению компрессора спиральные компрессоры стали создаваться лишь при внедрении в металлообработку станков с числовым программным управлением.

Впервые в мире на рынок холодильного оборудования спиральный компрессор представила американская фирма *Copeland* (рис. 10.9).

В настоящее время он производится рядом зарубежных фирм — *Danfos, Hitachi, Jork* и др.

Подвижная спираль не должна вращаться вокруг своей оси. Она совершает движение только по определенной орбите, в основном круговой, вокруг оси неподвижной спирали (рис. 10.11).

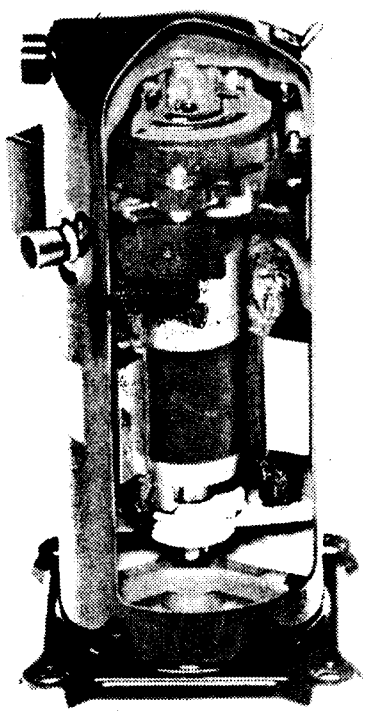


Рис. 10.9
Разрез спирального компрессора фирмы *Copeland*

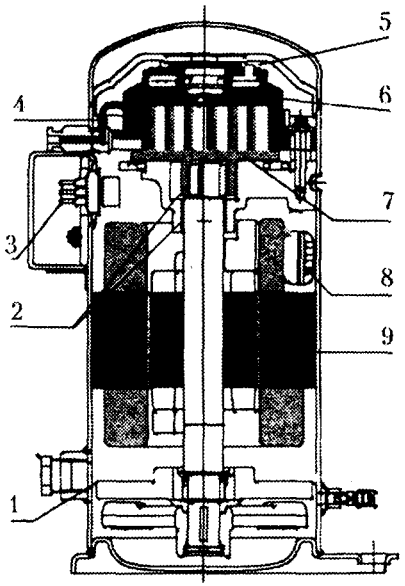


Рис. 10.10
Конструкция спирального компрессора фирмы *Copeland*
1 — масло, 2 — тефлоновый подшипник, 3 — проходные контакты,
4 — впрыск жидкости для «сверхохлаждения», 5 — плавающее уплотнение,
6 — неподвижная спираль, 7 — подвижная спираль,
8 — защита электродвигателя, 9 — электродвигатель

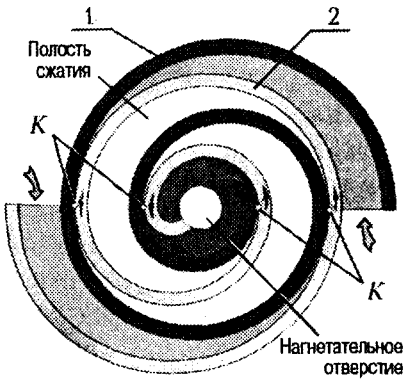


Рис. 10.11
Иллюстрация процесса сжатия в спиральном компрессоре

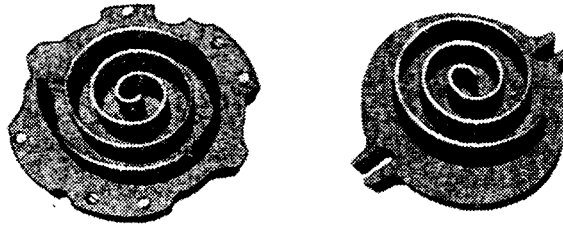


Рис. 10.12
Спирали компрессора: неподвижная (слева) и подвижная

Спиральный компрессор состоит из двух спиралей — неподвижной и подвижной (рис. 10.12).

Одна из спиралей, связанная с эксцентриковым валом, совершает плоскопараллельное орбитальное движение. Вторая спираль закреплена неподвижно относительно корпуса компрессора. В процессе работы места контакта (*К*) подвижной спирали (рис. 10.11) перемещаются по профилю неподвижной спирали против часовой стрелки. Образующиеся при этом замкнутые серповидные полости концентрически перемещаются от периферии к центру.

В начальный момент, когда полость еще не замкнута, в нее свободно входит всасываемый пар. В дальнейшем пар перемещается к центру, испытывая повышение давления и температуры из-за уменьшения объема полости, и в конце процесса сжатия через нагнетательное отверстие в центре выводится из компрессора.

Количество движущихся частей спирального компрессора сравнительно с поршневым компрессором снижено на 80% (с 15 у поршневого до 3 у спирального).

Движущаяся спираль совершает плавное движение, так как она хорошо сбалансирована. Поэтому движение потока на всасывании и нагнетании имеет непрерывный характер, что обеспечивает практически бесшумную работу компрессора. Он в 8 раз «тише», чем поршневой аналог.

Спиральный компрессор не боится «влажного хода», а равным образом и механических примесей. Пуск компрессора происходит без нагрузки, поэтому не требует специального вспомогательного пускового устройства.

Спиральные компрессоры имеют наименьший процент отказов по сравнению с компрессорами любых других типов, в силу чего их по праву считают «вечными».

В целом достоинства спиральных компрессоров перед герметичными поршневыми или бессальниковыми аналогами можно отразить в виде перечня следующих качеств:

- высокая надежность и повышенный срок службы благодаря небольшому количеству деталей, участвующих в процессе сжатия хладагента;
- крайне низкий уровень шума вследствие отсутствия клапанов и возвратно поступательного движения деталей;
- крайне малая вибрация вследствие плавного, непрерывного сжатия;
- очень высокий коэффициент подачи из-за отсутствия «мертвого пространства»;
- стабильность работы компрессора при работе «влажным ходом» и попадании в зону сжатия механических примесей;
- малый пусковой момент и пусковые токи. Для однофазных моделей нет необходимости в пусковом оборудовании;
- компактность и малая масса.

Компрессоры в агрегатах фирмы *Copeland* поставляются заполненными минеральным маслом для работы на R22 или полиэфирным маслом для работы на новых озонобезопасных хладагентах либо на R22.

Спиральные компрессоры используются в холодильных машинах малой и средней холодопроизводительности. Так же как и компрессионные, они могут быть в герметичном исполнении, бессальниковыми и сальниковыми.

Стоимость спиральных компрессоров сопоставима или даже ниже стоимости поршневых компрессоров.

Относительным «недостатком» компрессора является необходимость его изготовления на станках с ЧПУ, поскольку спиральный компрессор — это техническая конструкция очень высокого технологического уровня и организации производства.

10.3.3. Компрессоры винтовые

Винтовые компрессоры — компрессоры объемного типа, в которых сжатие холодильного агента осуществляется за счет уменьшения замкнутого объема рабочей полости (рис. 10.13, 10.14).

Пар в этой полости движется в осевом и радиальном направлениях. Сжатие пара продолжается до тех пор, пока полость между выступом и впадиной не достигнет нагнетательного окна в цилиндре.

К достоинствам этого типа компрессора относят возможность плавного регулирования холодопроизводительности, возможность работы

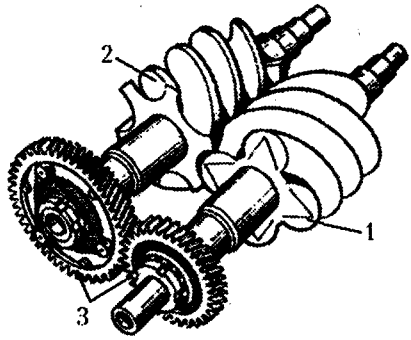


Рис. 10.13
Винтовой компрессор (роторы, общий вид компрессора)
1, 2 — ведущий и ведомый роторы (винты), 3 — синхронизирующие шестерни

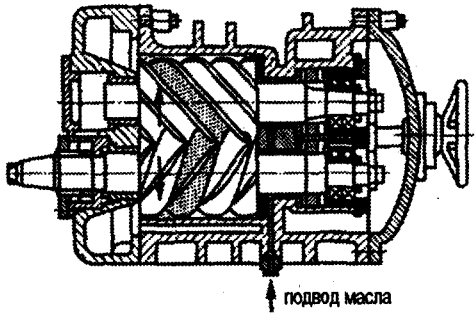


Рис. 10.14
Общий вид винтового компрессора

практически на любом холодильном агенте при высокой степени сжатия и в широком температурном диапазоне кипения, прежде всего низкотемпературном диапазоне кипения, и, соответственно, при низкой температуре воздуха в охлаждаемом объеме.

Недостатком компрессора является необходимость создания системы смазки роторов, которая ко всему прочему обеспечивает охлаждение роторов, предотвращает перегрев компрессора, уплотняет рабочие зазоры между роторами. Однако применение масляного охлаждения роторов порождает необходимость применения надежных и эффективных систем отделения масла от холодильного агента (маслоотде-

лителей), поскольку при работе компрессора масло в него впрыскивается в большом количестве. При отсутствии маслоотделителя масло может быть унесено в конденсатор.

Все это недостатки, несмотря на очевидные достоинства компрессора, ограничивают его применение в торговом холодильном оборудовании.

Компрессоры подобного типа применяют в основном в холодильных машинах большой холодопроизводительности.

10.3.4. Компрессоры центробежные

Компрессоры этого типа используют для достижения большой холодопроизводительности в установках химической промышленности или системах кондиционирования зданий и зрелищных сооружений (рис. 10.15).

Центробежные компрессоры конструктивно выполняются из сборки роторов, насаженных на один вал. Каждый ротор помещается в отдельной полости, выполняя функцию отдельной ступени сжатия.

Холодильный агент последовательно переталкивается из одной полости в другую, (D → E → F → G) со все возрастающим давлением, равным на выходе давлению конденсации.

Парообразный холодильный агент, сжимаемый в компрессоре, практически не содержит масла. Отсутствие масла на внутренних поверхностях конденсатора и испарителя улучшает процесс теплопередачи в теплообменных аппаратах.

Центробежные компрессоры являются уравновешенными, однако они предназначены для работы при большой частоте вращения ротора.

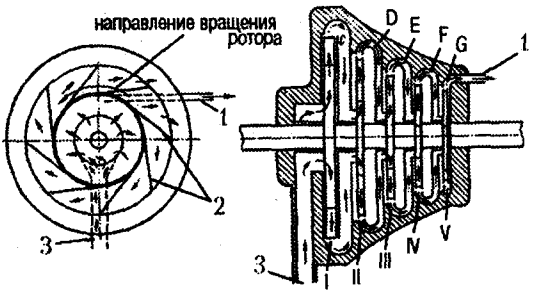


Рис. 10.15
Центробежный компрессор
1 — всасывающий патрубок, 2 — нагнетательный патрубок, 3 — лопатки ротора

Компрессоры эффективны в холодильных установках большой холодопроизводительности, порядка 900–10 000 кВт.

10.4. Холодопроизводительность поршневого компрессора

Теоретическая холодопроизводительность компрессора Q_o, Вт, выражается произведением объема пара, всасываемого компрессором в цилиндр V_h, м³/с, и объемной холодопроизводительности q_v, Дж/м³:

$$Q_o = V_h \cdot q_v, \text{ Вт}, \qquad (10.1)$$

где

V_h — объем, описываемый поршнем, соответствующий теоретическому объему пара, поступающего в цилиндр компрессора, м³/с;

q_v — удельная объемная холодопроизводительность, Дж/м³.

Теоретическая объемная производительность поршневого компрессора V_h, м³/с, зависит от геометрических характеристик компрессора (диаметра цилиндра и хода поршня), частоты вращения вала компрессора, числа цилиндров.

Объем пара, всасываемого в компрессор V_h, м³/с, определяется размерами цилиндра и частотой вращения вала:

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} S \cdot n \cdot z, \qquad (10.2)$$

где

D — диаметр цилиндра, м;

S — ход поршня, м;

n — частота вращения вала компрессора, с$^{-1}$;

z — число цилиндров.

Из цилиндра компрессора в конденсатор нагнетается не весь парообразный хладагент. Некоторое его количество остается в зазоре между поршнем и днищем цилиндра, в каналах клапанов. Объем, который занимает оставшийся в цилиндре хладагент, получил название «мертвый объем». Чем меньше величина мертвого объема, тем меньше потери компрессора и лучше характеристики работы компрессора. Наибольшую наглядность процессов, происходящих в рабочей полости компрессора, дает индикаторная диаграмма (рис. 10.16).

В процессе 1–2 происходит перемещение поршня компрессора из «нижней мертвой точки» (НМТ) к «верхней мертвой точке» (ВМТ).

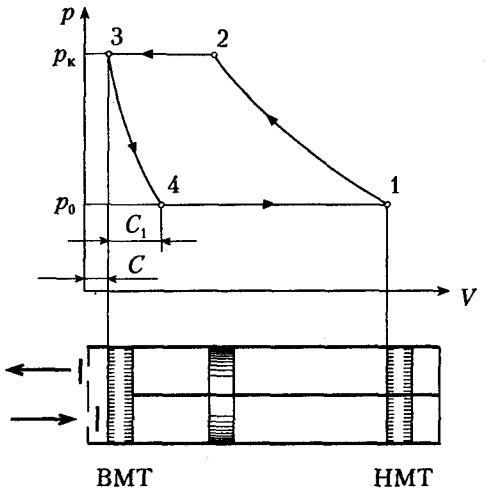


Рис.10.16
Индикаторная диаграмма поршневого компрессора
$p_к$ — давление нагнетания, p_0 — давление всасывания, C — «мертвый объем»

Так как оба клапана компрессора закрыты, а объем хладагента в полости цилиндра уменьшается, происходит повышение давления или сжатие хладагента. В точке 2 открывается выпускной (нагнетательный) клапан и хладагент при давлении $p_к$ нагнетается в конденсатор холодильной машины (процесс 2–3).

В точке 3 поршень находится в ВМТ и процесс нагнетания заканчивается. Из цилиндра компрессора не весь хладагент подается в конденсатор. Часть сжатого до давления $p_к$ хладагента остается в мертвом объеме (отрезок С). При движении поршня от ВМТ по направлению к НМТ оставшийся в мертвом объеме хладагент расширяется (его давление понижается) — процесс 3–4.

В точке 4 открывается впускной (всасывающий) клапан компрессора и начинается процесс всасывания, т. е. заполнения полости цилиндра парообразным хладагентом из испарителя холодильной машины (процесс 4–1). При достижении поршнем положения НМТ процесс всасывания заканчивается.

Наличие мертвого объема приводит к тому, что на части хода поршня, соответствующего объему C, происходит расширение хладагента. Чем меньше мертвый объем, тем меньше потерь на расширение, т. е. меньше величина C.

10.4.1. Объемные потери

В действительности в цилиндре компрессора пара сжимается меньше, чем это следует из величины V_h, м^3/с. Отличие обусловлено совокупностью причин, связанных с объемными потерями в компрессоре. Среди этих причин принято выделять объемные потери компрессора (λ_c), потери, связанные с подогревом пара при всасывании (λ_t), с дросселированием холодильного агента, проходящего через всасывающий и нагнетательный клапаны ($\lambda_{др}$), с утечками пара через неплотности ($\lambda_{нп}$).

Наиболее значимыми являются объемные потери (λ_c), обусловленные наличием «мертвого пространства». Поршень не подходит вплотную к крышке цилиндра. Пространство между поршнем и крышкой цилиндра, включая щели до пластин клапанов, представляет собой «объемное мертвое пространство» C (рис. 10.16). Наличие «мертвого пространства» связано с тепловым расширением поршня и шатуна. При отсутствии «мертвого пространства» поршень достигнет клапанной доски. При этом не исключается поломка конструктивных элементов компрессора.

При ходе поршня в сторону нижней мертвой точки (НМТ) пар, присутствующий в объеме C, расширяется, занимая часть полезного объема цилиндра C_1.

В поршневых компрессорах объем «мертвого пространства» может составлять 3–5% объема цилиндра.

Потери, связанные с подогревом (λ_t), обусловлены тем, что холодильный агент при всасывании касается нагретых стенок цилиндра и расширяется. Это приводит к уменьшению массы холодильного агента, поступающего в цилиндр.

Потери холодильного агента во всасывающем и нагнетательном клапанах при дросселировании ($\lambda_{др}$) обусловлены малым проходным сечением клапанных каналов. Кроме того, при всасывании и нагнетании для преодоления упругости клапанов и клапанных пружин давление холодильного агента в цилиндре компрессора должно быть ниже давления кипения, а при сжатии — выше давления конденсации.

Остальные потери холодильного агента относят к потерям его через так называемые неплотности ($\lambda_{нп}$), величина которых зависит от особенностей конструкции компрессора и меры износа его конструктивных элементов.

Коэффициент подачи компрессора λ, или, проще говоря, К. П. Д. компрессора, выражают произведением всех объемных коэффициентов:

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda_t \cdot \lambda_{др} \cdot \lambda_{нп}. \qquad (10.3)$$

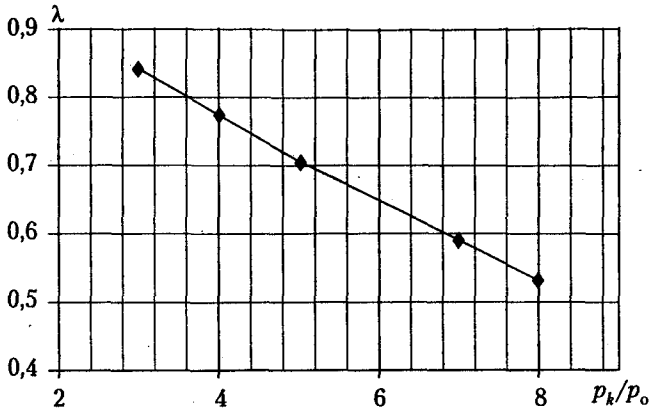


Рис. 10.17
Коэффициент подачи компрессора, λ

Таким образом, действительная холодопроизводительность компрессора может быть выражена следующим образом:

$$Q_o = \lambda \cdot q_v \cdot V_h = \lambda \cdot \frac{q_o}{v_1} \cdot V_h, \qquad (10.4)$$

Для одного и того же компрессора при постоянной частоте вращения коленчатого вала величина V_h, м³/с, постоянна. Коэффициент подачи компрессора λ, а также массовая q_o, кДж/кг, и объемные q_v, кДж/м³, холодопроизводительности компрессора зависят от температурного режима работы холодильной машины (температуры кипения и конденсации).

Графически коэффициент подачи компрессора принято представлять как функцию отношения давлений конденсации p_k, МПа, и кипения p_o, МПа (рис. 10.17).

10.4.2. Энергетические потери

Вращение вала компрессора обеспечивается электродвигателем. Мощность электродвигателя оценивается на основе соотношения:

$$N_{эл} = \frac{N_m}{\eta_i \cdot \eta_м \cdot \eta_{эл} \cdot \eta_{пр}}, \qquad (10.5)$$

где

N_m — теоретическая мощность компрессора, Вт;

$\eta_i, \eta_м, \eta_{эл}, \eta_{пр}$ — индикаторный, механический коэффициенты компрессора, коэффициенты энергетических потерь в электродвигателе и приводе электродвигателя, например клиноременной передаче.

$\eta_{эл}, \eta_{пр}$ приближенно равны 0,9 — 0,97.

Теоретическую мощность, потребляемую компрессором на адиабатическое сжатие холодильного агента, устанавливают на основе соотношения:

$$N_m = M \cdot l = M \cdot (i_2 - i_1), \text{Вт}, \tag{10.6}$$

где

M — массовая производительность компрессора, кг/с;

$l = (i_2 - i_1)$ — энергия, затрачиваемая на адиабатное сжатие холодильного агента в компрессоре, Вт;

i_2, — теплосодержание холодильного агента в конце процесса сжатия, Дж/кг; i_1 — теплосодержание холодильного агента в начале сжатия, Дж/кг.

Массовую производительность компрессора выражают отношением холодопроизводительности холодильной машины Q_o, Вт, к удельной массовой холодопроизводительности 1 кг холодильного агента q_o, Дж/кг:

$$M = \frac{Q_o}{q_o}, \text{кг/с}. \tag{10.7}$$

Удельная массовая холодопроизводительность 1 кг холодильного агента q_o, Дж/кг, выражается через разность теплосодержаний холодильного агента:

$$q_o = i_1 - i_4, \text{Дж/кг}, \tag{10.8}$$

где i_4 — теплосодержание жидкого холодильного агента перед его дросселированием в регулирующем вентиле, Дж/кг.

Помимо объемных потерь, снижающих производительность компрессора, существуют энергетические потери, приводящие к увеличению энергетических затрат на привод компрессора:

$$l = i_2 - i_1, \tag{10.9}$$

где l — удельная массовая работа сжатия, Дж/кг; i_1 — энтальпия хладагента на входе в компрессор, Дж/кг; i_2 — энтальпия сжатого хладагента на выходе из компрессора, Дж/кг.

В действительном цикле компрессора присутствуют потери, приводящие к увеличению мощности. Мощность, затрачиваемая в действи-

тельном цикле компрессора на сжатие хладагента, называют индикаторной мощностью N_i. Индикаторная мощность N_i всегда больше теоретической N_m на величину потерь. Эти потери обусловлены гидравлическими сопротивлениями при движении хладагента через клапаны, теплообменом в цилиндре компрессора и другими факторами.

Соотношение между теоретической N_m и индикаторной мощностями N_i принято называть индикаторным коэффициентом полезного действия

$$\eta_i = \frac{N_m}{N_i}, \tag{10.10}$$

где N_m, N_i — теоретическая и индикаторная мощности соответственно, Вт.

Индикаторный к. п. д. не учитывает потерь на трение в подшипниках и всех движущихся частей компрессора. Эффективная мощность или мощность, подведенная к валу компрессора, учитывает все потери на трение:

$$N_e = N_i + \Delta N_{тр}, \tag{10.11}$$

где $\Delta N_{тр}$ — мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения во всех движущихся частях компрессора (потери на трение), Вт.

Отношение индикаторной мощности N_i к эффективной N_e получило название механического коэффициента полезного действия

$$\eta_м = \frac{N_i}{N_e}. \tag{10.12}$$

Для хладоновых малых и средних по производительности холодильных компрессоров величина механического к. п. д. составляет $\eta_{мех} = 0{,}84–0{,}97$.

10.5. Оценка холодопроизводительности холодильных машин, работающих при различных температурных режимах

В справочных данных холодопроизводительность холодильной машины указывается при условии ее работы в номинальном (стандартном режиме) тепловом режиме. Под номинальным режимом понимается режим холодильной машины, работающей в рамках фиксированных

Таблица 10.1

Номинальные (стандартные) режимы работы холодильных машин

Режим	Температура, °С			
	кипения, $t_о$	всасывания, $t_{вс}$, (t_1)	конденсации, $t_к$	переохлаждения, $t_п$
Номинальный для аммиачных холодильных машин	–15	–10	+30	+25
Среднетемпературный для хладоновых холодильных машин	–15	+15	+30	+25
Высокотемпературный для хладоновых холодильных машин	+5	+15	+40	+35
Низкотемпературный для хладоновых холодильных машин	–35	+15	+30	+25

параметров температуры кипения $t_о$, °С, конденсации $t_к$, °С, температуры холодильного агента перед его подачей в компрессор (температуры всасывания) $t_{вс}$, °С (t_1, °С), и температуры переохлаждения холодильного агента перед дросселированием $t_п$, °С. Параметры номинальных режимов для холодильных агентов отражены в табл. 10.1.

Холодопроизводительность холодильной машины, работающей в номинальном режиме, называют номинальной холодопроизводительностью $Q_{о, ном}$, Вт.

Работа холодильной машины в температурном режиме, отличном от номинального, называют рабочим режимом, а его холодопроизводительность — рабочей холодопроизводительностью $Q_{о, раб}$, Вт.

Пересчет холодопроизводительности с рабочих условий на номинальные или наоборот производится на основе соотношения:

$$\frac{Q_{о, раб}}{\lambda_{раб} \cdot q_{v, раб}} = \frac{Q_{о, ном}}{\lambda_{ном} \cdot q_{v, ном}}, \qquad (10.13)$$

где

$\lambda_{раб}$, $\lambda_{ном}$ — коэффициенты подачи, рабочий и номинальный;

$q_{v, раб}$, $q_{v, ном}$ — рабочая и номинальная удельные объемные холодопроизводительности, Дж/м^3.

Обычно выражение 10.15 представляют в виде решения относительно номинальной холодопроизводительности $Q_{о.ном}$, Вт:

$$Q_{о,\,ном} = Q_{о,\,раб} \frac{\lambda_{ном} \cdot q_{v,\,ном}}{\lambda_{раб} \cdot q_{v,\,раб}}. \qquad (10.14)$$

При необходимости это же выражение позволяет пересчитать номинальную холодопроизводительность на рабочую. Подобный пересчет необходим, если температурный режим работы холодильной машины существенно отличается от номинального режима.

Контрольные вопросы:

1. Какая принята в холодильной технике классификация компрессоров?
2. В чем состоят конструктивные особенности непрямоточных сальниковых компрессоров открытого типа?
3. Каков принцип работы клапанов поршневого компрессора 2ФВ4?
4. Как устроено сальниковое уплотнение компрессора?
5. Каковы эксплуатационные достоинства и недостатки компрессоров герметичных?
6. В чем состоит конструктивная особенность компрессоров герметичных с экранированным ротором?
7. Каковы конструктивные и эксплуатационные особенности спиральных компрессоров?
8. Каким образом обеспечивается сжатие холодильного компрессора в винтовых компрессорах?
9. Каковы конструктивные особенности центробежных компрессоров?
10. В чем смысл коэффициента подачи компрессора?
11. От чего зависит величина объемных потерь в цилиндре компрессора?
12. Как оценивается величина энергетических потерь в компрессоре холодильной машины?
13. Какие параметры являются основой для выбора холодильной машины?

Глава 11
ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Основными теплообменными аппаратами холодильной машины являются испаритель и конденсатор.

11.1. Теплообмен в испарителях и конденсаторах

Целевое назначение теплообменных аппаратов — обеспечить интенсивный обмен тепла между холодильным агентом и охлаждаемой (испаритель) и теплоотводящей (конденсатор) средами.

Интенсивность любого теплообмена зависит от разности температур между средами, свойств, прежде всего теплофизических, этих сред, свойств материала, через который осуществляется теплоперенос, скорости движения сред, участвующих в теплообмене.

Уравнение теплового потока Q, Вт, выражают следующей зависимостью:

$$Q = k \cdot F \cdot \theta_m, \qquad (11.1)$$

где

k — коэффициент теплопередачи теплообменного аппарата, Вт/(м^2 · К);

F — площадь поверхности теплообмена, м^2;

θ_m — средний логарифмический температурный напор между средами, °С.

$$\theta_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{Ln(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2})}, \qquad (11.2)$$

где

Δt_1, Δt_2 — разности температур в начале и конце теплообмена по длине поверхности теплообмена, °С (рис. 11.1).

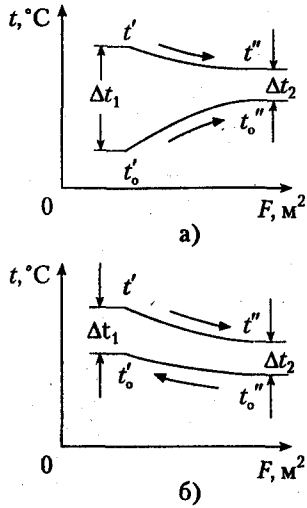


Рис. 11.1
Изменение температуры при теплопередаче
а) параллельное движение сред;
б) движение сред в виде противотока

Величина θ_m в существенной мере зависит от направления движения сред, обменивающихся теплом. Если среда, отдающая тепло, движется в том же направлении, что и среда, воспринимающая тепло, то это движение называют *параллельным*. Если среды движутся в противоположных направлениях, то такое движение сред называют *противотоком*. Противоток — наиболее эффективный способ теплообмена.

$$\theta_m = \frac{(t'-t'_o)-(t''-t''_o)}{\mathrm{Ln}\dfrac{(t'-t'_o)}{(t''-t''_o)}}, \qquad (11.3)$$

$$\theta_m = \frac{(t'-t''_o)-(t''-t'_o)}{\mathrm{Ln}\dfrac{(t'-t''_o)}{(t''-t'_o)}}. \qquad (11.4)$$

Выражение (11.3) отражает оценку величины θ_m при параллельном движении сред, выражение (11.4) — при противотоке.

Коэффициент теплопередачи k, Вт/(м^2 · К), теплообменного аппарата зависит от величин коэффициентов теплоотдачи по обе стороны

поверхности теплообмена. В простейшем случае, для плоской поверхности теплообмена, его можно представить выражением (11.5):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{n=1}^{n} \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}}, \qquad (11.5)$$

где

α_1, α_2 — коэффициенты теплоотдачи по обе стороны поверхности теплообмена, Вт/(м² · К);

$\sum_{n=1}^{n} \frac{\delta_n}{\lambda_n}$ — отношение толщины слоев металла, грязи, ржавчины, краски, инея и т. д. на поверхности теплообменного аппарата к величинам теплопроводностей соответствующих слоев;

n — число слоев компонентов по обе стороны стенки теплообменного аппарата (грязь, ржавчина, краска, масло).

Поскольку коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности теплообмена, например испарителя, к холодильному агенту существенно выше коэффициента теплоотдачи от воздуха к наружной поверхности, то для обеспечения большой величины теплового потока Q, Вт, следует увеличить наружную площадь поверхности теплообмена посредством ее оребрения.

Оребрение, т. е. увеличение площади поверхности теплообмена, применяют к той части поверхности, со стороны которой коэффициент теплоотдачи меньше. Это относится ко всем типам теплообменных аппаратов — испарителям и конденсаторам. Причем чем больше степень оребрения теплообменного аппарата, тем меньше его габаритные размеры, что существенно при создании и эксплуатации компактных конструкций холодильных машин торгового холодильного оборудования и кондиционеров.

Из выражения (11.5) следует, что увеличить тепловой поток Q можно, увеличивая коэффициент теплоотдачи от охлаждаемой или теплоотводящей среды. Это достигается увеличением скорости движения среды (посредством применения вентиляторов) или заменой самой среды, если это технически и технологически оправдано. Например, заменяя в конденсаторах воздух жидкой теплоотводящей средой, скажем водой, увеличивают теплоотвод в конденсаторе и одновременно уменьшают его габаритные размеры. Это обстоятельство важно, когда появляется необходимость отводить с поверхности конденсатора значительное количество тепла.

Конденсатор осуществляет эффективный отвод теплоты конденсации, если его поверхность во время эксплуатации остается чистой. При наличии на поверхности конденсатора пыли или грязи сумма термических сопротивлений слоев

$$\sum \frac{\delta_n}{\lambda_n}$$

становится больше суммы

$$\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Современные холодильные машины, устанавливаемые в торговом холодильном оборудовании, комплектуются компактными конденсаторами. Они имеют большую величину оребрения поверхности теплообмена. Воздушные зазоры между ребрами в таких конденсаторах невелики, поэтому с целью предотвращения попадания пыли между ребрами устанавливают на конденсаторе съемный воздушный фильтр.

Рис.11.2
Холодильный шкаф фирмы *Caravell*, модель R-404

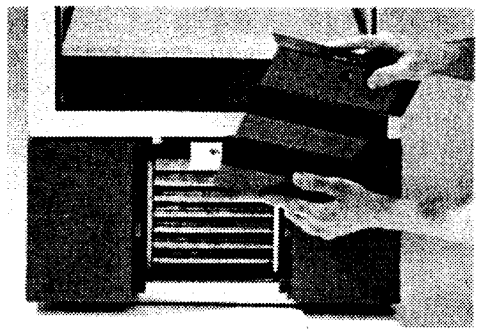


Рис. 11.3
Съемный фильтрующий элемент

На рис. 11.2 представлен холодильный шкаф фирмы *Caravell*. В нижней части шкафа располагается холодильный агрегат с конденсатором воздушного охлаждения.

Поток воздуха поступает из торгового зала через съемный фильтрующий элемент (рис. 11.3).

Произведение $k \cdot \theta_m$ называют плотностью теплового потока, т. е. количеством тепла, которое отводится через 1 м^2 площади поверхности аппарата. Его обозначают, q_F, Вт/м^2. В этом случае $Q = F \cdot q_F$, Вт.

Соответственно площадь поверхности теплообмена аппарата равна:

$$F = \frac{Q}{q_F}, \text{ м}^2. \qquad (11.6)$$

Данное выражение является основой для расчета и последующего подбора теплообменных аппаратов.

11.2. Испарители и воздухоохладители

11.2.1. Испарители для охлаждения воздуха

По типу охлаждаемой среды различают испарители для охлаждения воздуха и жидкого хладоносителя.

По конструкции испарители разделяют на ребристотрубные типа ИРТ, ИРСН, БНР (для судовых установок), гладкотрубные. Гладкотрубные испарители применяют для судовых холодильных установок и в холодильных камерах большой площади загрузки (150–250 м^2).

На холодильном транспорте используются аккумуляционные плиты-испарители.

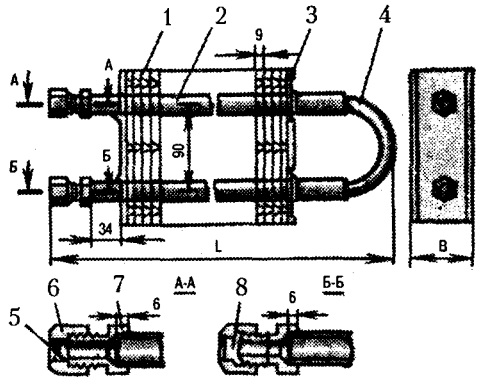


Рис. 11.4
Испаритель ИРТ-1,25
1 — ребра, 2 — труба, 3 — соединительная пластина, 4 — калач, 5 — заглушка медная, 6 — гайка, 7 — штуцер, 8 — заглушка резиновая

По способу заполнения испарителей холодильным агентом они подразделяются на сухие, затопленные и комбинированные. В сухих испарителях жидкий холодильный агент подается сверху; пары откачиваются компрессором из испарителя снизу. В торговом холодильном оборудовании применяются в основном сухие испарители, в которые жидкий холодильный агент поступает сверху, а пары отводятся снизу. Уровень жидкости в испарителе отсутствует.

В затопленных испарителях при нижней подаче в него холодильного агента устанавливается заданный уровень жидкости, определяемый общим расходом холодильного агента, проходящего через испаритель.

Каждый из способов подачи холодильного агента в испаритель имеет теплотехнические достоинства и недостатки. При нижней подаче практически вся поверхность испарителя участвует в теплообмене, чем достигается большой теплоотвод.

При верхней подаче холодильного агента проще обеспечивается возврат масла из испарителя в компрессор. Кроме того, сравнительно с затопленными испарителями в холодильной машине может находиться меньшее количество холодильного агента.

Воздушные ребристотрубные испарители, например типа ИРТ, используют в торговом холодильном оборудовании. Основным элементом испарителя является секция, состоящая из труб с насаженными на них ребрами. Секции изготавливают двух- и четырехтрубными (рис. 11.4).

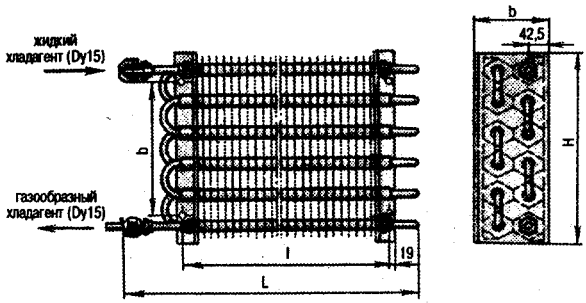


Рис. 11.5
Испаритель ИРСН (испаритель ребристый сухой настенный)

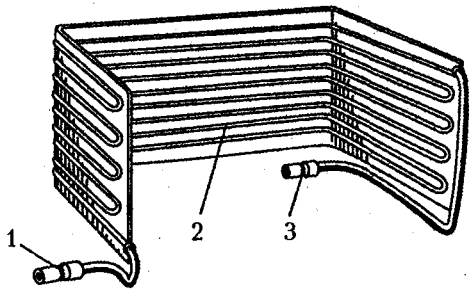


Рис.11.6
Листотрубный испаритель
1, 3 — штуцеры для подвода и отвода холодильного агента, 2 — каналы

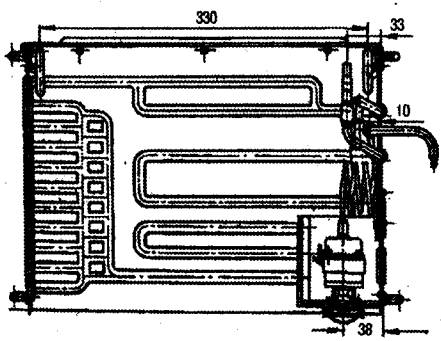


Рис. 11.7
Прокатно-сварной испаритель

Испарители типа ИРСН (испаритель ребристый сухой настенный) (рис. 11.5) используются в комплекте с холодильными машинами холодопроизводительностью от 3,5 до 10,5 кВт.

Испарители типа БНР применяют в судовых холодильных установках.

Воздушные листотрубные испарители изготавливают в виде приваренных друг к другу листов с каналами для движения холодильного агента между ними. Листотрубные испарители применяют в основном в бытовых холодильниках и в торговом низкотемпературном холодильном оборудовании (рис. 11.5).

Воздушные гладкотрубные испарители используют в основном в рассольных системах для охлаждения воздуха холодильных камер, торговых баз, производственных и иных холодильников с большими грузовыми площадями холодильных камер.

Для охлаждения воздуха в небольших по объему (6–18 м^3) холодильных камерах наибольшее применение находят испарители ребристотрубные типа ИРСН.

В торговом холодильном оборудовании, преимущественно в низкотемпературном оборудовании, устанавливают листотрубные (рис. 11.6) или прокатно-сварные испарители (рис. 11.7).

Испарители этого типа состоят из двух листов, обычно стальных или алюминиевых, имеющих штампованные каналы полукруглого сечения. Листы соединяют сваркой.

Аналогом листотрубных испарителей являются *змеевиковые испарители*, в которых медные трубки привариваются, припаиваются или прижимаются скобами к металлическому листу.

Принудительное движение воздуха уменьшает габаритные размеры испарителя. Теплообменные аппараты подобного типа называют воздухоохладителями. Конструкция воздухоохладителя представлена на рис. 11.8. Движение воздуха в воздухоохладителе обеспечивает охлаждение электродвигателя вентилятора.

11.2.2. Испарители для жидких хладоносителей

Для охлаждения жидкого хладоносителя, например, воды в торговых автоматах, пива, рассола, незамерзающих жидкостей, используют жидкостные испарители.

В холодильных машинах холодопроизводительностью более 9,0 кВт используют преимущественно *горизонтальные кожухотрубные испарители*. Типовая конструкция горизонтального кожухотрубного испарителя представлена на рис. 11.9.

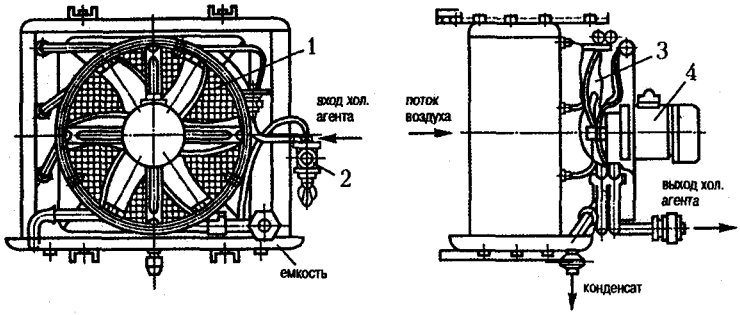


Рис. 11.8
Воздухоохладитель

1 — поверхность теплообмена, 2 — терморегулирующий вентиль, 3 — крыльчатка вентилятора, 4 — электродвигатель

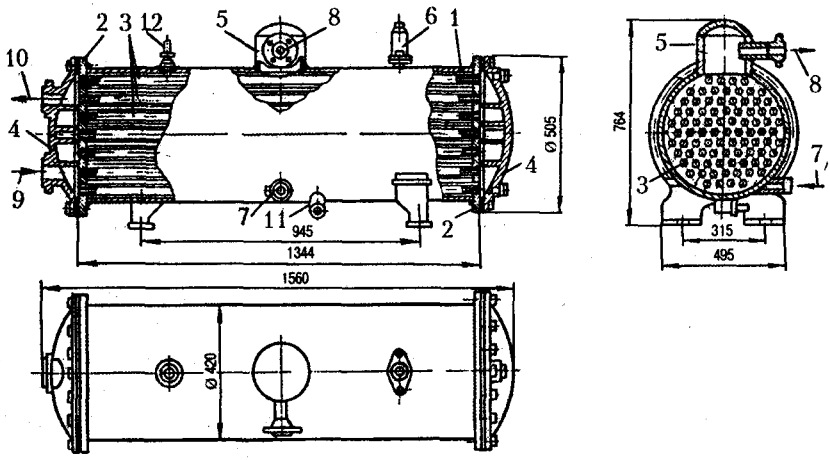


Рис. 11.9
Аммиачный кожухотрубный испаритель ИТГ-12

1 — кожух, 2 — трубные решетки, 3 — трубы с охлаждаемой средой, 4 — крышки, 5 — сухопарник, 6 — предохранительный клапан, 7 — вход аммиака, 8 — выход паров аммиака, 9 — вход рассола, 10 — выход рассола, 11 — патрубок для выхода масла, 12 — клапан для выпуска воздуха

В качестве типовой конструкции отображен аммиачный испаритель ИТГ-12. Он представляет собой горизонтальный цилиндрический корпус (кожух), к торцам которого приварены стальные трубные решетки.

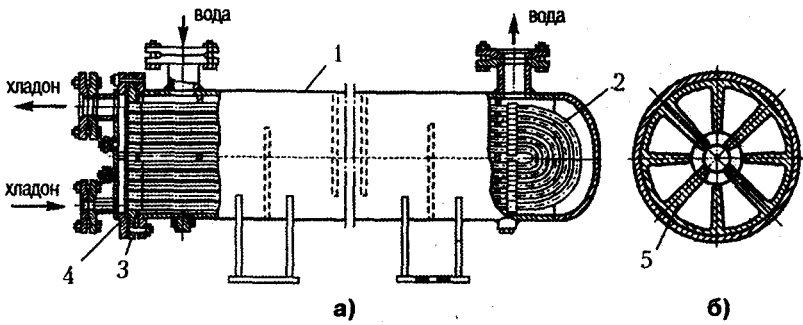


Рис. 11.10
Кожухозмеевиковый испаритель:
а) общий вид, б) поперечный размер трубы
1 — кожух, 2 — трубы, 3 — трубная решетка,
4 — крышка, 5 — вставка

В отверстия трубных решеток вставлены и развальцованы стальные горизонтальные трубки. Обе трубные решетки закрыты чугунными крышками с внутренними перегородками для обеспечения многоходового движения охлаждаемой среды (рассола). Рассол циркулирует внутри труб, а аммиак кипит в межтрубном пространстве.

Отличие хладонового испарителя от аммиачного состоит в том, что в хладоновом испарителе используются медные толстостенные трубы с наружным оребрением.

Разновидностью кожухотрубного испарителя является кожухозмеевиковый испаритель (рис. 11.10).

Принципиальное отличие от кожухотрубного испарителя состоит в том, что кожухозмеевиковый имеет одну трубную решетку. Противоположная трубной решетке часть труб соединена калачами (изогнутыми трубами).

Системы с жидким теплоносителем, в частности с рассолом, несмотря на дополнительные энергетические затраты, обладают рядом технических достоинств. Рассол обеспечивает большую «хладоемкость» системы, возможность транспортировать рассол на значительное расстояние, позволяет технически просто регулировать температуру воздуха в холодильных камерах, используя в холодильной машине незначительное количество холодильного агента.

Агрессивность и коррозионная активность рассола определяются свойствами рассола и не являются принципиально непреодолимым препятствием в использовании рассольной системы охлаждения.

11.3. Конденсаторы

По типу теплоотводящей среды различают конденсаторы воздушного и водяного охлаждения.

В холодильных агрегатах торгового холодильного оборудования преимущественно применяют конденсаторы воздушного охлаждения. По сравнению с конденсаторами водяного охлаждения они проще в монтаже и эксплуатации.

Конденсаторы воздушного охлаждения подразделяют на конденсаторы с *конвективным* и *принудительным* движением воздуха.

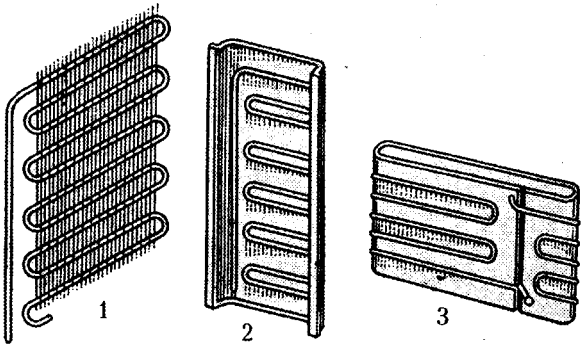


Рис. 11.11
Конденсаторы бытовых холодильников
1 — проволочно-трубный, 2 — листотрубный щитовой,
3 — листотрубный прокатносварной

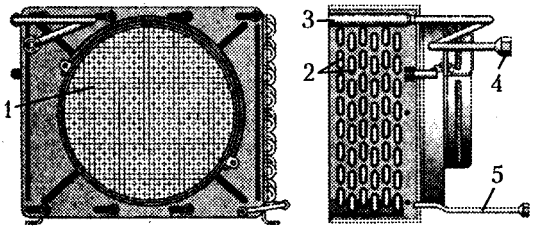


Рис. 11.12
Конденсатор 4Ф-12 (без вентилятора)
1 — оребренные трубки, 2 — трубки секций,
3 — коллектор газообразного холодильного агента,
4, 5 — трубопроводы входа и выхода холодильного агента

11.3.1. Воздушные конденсаторы

В холодильном оборудовании с небольшой тепловой нагрузкой (домашние холодильники, холодильные шкафы, витрины) устанавливаются *конденсаторы с конвективным (естественным) движением воздуха* (рис. 11.11).

Основным достоинством таких конденсаторов является отсутствие шума в работе.

Коэффициент теплопередачи конденсаторов не превышает величины 4–6 Вт/(м² · К).

Конденсаторы с принудительным движением воздуха, *как и воздухоохладители, снабжены вентиляторами.*

Коэффициент теплопередачи конденсаторов с принудительным движением воздуха составляет 25–35 Вт/(м² · К). Вследствие этого в торговом холодильном оборудовании преимущественное распространение получили конденсаторы с принудительным движением воздуха (рис. 11.12).

11.3.2. Конденсаторы водяного охлаждения

Конденсаторы водяного охлаждения подразделяют на *конденсаторы проточного типа* и конденсаторы, в которых обеспечивается *оборотное снабжение.*

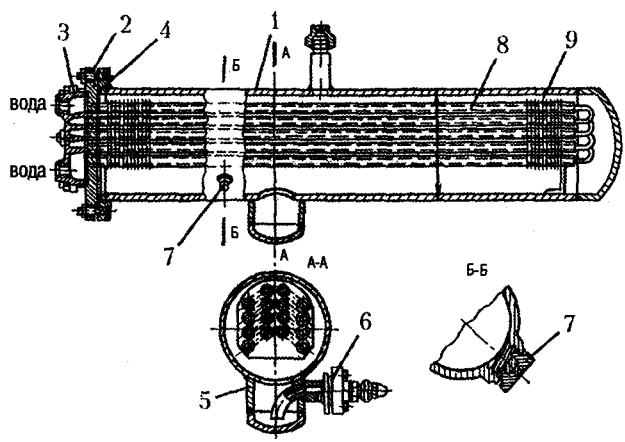


Рис. 11.13
Кожухо-змеевиковый конденсатор КТР-3

1— корпус, 2 — трубная решетка, 3 — крышка, 4 — прокладка, 5 — сборник жидкости, 6 — запорный жидкостной вентиль, 7 — плавкая пробка, 8 — теплообменные трубки, 9 — ребра

Конденсатором проточного типа называют конденсаторы, в которых охлаждаемая среда (вода) после отвода тепла конденсации удаляется в канализацию.

Конденсаторы водяного охлаждения конструктивно не отличаются от испарителей аналогичного технического исполнения. Например, кожух конденсатора КТР-3 выполнен из стальной трубы диаметром 0,19 м и длиной 0,9 м (рис. 11.13). К одному концу кожуха приварено сферическое дно. Другой конец кожуха закрыт крышкой с направляющими для воды, обеспечивающими множество проходов. Пары холодильного агента подаются в верхнюю часть конденсатора, жидкий холодильный агент удаляется из нижней части конденсатора. Хладон конденсируется в межтрубном пространстве, а вода циркулирует внутри оребренных труб змеевика.

Существенным недостатком проточных конденсаторов является большой расход воды, протекающей через него. Например, расход воды через конденсатор КТР-3 составляет порядка 1,5 м³/ч. Поэтому все конденсаторы проточного типа обязательно комплектуются водорегулирующими вентилями (ВРВ), рис. 11.14.

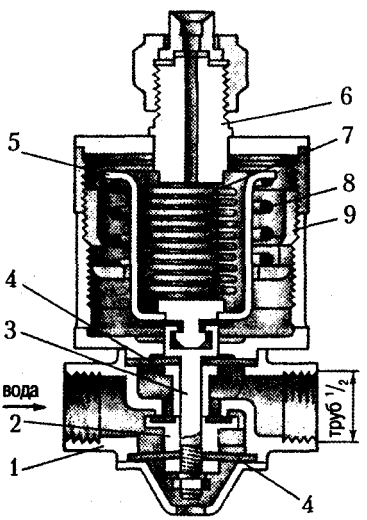


Рис. 11.14
Водорегулирующий вентиль СК62045-15

1 — корпус, 2 — клапан, 3 — шток, 4 — мембраны, 5 — кожух сильфона, 6 — штуцер для присоединения трубки от конденсатора, 7 — сильфон, 8 — пружина, 9 — задатчик

В ВРВ чувствительным элементом является сильфон, на который воздействует давление конденсации. Усилие от сильфона передается через шток на клапан. При повышении давления конденсации сильфон растягивается, его кожух опускается, сжимая пружину. Шток перемещается вниз, отжимая клапан от седла, и вода поступает через вентиль в конденсатор. При понижении давления в конденсаторе действие рабочих элементов обратное.

После прекращения работы компрессора клапан поджимается к седлу, прекращая подачу воды. Однако при этом допускается протечка через клапан до 5% от количества воды, циркулирующей через конденсатор. Настройка вентиля осуществляется вращением винта задатчика.

Кроме установки в холодильной машине ВРВ прибегают к техническим решениям, обеспечивающим повторное использование воды, выходящей из конденсатора.

В режиме экономии воды работают оросительные и испарительные конденсаторы.

11.3.4. Конденсаторы с возвратом охлаждающей воды

Оросительные конденсаторы

Конденсаторы этого типа представляют вертикально расположенные змеевики, на которые сверху через распределительное устройство подается вода. Вода стекает по трубам, частично испаряясь, и падает в емкость, из которой вновь поступает в распределительное устройство. Потери воды компенсируют ее подачей из водопровода через поплавковое устройство.

Оросительные конденсаторы применяют в основном в аммиачных холодильных машинах большой холодопроизводительности.

Испарительные конденсаторы

Они представляют собой трубчатые змеевики, размещенные внутри металлического шкафа (рис. 11.15).

Конденсаторы этого типа могут быть использованы в интервале тепловых нагрузок от 3,5 до 350 кВт и более.

В испарительных конденсаторах вода непрерывно циркулирует между водяным баком и форсунками. Наружный воздух засасывается вентилятором, прогоняется через корпус и выбрасывается наружу. Влага отделяется на водоотделителе. Расход воды в этих конденсаторах обычно не превышает 10% от расхода воды в проточных конденсаторах.

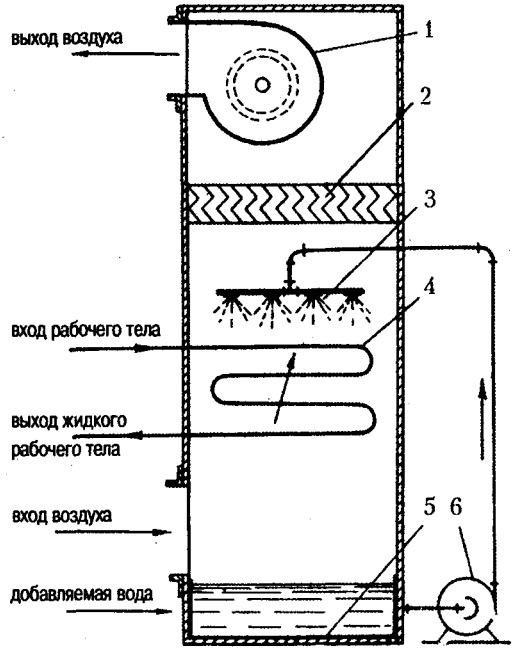


Рис. 11.15
Схема испарительного конденсатора
1 — вентилятор, 2 — водоотделитель, 3 — форсунки, 4 — змеевик конденсатора, 5 — водяной бак, 6 — насос

Эксплуатационным недостатком конденсаторов является необходимость обеспечивать жесткий режим водоподготовки, исключающий прежде всего развитие водорослей. Кроме того, вода должна быть чистой, без механических частиц и грязи.

Серьезной проблемой является размещение конденсатора. При размещении конденсатора в контуре здания требуется специальное помещение, в котором обеспечивается очистка воздуха, выбрасываемого наружу за пределы контура здания.

При размещении конденсатора за пределами контура здания, например на крыше здания, возникает проблема эксплуатации конденсатора в зимнее время, связанная с возможным замерзанием воды.

В связи с многочисленными техническими сложностями конденсаторы этого типа предпочтительно эксплуатировать в теплой климатической зоне.

11.4. Универсальные пластинчатые теплообменные аппараты для охлаждения или нагрева жидких сред

Современные паяные пластинчатые теплообменные аппараты (рис. 11.16) являются универсальными элементами холодильных машин, способными в зависимости от направления потока холодильного агента и рабочей жидкости выполнять функции испарителя или конденсатора (рис. 11.17).

При выполнении теплообменником функции испарителя жидкий холодильный агент поступает снизу (левый патрубок), пар выходит сверху (левый патрубок). Хладоноситель противотоком поступает в испаритель сверху (правый патрубок), а выходит охлажденным снизу.

В случае использования теплообменника в качестве конденсатора (поз. в, рис. 11.17) горячие пары холодильного агента поступают в верхнюю часть теплообменного аппарата (левый патрубок), а жидкий холодильный агент выходит снизу (левый патрубок). Охлаждающая среда, например вода, поступает в нижнюю часть теплообменного аппарата, а выходит нагретой сверху.

Теплообменные аппараты при большой площади теплообмена имеют небольшие геометрические размеры. Например, паяный теплообменный аппарат, обеспечивающий холодопроизводительность 13 кВт,

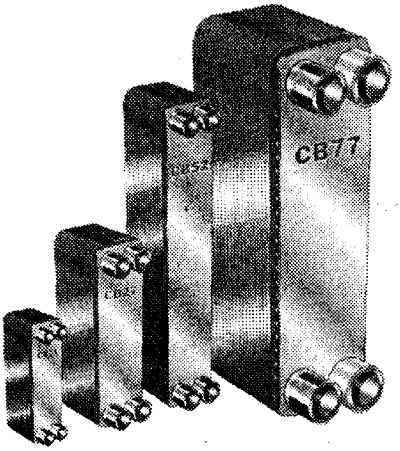


Рис. 11.16
Теплообменные паяные универсальные аппараты

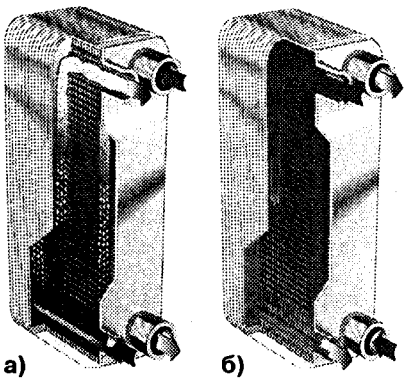


Рис. 11.17
Теплообменные аппараты
а) испаритель для охлаждения жидкости,
б) конденсатор с теплоотводом жидкой средой

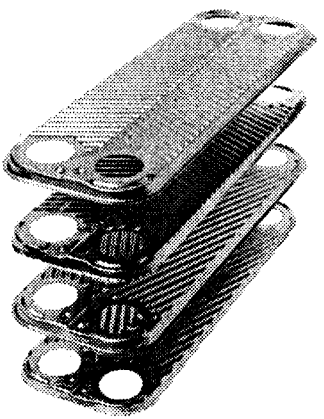


Рис. 11.18
Наборные пластины теплообменного аппарата

имеет высоту 310 мм, ширину 111 мм. Масса аппарата невелика и оценивается исходя из соотношения $1{,}2 + 0{,}13 \cdot n$ (n — число пластин теплообменного аппарата). При холодопроизводительности 2,2 кВт используют 10 пластин, при 13,3 кВт — 50. Таким образом, масса теплообменного аппарата, обеспечивающего холодопроизводительность 13,3 кВт, составляет всего 7,7 кг.

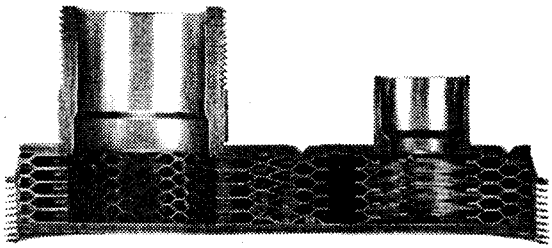


Рис. 11.19
Разрез теплообменного аппарата

Малые геометрические размеры и масса аппарата обусловлены большой поверхностью теплообмена и высокой его эффективностью. Теплообменные аппараты собираются из отдельных штампованных пластин с каналами для потока холодильного агента и жидкой среды (рис. 11.8).

Набор пластин (рис. 11.19) обеспечивает высокую скорость движения сред, многократно изменяемое направление потока и большую площадь поверхности теплообмена.

Контрольные вопросы:

1. Каковы особенности теплообмена в испарителях и конденсаторах?
2. Каковы особенности конструкций испарителей для охлаждения воздуха?
3. Каковы особенности конструкций испарителей для жидких хладоносителей?
4. Каковы конструктивные особенности конденсаторов бытовых холодильников?
5. В чем состоят особенности конструкций конденсаторов водяного охлаждения?
6. Отметить отличительные особенности оросительных и испарительных конденсаторов.
7. Чем обеспечивается высокая эффективность теплообмена в пластинчатых теплообменных аппаратах?

Глава 12
ХОЛОДИЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ, КЛАССИФИКАЦИЯ

Агрегатирование, т. е. объединение отдельных элементов холодильной машины в единую жестко связанную техническую конструкцию, обусловлено удобством монтажа холодильного оборудования в заводских условиях, упрощением условий его эксплуатации и обслуживания в системе общественного питания и в торговле.

12.1. Классификация агрегатов

По способу объединения основных элементов холодильной машины (компрессор, конденсатор, дросселирующее устройство, испаритель) холодильные агрегаты подразделяют на компрессорно-конденсаторные, испарительно-регулирующие, комплексные; по способу отвода теплоты конденсации — на агрегаты с воздушным охлаждением, водяным и смешанным; по диапазону температур кипения хладагента — на средне-, низко- и высокотемпературные; по способу исполнения компрессора — на сальниковые (компрессоры открытого типа), герметичные, разъемные бессальниковые; по принципу работы компрессора агрегаты подразделяют на поршневые, ротационные и т. д. в соответствии с типом компрессора; по роду электрического тока — на одно- и трехфазные.

Малые холодильные агрегаты подразделяют на агрегаты бытовых холодильников холодопроизводительностью 116–348 Вт (100–300 ккал/ч), агрегаты торгового холодильного оборудования холодопроизводительностью до 3480Вт (3000 ккал/ч), агрегаты торговых предприятий и общепромышленного применения холодопроизводительностью 4640–20 880 Вт (4000–18 000 ккал/ч).

Холодильные агрегаты холодопроизводительностью до 3480Вт (3000 ккал/ч) выпускались в компоновке с поршневыми сальниковыми компрессорами ФАК и ФВ, с поршневыми герметичными комп-

рессорами ВС, ВСэ, ВН и ВВ, с ротационными герметичными компрессорами ВСр и ВПр. В настоящее время выпуск агрегатов ФАК прекращен, однако в общественном питании и торговле подобные агрегаты еще продолжают эксплуатироваться.

Холодильные агрегаты холодопроизводительностью выше 3500 Вт (3000 ккал/ч) с поршневыми сальниковыми компрессорами и конденсатором воздушного охлаждения имеют буквенную индексацию АВ, с конденсатором водяного охлаждения и сальниковыми компрессорами — АК; равным образом это относится к бессальниковым компрессорам.

12.2. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с конденсатором воздушного охлаждения

12.2.1. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с поршневым сальниковым компрессором и конденсатором воздушного охлаждения

Типичным поршневым агрегатом с сальниковым компрессором является агрегат ФАК (рис. 12.1).

Холодильные агрегаты подобного типа применяются преимущественно для охлаждения расположенных вне торгового зала небольших холодильных камер. Агрегаты не встраиваются в холодильное оборудование, располагаясь отдельно. Электродвигатели агрегатов подключаются к сети напряжением 380 V.

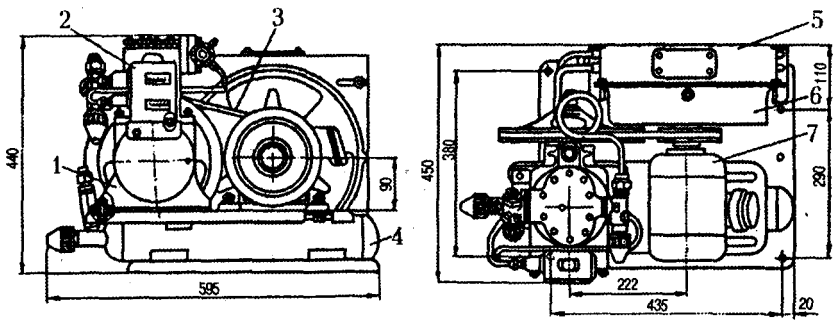


Рис. 12.1
Холодильный агрегат ФАК-0.7Е

1 — компрессор, 2 — реле давления, 3 — ремень клиноременной передачи, 4 — ресивер, 5 — конденсатор, 6 — диффузор вентилятора конденсатора, 7 — электродвигатель

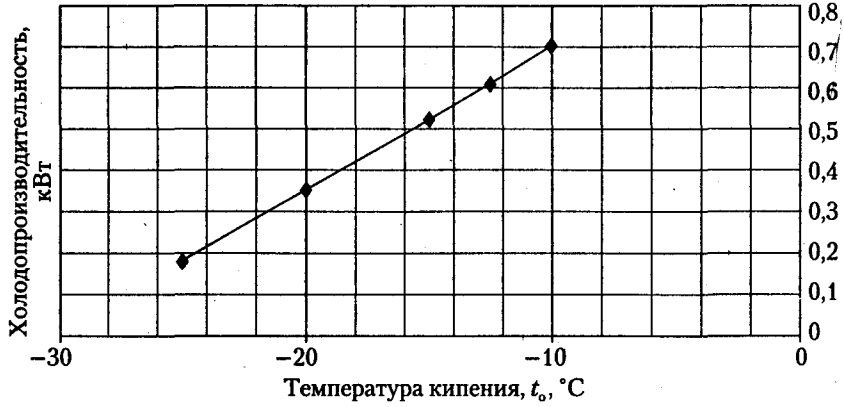


Рис. 12.2
График зависимости холодопроизводительности Q_o, кВт, холодильного агрегата ФАК-0,7Е от температуры кипения t_o, °С

Агрегат состоит из компрессора, конденсатора и дополнительных элементов — ресивера (емкости для сбора и хранения холодильного агента), электродвигателя, реле давления.

Ресивер наряду с функцией транспортной тары предназначен для хранения и сбора жидкого холодильного агента из нижней части конденсатора. Это освобождает нижнюю часть конденсатора от жидкого холодильного агента, что увеличивает теплосъем с его поверхности.

Агрегат, как правило, дополнительно комплектуется фильтром-осушителем.

Холодопроизводительность Q_o, Вт, холодильного агрегата устанавливается на основе его рабочей характеристики. Графически она представляется в виде функции холодопроизводительности Q_o, Вт, от температуры кипения холодильного агента в испарителе t_o, °С (рис. 12.2).

12.2.2. Компрессорно-конденсаторные агрегат с поршневым бессальниковым компрессором и конденсатором воздушного охлаждения

Иллюстрацией агрегата подобного типа является агрегат АКВ1-6 с компрессором ФВБС-6 (рис. 12.3).

Особенностью этого агрегата является использование бессальникового компрессора, что упрощает компоновочное решение агрегата. Однако при этом появляется необходимость в дополнительной установке электродвигателя вентилятора конденсатора.

Все эксплуатационные достоинства и недостатки бессальниковых компрессоров распространяются на специфику эксплуатации агрегата в целом.

Холодильные агрегаты данного типа применяются для поддержания технологически заданной температуры воздуха в стационарных холодильных камерах.

Существенным недостатком агрегатов является высокий уровень шума, вследствие чего агрегаты принято устанавливать в специализированных помещениях — машинных отделениях.

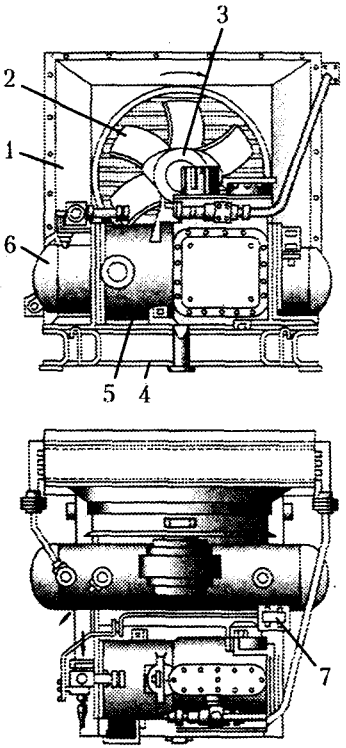


Рис.12.3
Компрессорно-конденсаторный агрегат АКВ1-6
с бессальниковым компрессорам
и воздушным охлаждением конденсатора

1 — конденсатор, 2 — вентилятор, 3 — электродвигатель вентилятора, 4 — сварная рама, 5 — бессальниковый компрессор, 6 — ресивер, 7 — реле давления

12.3. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с конденсатором водяного охлаждения

12.3.1. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с поршневым сальниковым компрессором и конденсатором водяного охлаждения

На рис. 12.4 представлен типовой холодильный агрегат с поршневым сальниковым компрессором и конденсатором водяного охлаждения АКФВ-4М.

Холодопроизводительность агрегата при температуре кипения –15 °С и конденсации 30 °С составляет 5,3 кВт.

Агрегат обеспечивает охлаждение воздуха в стационарных холодильных камерах.

12.3.2. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с поршневым бессальниковым компрессором и конденсатором водяного охлаждения

Агрегатом подобного типа является агрегат АК4,5-1-2 (рис. 12.5).

Подобные агрегаты используются преимущественно для охлаждения комплекса холодильного оборудования, например холодильного оборудования магазинов типа «универсам».

Регламентирующим фактором применения агрегатов с водяным охлаждением конденсатора является высокая стоимость воды, поступающей на конденсатор и сбрасываемой в канализацию после прохождения ее через конденсатор.

Потребителю приходится оплачивать стоимость используемой воды практически дважды. Поэтому охлаждение конденсатора водой возможно лишь при сочетании следующих условий: на территории предприятия есть относительно дешевый источник природной непитьевой воды (артезианская скважина, река...). Сбрасываемая вода не несет в себе экологически вредных компонентов, загрязняющих окружающую среду.

В современных условиях работы предприятий использование проточной воды для охлаждения конденсатора без ее последующей утилизации является экономически затратным шагом. Поэтому холодильные агрегаты с водяным охлаждением используют системы оборотного водоснабжения с применением градирен, прудов, брызгальных бассейнов.

Холодильные агрегаты с водяным охлаждением конденсатора комплектуются водорегулирующим вентилем (поз. 3, рис. 12.5). Водорегулирующий вентиль (ВРВ) в зависимости от давления конденсации

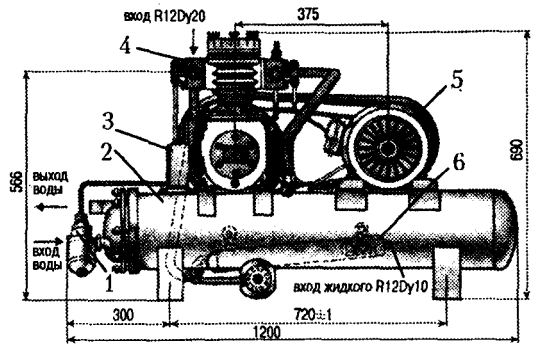


Рис. 12.4
Холодильный агрегат с сальниковым компрессором и конденсатором водяного охлаждения АКФВ-4М

1 — водорегулирующий вентиль, 2 — конденсатор, 3 — реле давления, 4 — компрессор, 5 — электродвигатель, 6 — теплообменник

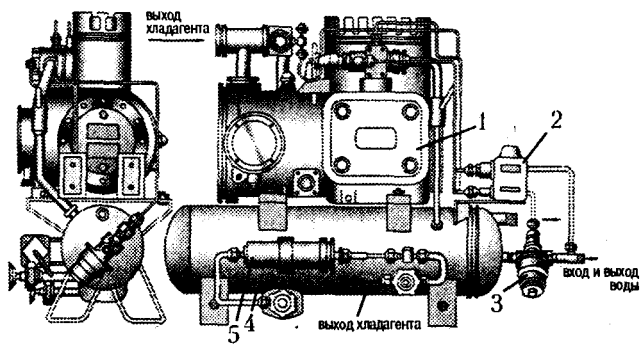


Рис. 12.5
Агрегат АК4,5-1-2 с водяным охлаждением конденсатора

1 — компрессор, 2 — реле давления, 3 — водорегулирующий вентиль

регулирует расход воды, протекающей через конденсатор, что обеспечивает постоянство температуры конденсации и соответственно холодопроизводительности холодильной машины.

Разновидностью компрессорно-конденсаторные агрегата с поршневым бессальниковым компрессором и конденсатором водяного охлаждения является агрегат с конденсатором, который располагается на од-

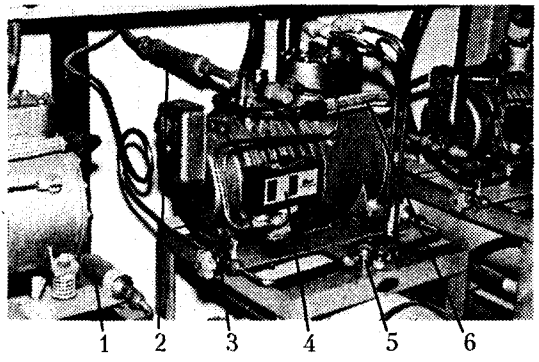


Рис. 12.6
Поршневой бессальниковый разъемный компрессор с конденсатором водяного охлаждения (располагается под компрессором)
1 — фильтр, 2, 6 — гибкая вставка, 3 — запорный вентиль, 4 — реле давления, 5 — указатель потока

ной металлической стойке и в то же время не является единой составной частью агрегата (рис. 12.6).

12.4. Компрессорно-конденсаторные агрегаты с поршневыми, герметичными компрессорами

Агрегаты с поршневыми, герметичными компрессорами холодопроизводительностью до 3,0 кВт имеют обозначения ВС, ВН и ВВ, ВСэ.

Агрегаты с ротационными, герметичными компрессорами имеют буквенные обозначения — ВСр и ВВр.

Первая буква в обозначении агрегата с герметичным компрессором указывает, что охлаждение конденсатора осуществляется посредством воздуха. Вторая буква в обозначении соответствует температурному

Таблица 12.1
Температурные режимы работы агрегатов

Исполнение	Температура, °С		
	кипения хладагента	окружающего воздуха	всасывания хладагента
ВВ	5	30	20
ВС	–15	20	20
ВН	–35	20	20

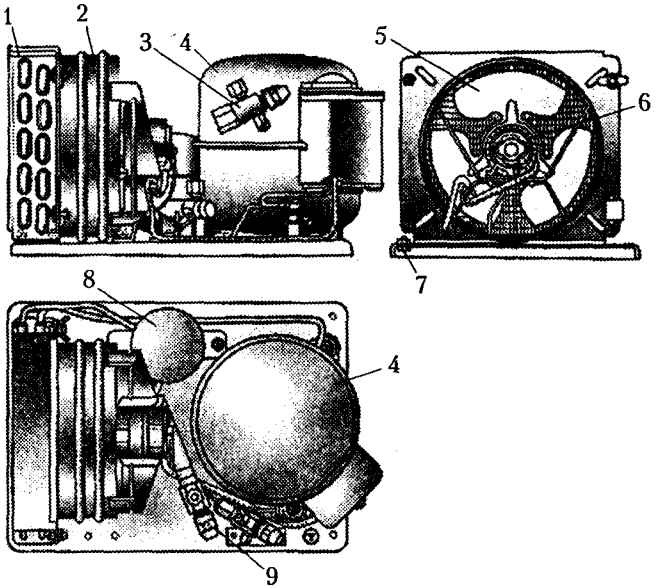


Рис. 12.7
Компрессорно-конденсаторный агрегат ВС500

1 — конденсатор, 2 — диффузор вентилятора, 3 — вентиль всасывающий, 4 — компрессор, 5 — крыльчатка вентилятора, 6 — электродвигатель вентилятора, 7 — рама, 8 — ресивер, 9 — вентиль с сетчатым фильтром

диапазону работы (С — среднетемпературный, Н — низкотемпературный, В — высокотемпературный). Строчные буквы определяют тип компрессора (р — ротационный компрессор, э — компрессор с экранированным ротором).

Температурные режимы работы герметичных агрегатов отражены в табл. 12.1.

На рис. 12.7 представлен агрегат с герметичным поршневым компрессором ВС500.

В агрегатах подобного типа компрессор охлаждается воздухом, проходящим через конденсатор. Агрегаты рассчитаны на длительную работу при температуре конденсации не выше 55 °С, что соответствует температуре воздуха, обеспечивающего отвод тепла конденсации, равной 45 °С.

Агрегаты рассчитаны на работу с ТРВ или капиллярной трубкой. Их комплектуют фильтром-осушителем, который устанавливается в процессе монтажа холодильного оборудования.

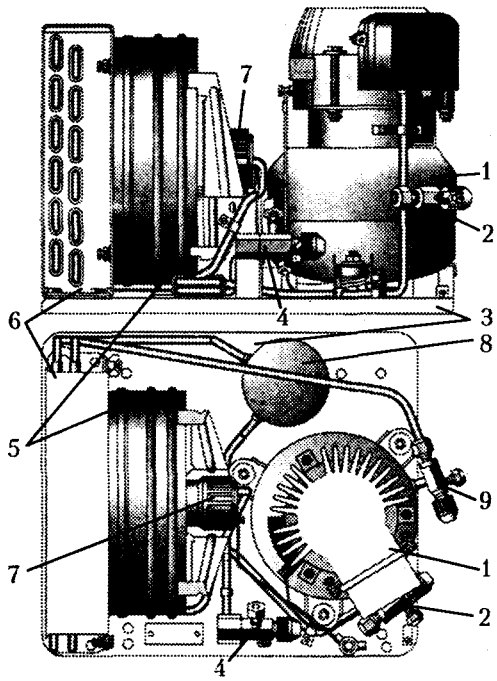


Рис.12.8
Компрессорно-конденсаторный агрегат
с экранированным ротором электродвигателя
1 — компрессор, 2 — всасывающий вентиль, 3 — станина,
4 — жидкостной вентиль, 5 — диффузор вентилятора,
6 — конденсатор, 7 — электродвигатель вентилятора,
8 — ресивер, вентиль нагнетательный

Сравнительно с агрегатами с сальниковыми компрессорами герметичные холодильные агрегаты отличаются меньшими габаритами и массой, бесшумностью, малой вибрацией, высокой надежностью в эксплуатации и обслуживании.

Однако, как отмечено ранее при оценке эксплуатационных достоинств и недостатков герметичных компрессоров, при утечке холодильного агента из холодильной машины обмотка электродвигателя компрессора может сгореть. Поэтому на базе компрессоров с экранированным ротором созданы холодильные агрегаты типа ВСэ (рис. 12.8).

Эксплуатационные качества таких агрегатов вытекают из эксплуатационных достоинств и недостатков установленных в них герметичных компрессоров с экранированным ротором.

Холодильные агрегаты используют главным образом для охлаждения воздуха в холодильных камерах торгового холодильного оборудования.

12.5. Комплексные компрессорно-конденсаторные агрегаты

Приоритетным направлением развития холодильной техники в области агрегатирования является создание комплексных агрегатов, объединяющих в единой механически прочно связанной конструкции все элементы холодильной машины. Эта задача решается с учетом конструктивных особенностей торгового холодильного оборудования. Например, в большинстве типов домашних холодильников агрегат не является конструктивно жестко связанным с основными элементами (рис. 12.9).

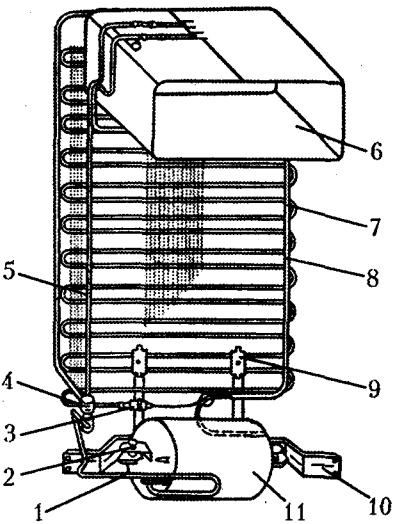


Рис. 12.9
Комплексный холодильный агрегат домашнего холодильника «Ока-6»
1 — нагнетательный трубопровод, 2 — болт, 3 — фильтр-осушитель, 4 — клапан автоматического оттаивания испарителя, 5 — трубопровод оттаивания, 6 — испаритель, 7 — конденсатор, 8 — всасывающий трубопровод с расположенной внутри капиллярной трубкой, 9 — крепежные планки, 10 — рама, 11 — мотор-компрессор

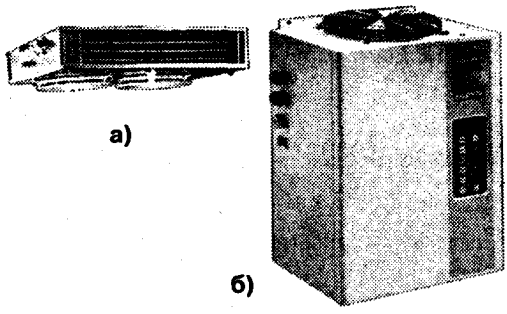


Рис. 12.10
Сплит-система
а) компрессорно-конденсаторный агрегат,
б) воздухоохладитель

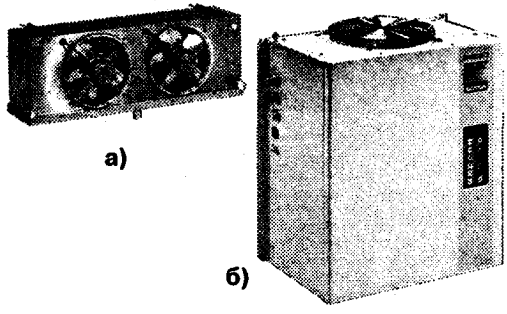


Рис. 12.11
Сплит-система
а) компрессорно-конденсаторный агрегат,
б) воздухоохладитель

Равным образом это можно отнести к так называемым сплит-системам (рис. 12.10, 12.11).

12.5.1. Сплит-системы

Сплит-системы используются преимущественно в установках кондиционирования воздуха в помещениях офисов, торговых залах системы общественного питания, предприятий торговли.

Они представляют собой объединенные между собой посредством трубопроводов два отдельно оформленных блока. Один включает в

себя компрессорно-конденсаторный агрегат с приборами автоматического регулирования и контроля температуры в охлаждаемом объеме, в другом находится воздухоохладитель с дросселирующим устройством.

Сплит-системы имеют многообразное техническое исполнение. Например, они могут различаться направлением воздушного потока, проходящего через воздухоохладитель (рис. 12.10 и 12.11). В воздухоохладителе (рис. 12.10) воздух поступает снизу, выходит в горизонтальном направлении. В воздухоохладителе (рис. 12.11) воздух не меняет направления движения.

Компрессорно-конденсаторный агрегат располагают снаружи здания или внутри его, но за пределами охлаждаемого помещения.

Достоинство сплит-систем состоит в отсутствии шума в рабочих помещениях офисов или торговом зале предприятия, в удалении теплоты конденсации от работающего холодильного оборудования за пределы здания, что принципиально важно в летнее время.

Недостаток сплит-систем состоит в том, что они как комплекс не являются системами полной заводской сборки и потому требуют квалифицированного и качественного монтажа на месте их установки. Кроме того, тепло конденсации выбрасывается на улицу, что энергетически неразумно, и потому возникает естественный вопрос о его утилизации.

Логическим продолжением объединения элементов холодильной машины в единый жестко связанный комплекс является моноблок (рис. 12.12–12.14).

Технические характеристики моноблочных холодильных машин MAZ и BAZ отражены в приложении, табл. 12.1, 12.2.

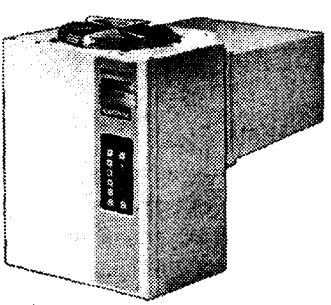


Рис. 12.12
Моноблочная холодильная машина, настенное исполнение

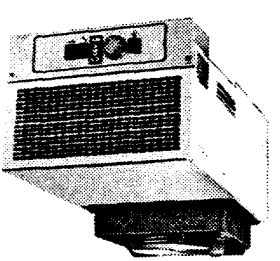


Рис. 12.13
Моноблочная холодильная машина, потолочное исполнение

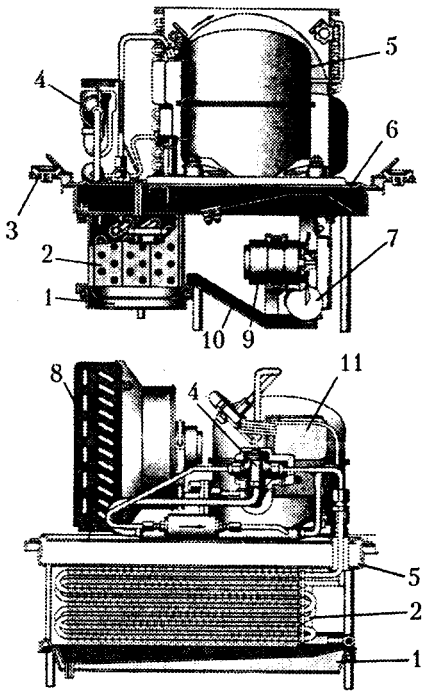


Рис. 12.14
Моноблочная холодильная машина

1 — поддон воздухоохладителя, 2 — воздухоохладитель, 3 — крепежные элементы, 4 — терморегулирующий вентиль, 5 — компрессор, 6 — рама агрегата, 7 — крыльчатка вентилятора воздухоохладителя, 8 — воздушный конденсатор, 9 — электродвигатель вентилятора, 10 — крепление вентилятора, 11 — электрический щит

12.5.2. Моноблочные холодильные машины

Моноблочная холодильная машина является изделием заводской сборки. Как правило, холодильная машина не имеет соединений трубок посредством накидных гаек, ниппелей. Вся сборка обеспечивается сваркой (пайкой) трубопроводов, и потому холодильная машина является герметичной. Утечки холодильного агента из такой машины практически исключены.

При традиционной сборке элементов моноблочной холодильной машины (рис. 12.13), использующей ниппельные соединения (трубки

присоединяются накидными гайками), необходим контроль герметичности системы.

На рис. 12.14 представлена схема моноблочной холодильной машины, используемой в холодильных шкафах ШХ-0,71 и ШХ-1,4.

Достоинство моноблочных холодильных машин заключено в заводском способе монтажных работ, что обеспечивается высокой культурой и технологичностью производства. Моноблочные холодильные машины компактны, надежны, просты в обслуживании.

Недостатком моноблочных машин является относительно большая масса комплекса, что предполагает жесткость конструкции, на которой моноблок крепится. С увеличением холодопроизводительности холодильной машины эта проблема становится все более актуальной.

В современном холодильном оборудовании моноблочные холодильные машины применяют в основном в сборных холодильных камерах, холодильных камерах контейнерного типа, шкафах для хранения продуктов.

Контрольные вопросы:

1. Какие принципы заложены в классификацию холодильных агрегатов?
2. Какой смысл вкладывается в понятие «техническая характеристика холодильного агрегата»?
3. В чем состоит различие холодильных агрегатов компрессорно-конденсаторных и комплексных?
4. Каким образом обеспечивается экономия воды, подаваемой на конденсатор с водяным охлаждением?
5. В чем состоят эксплуатационные достоинства сплит-систем?
6. Чем отличается сплит-система от моноблочной холодильной машины?

Глава 13
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

К числу дополнительного оборудования холодильной машины, необходимого для ее нормальной работы, относят ресиверы, отделители жидкости, фильтры-осушители, вентили.

Менее значимым элементом холодильной машины, непосредственно не влияющим на ее работу, но достаточно важным в части контроля состояния влаги в холодильном агенте, является указатель потока жидкости визуального наблюдения.

13.1. Ресиверы

Ресивер является составной частью холодильного агрегата. Он представляет емкость, в которой находится холодильный агент. Ресивер устанавливают в холодильный агрегат в заполненном холодильным агентом состоянии.

Емкость ресивера зависит от холодопроизводительности холодильной машины. Например, емкость ресивера агрегата ВС-0,45~3 холодопроизводительностью 552 Вт (450 ккал/ч) составляет 0,9 л, для агрегата ВС-0,7~3 холодопроизводительностью 812 Вт (700 ккал/ч) — соответственно 1,4 л.

В соответствии с требованиями техники безопасности при работе с сосудами под давлением емкость ресивера должна быть больше количества заполняющего ее холодильного агента на 30–40%.

Ресивер является сосудом, в котором при работе холодильной машины постоянно находится определенная часть холодильного агента. В этом плане он является циркуляционным ресивером, сглаживающим неравномерность тепловой нагрузки на испаритель и как следствие этого неравномерность расхода холодильного агента, проходящего через ресивер.

При незначительной утечке холодильного агента из холодильной машины ресивер обеспечивает ее работоспособность до тех пор, пока

эти потери не будут ощутимы или, при небольших потерях холодильного агента, они не будут устранены.

Таким образом, ресивер является многофункциональным дополнительным холодильным оборудованием, способствующим нормальной работе холодильной машины.

По конструктивному исполнению ресиверы подразделяют на вертикальные (рис. 13.1) и горизонтальные (рис. 13.2).

Вертикальные ресиверы применяются в холодильных агрегатах преимущественно малых холодильных машин холодопроизводительностью до 800 Вт. Они монтируются на общей плоской металлической раме, устанавливаемой на амортизирующих устройствах. Таковыми являются: резиновые коврики, пружины, установленные на анкерных болтах, цементного фундамента или несущей конструкции торгового холодильного оборудования.

Горизонтальные ресиверы являются составной частью холодильных агрегатов. Они большей частью устанавливаются в холодильных агрегатах открытого типа холодопроизводительностью 0,8–3,0 кВт.

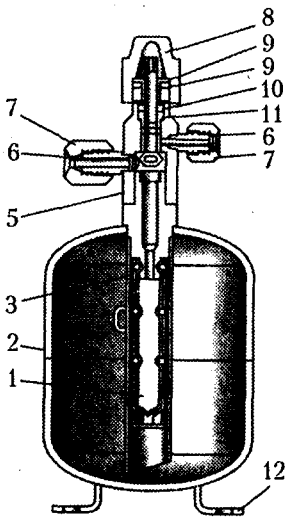


Рис. 13.1
Вертикальный ресивер

1 — фильтрующий элемент, 2 — корпус ресивера, 3 — заборная трубка, 4 — подводящий трубопровод, 5 — жидкостной вентиль, 6 — штуцер, 7 — гайка накидная, 8 — гайка колпачковая, 9 — прокладка, 10 — корпус ресивера, 11 — набивка сальника, 12 — опора

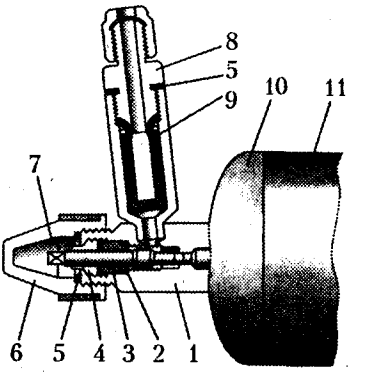


Рис. 13.2
Горизонтальный ресивер

1 — корпус вентиля, 2, 3 — набивка сальника вентиля, 4 — грундбукса, 5 — прокладка, 6 — колпачковая гайка, 7 — шпиндель вентиля, 8 — корпус вентиля, 9 — прокладка, 10 — дно ресивера, 11 — корпус ресивера

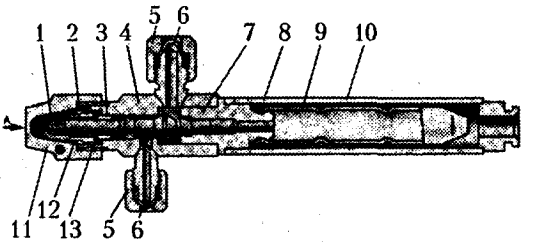


Рис. 13.3
Двухходовой вентиль с фильтром агрегатов типа ВС

1 — шпиндель, 2 — прокладка, 3 — набивка сальниковая, 4 — корпус вентиля, 5 — гайки накидные, 6 — заглушки, 7 — седло, 8 — проволока, 9 — сетка латунная, 10 — корпус фильтра, 11 — гайка колпачковая, 12 — грундбукса,13 — прокладка

13.2. Отделители жидкости

Отделители жидкости (ОЖ), как отмечалось ранее, выполняют свою непосредственную функцию, т. е. обеспечивают отделение капельно-жидкой влаги холодильного агента от паров. Эта функция необходима для подачи в компрессор сухого насыщенного пара.

Наряду с удалением из холодильного агента влаги отделитель жидкости функционально необходим при удалении с поверхности испарителя инея (при оттайке испарителя). При удалении инея с поверхности испарителя горячими парами холодильного агента, поступающими из конденсатора, пары холодильного агента частично конденсируются в испарителе и в виде парожидкостной смеси вместе с маслом поступают в отделитель жидкости.

Масло скапливается в нижней части отделителя жидкости и при переходе холодильной машины в нормальный режим через калиброванное отверстие поступает в компрессор. Жидкий холодильный агент докипает в отделители жидкости (отделитель жидкости не теплоизолирован) и в виде паров поступает в компрессор.

13.3. Фильтры-осушители

Фильтры-осушители (рис. 13.3) решают комплекс проблем. Они удаляют влагу из холодильного агента и обеспечивают очистку системы от грязи. Дополнительной функцией фильтров-осушителей является нейтрализация в холодильном агенте кислоты.

Кислота образуется как следствие использования флюсов при пайке трубопроводов. При наличии влаги в холодильном агенте флюс растворяется, образуя кислоту.

13.4. Вентили

Вентили предназначены для обеспечения доступа холодильного агента в аппараты холодильной машины. Вентили разделяют на одно- и двухходовые.

Одноходовой вентиль представлен на рис. 13.2. При вращении по часовой стрелке закрывается выход холодильного агента из ресивера.

Двухходовые вентили (рис. 13.3) отличаются от одноходовых вентилей тем, что на конце шпинделя имеются два конуса.

При вращении вентиля по часовой стрелке передняя часть конуса закрывает выход холодильного агента из ресивера. При вращении шпинделя в обратную сторону задняя часть конуса перекрывает вход холодильного агента в прилив, к которому может крепиться прибор автоматики остановки и пуска компрессора — реле давления и при необходимости мановакууметр для контроля давления в аппаратах холодильной машины.

13.5. Указатели потока жидкости

Указатели потока жидкости устанавливают на жидкостном трубопроводе холодильной машины, что дает возможность визуально определить, достаточно ли холодильного агента в холодильной машине. Если холодильного агента в холодильной машине мало, то через смотровое стекло видны пузырьки пара в потоке жидкости.

Указатели потока жидкости устанавливают вблизи ресивера, не в непосредственной близости от вентилей.

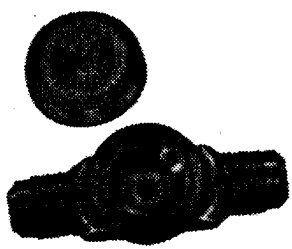


Рис. 13.4
Указатель потока жидкости с индикатором влажности холодильного агента

Наличие пузырьков в жидкости указывает на то, что жидкий холодильный агент дросселируется в жидкостном трубопроводе вследствие повышенного перепада давления. Пузырьки исчезают только при снижении перепада давления в трубопроводе или большем переохлаждении жидкого холодильного агента.

На дне указателя потока жидкости устанавливают пластинку, которая меняет цвет в зависимости от наличия влаги в холодильном агенте. Интенсивность цвета указывает на концентрацию в холодильном агенте растворенных компонентов, преимущественно флюсов.

Контрольные вопросы:

1. Для какой цели в холодильной машине устанавливают ресивер?
2. Насколько целесообразно применение отделителей жидкости в холодильной машине?
3. Какую функцию выполняют фильтры-осушители?
4. В чем состоят конструктивные особенности вентилей?
5. Для какой цели в схеме холодильной машины используют указатель потока?

Глава 14
АВТОМАТИЗАЦИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН И УСТАНОВОК

14.1. Холодильные машины и установки как объекты автоматизации

Холодильная машина состоит из четырех основных элементов: испарителя, компрессора, конденсатора и дросселирующего устройства.

Холодильная установка — это совокупность объекта охлаждения и холодильной машины. Таким образом, холодильный шкаф или, например, холодильная витрина есть не что иное, как разновидности холодильных установок.

Автоматизация холодильной машины и установки предполагает решение основной и вспомогательной задач.

Основная задача автоматизации состоит в поддержании температуры охлаждаемой среды в технологически заданных пределах при изменении внешних параметров, воздействующих на работу холодильной машины.

К *вспомогательным задачам,* способствующим решению основной, относят: заполнение испарителя, поддержание давления конденсации, защиту от опасных режимов и т. д.

Решение основной задачи иллюстрируется схемой (рис. 14.1).

В охлаждаемый объем холодильной камеры (*Охл. кам.*) поступает тепло $Q_н$. В простейшем случае можно считать, что это тепло является только теплом, проникающим через теплоизоляцию. Для поддержания постоянной технологически заданной температуры это тепло следует отводить. Тепло Q_0 отводится при помощи испарителя холодильной машины (*Х. М.*).

Выполняя работу; холодильная машина потребляет энергию *Е,* Вт. От теплопередающей поверхности конденсатора холодильной машины тепло $Q_к$, Вт, отводится в теплоотводящую среду.

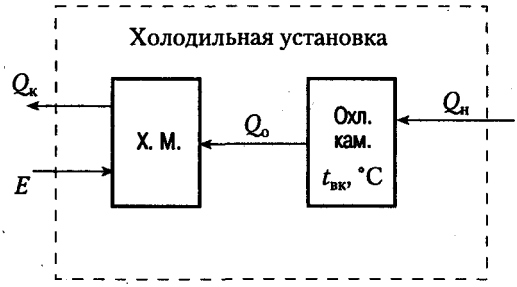


Рис. 14.1
Функциональная схема холодильной установки

Анализ теплоотвода свидетельствует, что выполнение основной задачи — поддержание технологически заданной температуры $t_{вк}$, °С, сводится к созданию условий равенства тепловых потоков $Q_н$ и $Q_о$. Равенство тепловых потоков может быть достигнуто двумя путями: воздействием на поток $Q_н$ или на поток $Q_о$.

Воздействие на поток $Q_н$. Этот метод применяют в основном в специальных условиях. Например, если температура воздуха в холодильной камере низкая, то ее можно повысить, не меняя режима работы холодильной машины, а установив в камере нагревательный элемент, который обеспечит решение этой задачи. Естественно, что метод энергетически затратен и потому может быть рекомендован как лабораторно-испытательный метод.

Воздействие на поток $Q_о$. При применении этого метода изменение температуры $t_{вк}$, °С, компенсируют изменением величины потока $Q_о$. Этот метод энергетически приоритетен, он является основным и самым распространенным.

Количество тепла, отнимаемое от воздуха в охлаждаемом объеме, составляет:

$$Q_о = k_о \cdot F_о \cdot (t_{вк} - t_о), \text{ Вт}, \qquad (14.1)$$

где

$k_о$ — коэффициент теплопередачи испарителя, Вт/(м² · К);

$F_о$ — площадь поверхности испарителя, м²;

$t_{вк}$, $t_о$ — температура воздуха камеры и температура кипения холодильного агента, °С.

Количество тепла, которое может быть отведено при помощи холодильного агента рабочим веществом (холодильным агентом) в теплообменном аппарате:

$$Q_{х.а.} = (i_{вых} - i_{вх}) \cdot G_{х.а.}, \text{ Вт}, \quad (14.2)$$

где

$G_{х.а.}$ — расход холодильного агента, кг/с;

$i_{вых}$, $i_{вх}$ — энтальпии холодильного агента на выходе и входе из теплообменного аппарата, Дж/кг.

При равенстве холодопроизводительностей Q_0 и $Q_п$ получают решение относительно температуры охлаждаемой среды ($t_{х.к.}$):

$$t_{х.к.} = t_0 + \frac{G_{х.а.}}{k_0 \cdot F_0}(i_{вых} - i_{вх}), \text{ °C}. \quad (14.3)$$

Из выражения (14.3) следует, что температура охлаждаемой среды в охлаждаемом объеме ($t_{вк}$, °С) зависит от:

- температуры кипения холодильного агента t_0, °С;
- расхода холодильного агента, $G_{х.а.}$, кг/с;
- площади поверхности теплообмена испарителя, F_0, м^2;
- коэффициента теплопередачи испарителя k_0, Вт/(м^2 · К).

Выбор метода регулирования температуры охлаждаемой среды зависит от совокупности условий, отражающих особенности эксплуатации холодильной установки.

14.1.1. О процессах самоустановления (саморегулирования) в холодильной машине

Работа холодильной установки протекает при нестационарных условиях тепловой нагрузки на аппараты холодильной машины. Поэтому представляет интерес ответ на вопрос, в какой мере параметры процессов, протекающих в холодильной машине, способны к восстановлению исходного состояния. Это дает возможность в процессах, протекающих при переменных условиях, найти закономерности, позволяющие установить направление изменения параметров, стремящихся к некоторым равновесным состояниям, облегчает регулирование этих параметров, а в ряде случаев позволяет отказаться от их регулирования. Например, в домашнем холодильнике (рис. 14.2) снижение уровня жидкого холодильного агента в испарителе (от точки *А* до точки *А'*), вызванное увеличением тепловой нагрузки, приводит к увеличению уровня в конденсаторе от (*Б* до *Б'*).

Переполнение конденсатора (*Кд*) увеличивает давление конденсации, что, в свою очередь, вызывает увеличение подачи хладона через капиллярную трубку (*КТр*) в испаритель (*И*). Таким образом, высокая

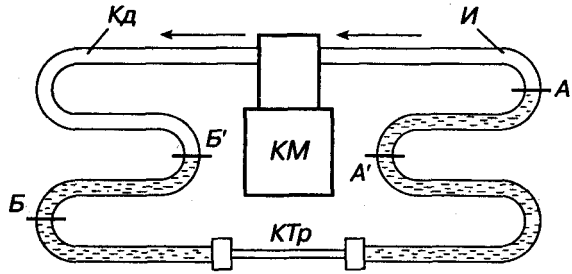


Рис. 14.2
Иллюстрация к процессам самоустановления в домашнем холодильнике

степень самовыравнивания (снижение уровня в испарителе увеличивает подачу жидкости) позволяет обойтись без автоматического регулятора заполнения испарителя.

В холодильных машинах торгового холодильного оборудования устанавливается ресивер, т. е. емкость для сбора жидкого холодильного агента, образующегося в конденсаторе. При использовании ресивера изменение уровня в испарителе практически не оказывает влияния на изменении давления в конденсаторе. Степень самовыравнивания мала, и потому приходится регулировать заполнение испарителя холодильным агентом при помощи приборов автоматики.

14.1.2. Параметры, подлежащие регулированию в холодильной машине

Преувеличение в выборе параметров регулирования холодильной машины усложняет и удорожает холодильную машину и установку в целом.

Работа холодильной машины протекает в условиях нестационарности процессов в ее аппаратах. Наличие комплекса элементов холодильной машины определяет интерес к взаимосвязи процессов между собой. Иными словами, представляет интерес, в какой мере, например, процессы, протекающие в испарителе и компрессоре, взаимосвязаны.

Холодопроизводительность испарителя выражают соотношением:

$$Q_o = k_o \cdot F_o \cdot (t_{вк} - t_o), \text{ Вт.} \qquad (14.4)$$

Холодопроизводительность компрессора выражают соотношением:

$$Q_k = \lambda \cdot \frac{q_o}{v_1} \cdot V_h, \text{ Вт.} \qquad (14.5)$$

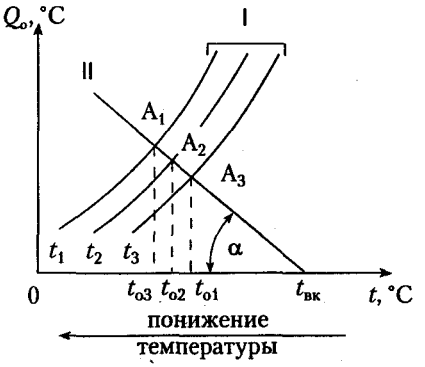


Рис. 14.3
Самоустановление температуры кипения при различных температурах конденсации (t)
I — характеристика компрессора,
II — характеристика испарителя

Обе эти характеристики зависят от температуры кипения. Выражения (14.4) и (14.5) могут быть представлены графически (рис. 14.3).

Температура конденсации и температура воздуха охлаждаемого объема приняты постоянными.

Линия (I) представляет собой характеристики компрессора при различной температуре конденсации t_1, t_2, t_3, причем $t_3 > t_2 > t_1$. Прямая (II) — характеристика испарителя. Угол наклона α линии (II) определяется отношением холодопроизводительности испарителя, отнесенной к разности температур охлаждаемого объема ($t_{вк}$) и кипения (t_o):

$$tg\alpha = \frac{Q_o}{t_{вк} - t_o}. \qquad (14.6)$$

Равенство холодопроизводительностей компрессора и испарителя при понижающихся значениях температуры конденсации ($t_3 < t_2 < t_1$) достигается при понижающихся значениях температуры кипения ($t_{o3} < t_{o2} < t_{o1}$). Точки A_1, A_2, A_3 называют рабочими точками.

Произведение $k_o F_o$ называется «качеством» работы испарителя. Изменение величин, входящих в это произведение, вызывает перемещение рабочей точки и меняет режим работы холодильной машины (рис. 14.5).

Так, например, образование инея на поверхности испарителя, что эквивалентно уменьшению площади поверхности испарителя, приводит к понижению температуры кипения холодильного агента в испарителе.

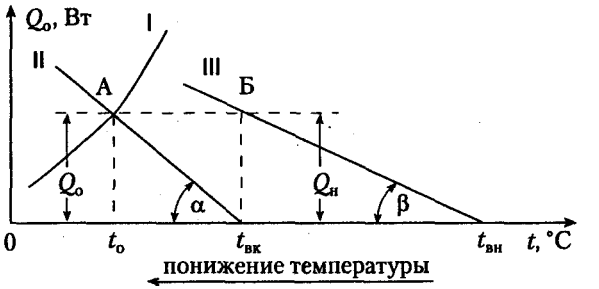


Рис. 14.4
Установление равновесной температуры охлаждаемого объема

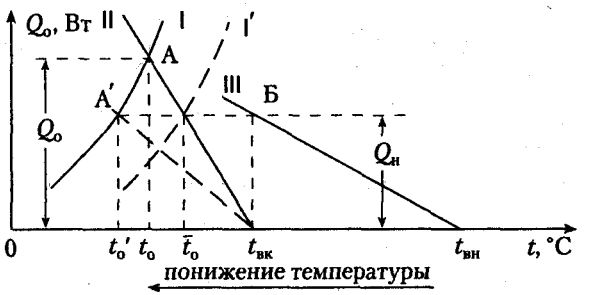


Рис. 14.5
Установление равновесной температуры охлаждаемого объема

Тепловой баланс испарителя, компрессора и тепла, проникающего через наружные ограждения $Q_н$, Вт, позволяет графическим путем оценить равновесную температуру охлаждаемого объема (рис. 14.4). Если из слагаемых теплового баланса охлаждаемого объема принять только то тепло, которое проникает через наружные ограждения то величину теплопритока через наружное ограждение можно отобразить выражением:

$$Q_н = K_н \cdot F_н \cdot (t_{вн} - t_{вк}), \text{ Вт}, \qquad (14.7)$$

где

$K_н$ — коэффициент теплопередачи наружного ограждения, Вт/(м² · К);

$F_н$ — площадь поверхности ограждения, м²;

$t_{вн}$, $t_{вк}$ — температуры наружного воздуха и воздуха охлаждаемого объема, °С.

Равенство холодопроизводительностей компрессора, испарителя и охлаждаемого объекта отображено на рис. 14.4, 14.5.

Установление соответствия между количеством холодильного агента, поступающего в испаритель и в компрессор, определяется регулирующим вентилем.

При снижении теплопритока (рис. 14.5) в охлаждаемый объем $Q_н$, Вт, равновесие в системе может быть достигнуто посредством уменьшения площади поверхности испарителя, что возможно лишь при более низкой температуре кипения t_o', °С. Так как понижение температуры кипения связано с возрастанием энергетических затрат, то целесообразно, не понижая температуру кипения, уменьшить холодопроизводительность компрессора.

Одним из путей уменьшения холодопроизводительности компрессора является его периодическая работа. Это эквивалентно замене данного компрессора менее мощным компрессором, но работающим непрерывно при средней температуре кипения t_o, °С. Характеристика этого компрессора обозначена индексом (I′) (рис. 14.5).

Периодичность работы компрессора характеризуется коэффициентом рабочего времени b. Он представляет собой отношение длительности рабочей части цикла ($\tau_р$, с) к полному времени цикла ($\tau_ц$, с), включающему в себя длительность работы компрессора и длительность его пребывания в отключенном состоянии ($\tau_{ст}$, с), т. е.

$$b = \frac{\tau_р}{\tau_р + \tau_{ст}} = \frac{\tau_р}{\tau_ц},$$

или, что эквивалентно,

$$b = \frac{Q_н}{Q_o}.$$

Регулирование холодопроизводительности компрессора методом остановки и пуска компрессора происходит при неустановившемся состоянии, но это не отрицает тенденции к стремлению системы к достижению равновесия во всех ее элементах.

14.1.3. Соотношение холодопроизводительностей компрессора и испарителя холодильной машины в неустановившемся состоянии

Как отмечено ранее, процессы в каждом из элементов холодильной машины взаимосвязаны. Они в значительной мере зависят, например, от величины теплопритока к поверхности испарителя, от температуры среды, отводящей тепло от поверхности конденсатора, и т. д.

Количество паров, образующихся в испарителе, зависит от величины теплопритоков к его поверхности. Выполнение технологических требований, состоящих в поддержании заданной температуры в охлаждаемом объеме, предполагает, что при любом температурном режиме компрессор должен отводить все образующиеся пары из испарителя. В противном случае пары скапливаются в испарителе, повышаются давление кипения, температура кипения и процесс кипения прекращается. Следовательно, холодопроизводительность компрессора всегда должна быть рассчитана на наибольшую величину тепловой нагрузки. Если это требование проиллюстрировать выбором компрессора для домашнего холодильника, то компрессор должен быть установлен такой, чтобы он обеспечивал работу холодильной машины даже при экстремальных условиях эксплуатации холодильника, т. е. при температуре наружного воздуха $t_{вн} = 32$ °С и при условии полной загрузки холодильника продуктами (требование ГОСТ). Поэтому компрессор холодильной машины домашнего холодильника, как, впрочем, и любого типа торгового холодильного оборудования, рассчитывается на максимальную величину теплопритоков в охлаждаемый объем, которые воспринимаются поверхностью испарителя.

Таким образом, обязательным требованием в выборе элементов холодильных машин торгового холодильного оборудования является соответствие холодопроизводительности компрессора максимальной холодопроизводительности испарителя. При иных, не экстремальных по тепловой нагрузке на испаритель условиях работы холодильной машины работа компрессора должна приводить к понижению в испарителе давления и температуры кипения t_o, °С (рис. 14.6).

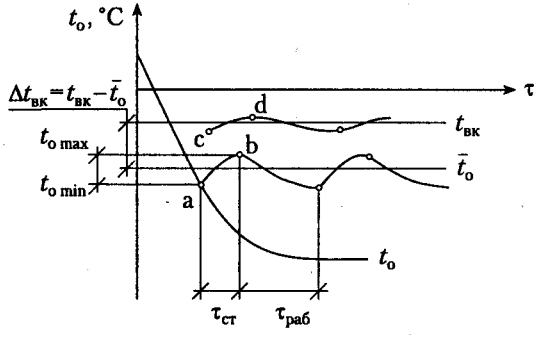


Рис. 14.6
Изменение температуры кипения холодильного агента в испарителе во времени

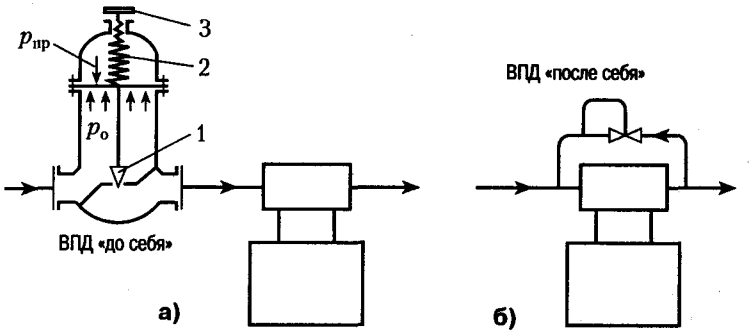


Рис. 14.7
Вентили постоянного давления (ВПД)
а) «до себя»; в) «после себя»

Поскольку температура воздуха в охлаждаемом объеме $t_{вк}$, °С, зависит от температуры кипения, температура воздуха также понижается. Понижение температуры воздуха меньше, чем изменение температуры кипения холодильного агента в испарителе. Однако даже эти небольшие колебания температуры воздуха в охлаждаемом объеме технологически неприемлемы.

При хранении охлажденных продуктов температура воздуха может понизиться ниже технологически заданной температуры $t_{вк}$, °С, что недопустимо, поскольку возможно замерзание продукта, изменение его исходных свойств. Поэтому при достижении заданной предельно низкой температуры кипения холодильного агента в испарителе (точка «а», рис. 14.6) или воздуха в охлаждаемом объеме (точка «с») следует отключить электродвигатель компрессора. При повышении температуры кипения холодильного агента до температуры $t_{o\,max}$, °С (точка «в», рис. 14.6) компрессор включается.

Регулировать холодопроизводительность компрессора можно различными способами: посредством изменения удельной объемной холодопроизводительности компрессора, изменением (ухудшением) коэффициента подачи компрессора, перепуском части холодильного агента из нагнетательного трубопровода во всасывающую полость цилиндра компрессора (байпасирование), ухудшением коэффициента подачи компрессора, а также ступенчатым или плавным (в основном для двигателей постоянного тока) изменением скорости вращения ротора электродвигателя и т. д.

Выбор метода регулирования холодопроизводительности компрессора в значительной мере определяется практической целесообразно-

стью принятого технического решения, технико-экономическими соображениями и простотой технической конструкции.

Изменение удельной объемной холодопроизводительности компрессора достигается дросселированием всасываемого пара в вентиле постоянного давления (ВПД) «до себя» (а, рис.14.7).

Вентиль постоянного давления обеспечивает сохранение постоянного давления по ходу холодильного агента «до себя» или «после себя».

При понижении давления кипения p_o, МПа, клапан 1 прикрывает проходное сечение вентиля, благодаря чему понижается давление всасывания и уменьшается холодопроизводительность компрессора.

Плавное байпасирование, т. е. перепуск части холодильного агента из нагнетательной линии во всасывающую, обеспечивается установкой ВПД «после себя» (в, рис. 14.7).

Вентиль постоянного давления (ВПД) используют и для поддержания двух температур кипения при одном компрессоре (рис. 14.8).

В данном случае используется вентиль «до себя», позволяющий в охлаждаемом объеме с более высокой температурой кипения поддерживать и более высокую температуру воздуха.

Вентиль установлен на паровой линии, идущей от испарителя камеры с более высокой температурой воздуха $t_{к2}$. Величина давления

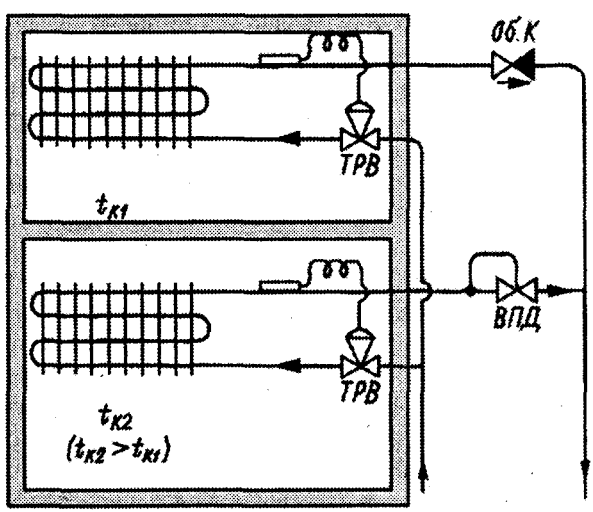


Рис. 14.8
Поддержание двух температур кипения при помощи одного компрессора

кипения задается положением установочного винта 3 (рис. 14.7). При понижении давления кипения в испарителе клапан 1 закрывает отверстие вентиля. Продолжающееся образование пара повышает давление и температуру кипения до тех пор, пока давление не окажется достаточным для преодоления усилия пружины 2. Тогда вентиль открывается и образовавшийся пар начинает поступать в компрессор. Проходя через вентиль, он дросселируется до давления кипения, соответствующего температуре кипения в испарителе камеры с более низкой температурой $t_{к1}$, и при этом давлении пар всасывается компрессором.

При остановке компрессора пар из испарителя с высокой температурой кипения и соответственно с высоким давлением кипения может перетекать через открытый ВПД в испаритель с низкой температурой кипения. В испарителе он станет конденсироваться. Чтобы этого не допустить, на паровой линии с низкой температурой кипения устанавливают обратный клапан (*об. к.*).

Энергетически принятый способ поддержания двух температур кипения при одном компрессоре невыгоден, однако практически удобен в силу своей простоты.

Для поддержания точного значения температуры в охлаждаемом объеме весьма привлекательным является изменение частоты вращения ротора электродвигателя.

Изменение частоты вращения ротора электродвигателя может быть ступенчатым или плавным.

Ступенчатое изменение частоты вращения ротора электродвигателя n_c, $с^{-1}$, достигается изменением числа пар полюсов обмотки многоскоростного электродвигателя:

$$n_c = \frac{f}{p}, с^{-1}, \qquad (14.8)$$

где

f — частота питающего тока, Гц;

p — число пар полюсов.

Если предположить, что холодопроизводительность компрессора линейно зависит от частоты вращения вала электродвигателя, то выбор заданной холодопроизводительности связан с определением числа пар полюсов многоскоростного электродвигателя.

Многоскоростные электродвигатели являются сложной технической конструкцией, что существенно увеличивает стоимость холодильной машины в целом, ограничивая область их применения холодильными машинами средней и большой холодопроизводительности.

Плавное изменение холодопроизводительности компрессора обеспечивается следующими способами регулирования асинхронных электродвигателей:

- введением дополнительного сопротивления в цепь ротора (для двигателей постоянного тока);
- изменением частоты питающего напряжения;
- введением в цепь ротора управляемой э. д. с.

Первый способ находит ограниченное применение из-за недостатков, связанных с конструктивными особенностями электродвигателей постоянного тока. Второй и третий находят практическое применение.

В малых и средних по холодопроизводительности холодильных машинах метод остановки и пуска компрессора является наиболее распространенным в силу его простоты и экономической эффективности.

14.2. Приборы автоматического регулирования температуры воздуха в торговом холодильном оборудовании

14.2.1. Приборы прямого регулирования температуры воздуха в охлаждаемом объеме

Основным регулируемым технологическим параметром в торговом холодильном оборудовании является температура воздуха. Поэтому приборы, регулирующие температуру воздуха в охлаждаемом объеме и соответственно холодопроизводительность холодильной машины, называют приборами прямого регулирования. К ним, например, относят реле температуры ТР-1-02 (рис. 14.9) — тип регулятора, до недавнего времени широко распространенного в отечественной холодильной технике.

Принцип работы этого прибора и подобных ему является общим для электромеханических регуляторов температуры.

Чувствительным элементом прибора является баллон. Он помещается в объеме холодильной камеры. При повышении температуры воздуха в камере повышается давление холодильного агента в баллоне-24. Это давление по капиллярной трубке 25 передается на сильфон 20. Шток 21 сильфона приподнимается, и рычаг 18 поворачивается по часовой стрелке. Закрепленный на нем рычаг 9 переходит за устойчивое состояние пластины 10. Она отклоняется вправо, электрические контакты замыкаются, компрессор включается.

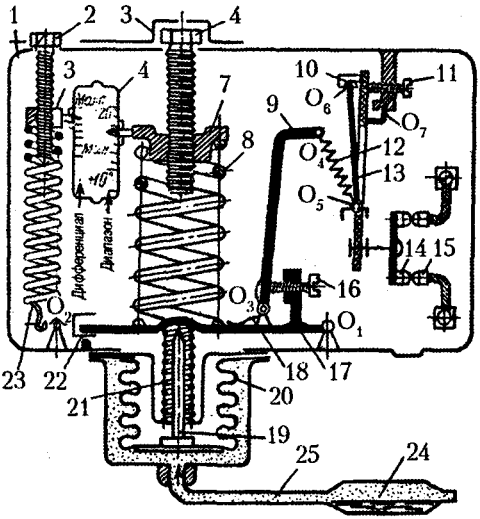


Рис. 14.9
Реле температуры типа ТР-1-02

1 — корпус, 2 — винт настройки дифференциала, 3, 7 — гайки, 4 — шкала, 5 — стопорная пластина, 6 — винт настройки диапазона, 8 — основная пружина, 9, 13, 17 — рычаги, 10 — контактная пластина, 11, 16 — регулировочные винты, 12 — перекидная пружина, 14, 15 — контакты, 18 — пружина, 19 — шток, 20 — сильфон, 21 — пружина сильфона, 22 — коромысло, 23 — пружина дифференциала, 24 — баллон, 25 — капиллярная трубка

Перемещение рычага ограничено коромыслом дифференциала и усилием, создаваемым пружиной 23.

Регуляторами прибора являются винт настройки температуры выключения компрессора 6 и винт дифференциала 2 (винт диапазона включения компрессора). Настроечные винты 16 и 11 точной настройки прибора регулируются в заводских условиях.

Диапазон температур выключения компрессора посредством реле температуры ТР-1-02 составляет –20...–10 °С, дифференциал составляет 3–10 °С.

Регуляторы температуры применяют в малых холодильных установках для регулирования температуры воздуха в охлаждаемом объеме путем выключения и включения компрессора холодильной машины. Термобаллон располагают в воздухе холодильной камеры, корпус регулятора температуры с ручками настройки находится вне холодильной камеры.

Недостатком реле температуры прямого регулирования является большая тепловая инерционность прибора, следствием чего является невозможность точного поддержания температуры воздуха в охлаждаемом объеме.

14.2.2. Приборы косвенного регулирования температуры воздуха в охлаждаемом объеме

Реле температуры

Электромеханические реле температуры, которые реализуют принцип косвенного регулирования температуры воздуха в охлаждаемом объеме, например РТХО (рис. 14.10), Т-110, ТАМ 133 (рис. 14.11) и др., имеют меньшие габаритные размеры, что позволяет использовать их в качестве регуляторов температуры в торговом холодильном оборудовании (ТАМ 113) и в бытовых холодильниках.

Они не имеют термобаллона, поскольку реагируют не на температуру воздуха, а на температуру кипения холодильного агента в испарителе холодильной машины, которая на 10–22°С ниже температуры воздуха. В этом случае капиллярная трубка присоединяется непосредственно к поверхности испарителя. Часть длины трубки, прикрепленной к поверхности испарителя, выполняет функцию термобаллона.

Техническая характеристика датчика-реле температуры типа ТАМ 133 отражена в табл. 14.1.

Конструкция и принцип работы приборов подобного типа рассмотрены на примере работы реле температуры РТХО.

Реле температуры РТХО предназначено для обеспечения остановки и пуска компрессора и полуавтоматического оттаивания инея с поверхности испарителя. При повышении температуры поверхности испарителя и контактирующей с ним капиллярной трубки давление хладона

Таблица 14.1
Техническая характеристика датчика-реле температуры типа ТАМ 133

Тип реле температуры	Диапазон настройки выключения, °С	Диапазон дифференциала, °С
ТАМ 133-1, ТАМ 133-2	(–22,5 ± 2)...(–10 ± 2)	3,5 ± 1,3
ТАМ 133-3	(–30,0 ± 1,5)...(–16 ± 2)	4,5 ± 1
ТАМ 133-4	(–19,5 ± 1,5)...(–6,5 ± 2)	5 ± 1
ТАМ 133-5	(–25,5 ± 1,5)...(–10,5 ± 2)	5 ± 1

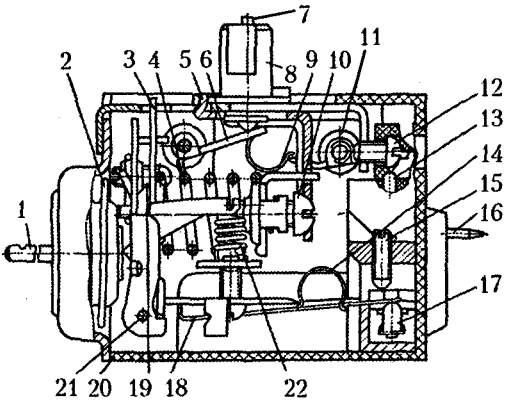


Рис. 14.10
Реле температуры РТХО

1 — капилляр, 2 — сильфон, 3 — рычаг, 4, 22 — пружины, 5 — ползун, 6 — двухплечный рычаг, 7 — кнопка оттаивания, 8 — ручка настройки, 9, 14 — перекидные пружины, 10, 12, 15, 19 — винты, 11, 18 — рычаги, 13 — шток, 16 — клемма, 17 — подвижный контакт, 20 — корпус, 21 — ось

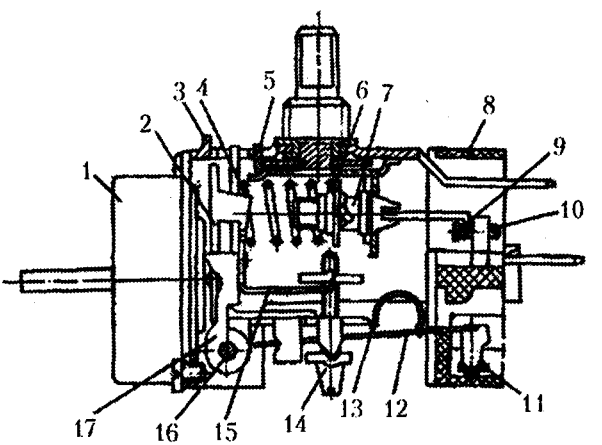


Рис. 14.11
Конструкция датчика-реле температуры типа ТАМ 133

1 — термочувствительная система; 2, 17 — рычаги, 3 — корпус, 4, 15 — пружины, 5 — ползун, 6 — гайка, 7, 10, 14 — винт настройки, 8 — колодка, 9 — дополнительные контакты, 11 — основные контакты, 12 — рычаг, 13 — пружина, 16 — ось, 17 — рычаг

в трубке увеличивается. Сильфон расширяется и сжимает основную пружину 4 двухплечным рычагом. Перекидная пружина 9 меняет положение и рычагом 11 замыкает электрический контакт.

При нажатии на кнопку оттаивания конец двухплечного рычага опускается вниз и перебрасывает пружину 2. Рычаг 11, поворачиваясь по часовой стрелке, опускает шток и размыкает подвижной контакт. После срабатывания механизма переключения контактов другое плечо рычага 6 упирается в винт 19.

В процессе оттаивания инея при достижении температуры 4±2 °С на испарителе давление в термочувствительной системе увеличивается и сильфон, преодолевая усилие пружины 22, с помощью винта 19 и пружины 9 перебрасывает двупхлечный рычаг в исходное положение, замыкая электрический контакт. Кнопка оттаивания занимает исходное положение.

Использование приборов косвенного регулирования холодопроизводительности с позиции требований к хранению продуктов имеет определенные преимущества перед электромеханическими приборами прямого регулирования. При большой амплитуде колебаний температуры кипения холодильного агента в испарителе амплитуда колебаний температуры по воздуху несравненно меньше. Например, при амплитуде колебаний температуры кипения холодильного агента в испарителе домашнего холодильника «Минск-2» в 25 °С амплитуда колебаний температуры воздуха на расстоянии 0,05 м от поверхности испарителя составляет менее 4 °С.

Реле температуры Т-110, ТАМ 133 используют в однокамерных бытовых компрессионных холодильниках.

В домашних холодильниках старого образца использовалось реле температуры АРТ-2. Диапазон настройки этого прибора по температуре размыкания контактов составляет –18,5...–7,5 °С. Дифференциал прибора, который определяет величину амплитуды колебания температуры, нерегулируемый и составляет в среднем 6–10 °С. Это значит, что компрессор холодильной машины при данной величине дифференциала включится при температуре на 6–10 °С выше температуры размыкания электрических контактов реле.

Реле температуры Т-110, ТАМ 133 по своему функциональному назначению практически не отличается от реле температуры АРТ-2, однако имеет меньшие габаритные размеры, что позволяет встраивать прибор в ограниченный объем торгового холодильного оборудования.

Современное холодильное оборудование комплектуется в основном не механическими, а электронными регуляторами температуры.

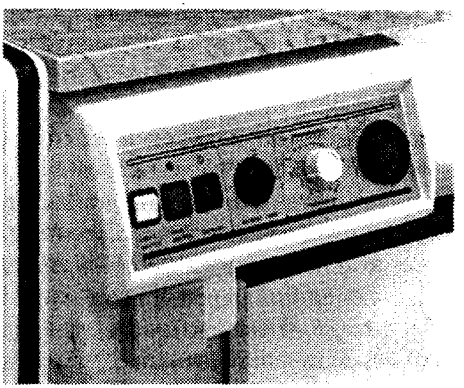


Рис. 14.12
Одна из разновидностей пульта управления холодильной витрины «Super Dallas» итальянской фирмы *Arneg*

На рис. 14.12 представлен пульт управления холодильной витрины «Super Dallas» итальянской фирмы *Arneg*.

На пульте установлены следующие элементы: выключатель света, выключатель холодильной машины, регулятор длительности оттаивания, термостат температурного режима в холодильной витрине, индикатор температуры воздуха в витрине.

Следует заметить, что вне зависимости от того, какая используется система регулирования температуры воздуха в холодильном оборудовании, в основу регулирования холодопроизводительности холодильной машины торгового холодильного оборудования положен принцип остановки и пуска компрессора. Это означает, что при ограниченном количестве технических средств автоматического регулирования в схеме холодильной машины неизбежно изменение температуры кипения холодильного агента в испарителе и соответственно воздуха в охлаждаемом объеме. Постоянство температуры кипения холодильного агента предполагает необходимость усложнения системы регулирования холодопроизводительности холодильной машины (см. схему холодильной машины на рис. 14.14).

Реле давления

Температура кипения холодильного агента определяется давлением кипения. Поэтому, регулируя давление кипения, можно регулировать температуру кипения, а вместе с ней и температуру воздуха в охлаждаемом объеме.

Приборы косвенного регулирования температуры воздуха по давлению кипения называются регуляторами давления или просто реле давления.

Дизайн и исполнение приборов зависит от завода-изготовителя и технических требований к их последующей работе. Например, манометрическое реле давления ДЕМ102 предназначено для автоматизации холодильных установок на судах, железнодорожном и автомобильном транспорте. ДЕМ108 предназначено для автоматизации холодильных систем транспортных кондиционеров. ДЕМ117 выполняет функцию защиты автомобильных кондиционеров от предельных низкого и высокого давлений. ДЕМ119 предназначено для регулирования холодопроизводительности компрессоров холодильных машин и других систем. Для этих же целей используют двухблочные датчики-реле давления типа Д2-11.

Простейший тип регулятора давления — одноблочное реле низкого давления РД-1-02 (рис. 14.13).

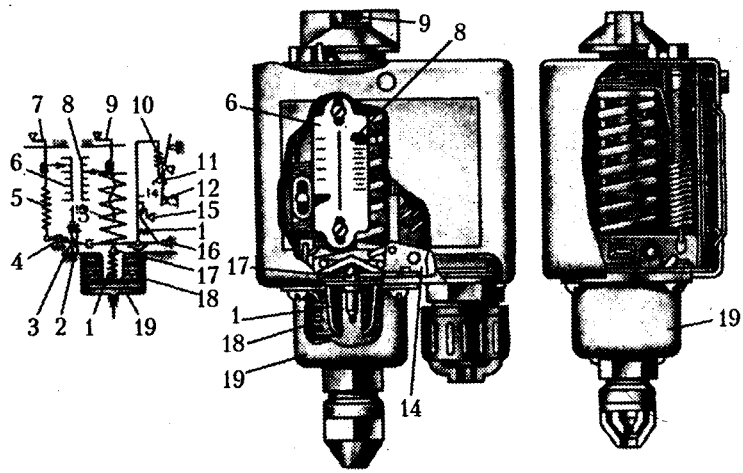


Рис. 14.13
Одноблочное реле низкого давления РД-1-02

1 — пружины, 2 — упор рычага дифференциала, 3 — рычаг дифференциала, 4, 16 — оси, 5 — пружина настройки дифференциала, 6 — шкала настройки дифференциала, 7 — регулятор дифференциала, 8 — шкала настройки регулятора выключения компрессора, 9 — винт настройки диапазона, 10 — пружина перекидная, 11 — вилка переключения, 12 — рамка подвижная контактная, 13 — пружина настройки диапазона, 14 — рычаг угловой, 15 — винт, 17 — шток, 18 — сильфон, 19 — кожух сильфона

Особенность регуляторов давления состоит в том, что они располагаются непосредственно на компрессоре и подсоединяются к всасывающей линии холодильной машины.

При повышении давления кипения сильфон 18 (рис. 14.13) сжимается, шток 17 перемещается вверх и угловой рычаг 14 поворачивается вокруг оси по часовой стрелке.

При работе механизма реле преодолевается сопротивление пружины настройки диапазона. Свободный конец горизонтальной части углового рычага, дойдя до выступа в окне рычага, подключает пружину настройки дифференциала. При дальнейшем увеличении контролируемого давления хладагента угловой рычаг преодолевает усилие пружины настройки диапазона и с помощью перекидной пружины поворачивает переключающую контакты вилку. В момент, когда ось пружины пересекает ось вилки, контактная рамка резко перебрасывается и замыкает контакт. Верхний конец пружины шарнирно соединен с вертикальной частью углового рычага, а нижний — с ушком переключающей вилки, которая усилием этой пружины удерживается на ножевых опорах подвижной контактной рамки.

При уменьшении контролирующего давления хладагента сильфон растягивается и перемещает шток вниз. При этом под действием пружин 5 и 13 угловой рычаг поворачивается вокруг оси против часовой стрелки, а рычаг 3 — вокруг оси по часовой стрелке. Когда рычаг 3 дойдет до упора, действие пружины 5 на угловой рычаг прекратится, и в дальнейшем рычаг будет перемещаться под действием пружины 13. В момент, когда оси пружины 10 и переключающей вилки совпадут, контакт резко разомкнется.

Степень сжатия пружины 13 определяет давление размыкания контакта, а степень растяжения пружины 5 — величину дифференциала. Пружина 13 снабжена гайкой и винтом настройки, который является задатчиком давления срабатывания. Указатель, закрепленный на гайке задатчика, показывает на шкале давление размыкания. С помощью винта 7 осуществляют настройку дифференциала, величина которого отсчитывается указателем по шкале 6.

В реальных условиях эксплуатации холодильной машины комплект средств автоматизации дополняют рядом приборов автоматики, поддерживающих постоянное давление в испарителе и конденсаторе, создающих условия для нормальной работы компрессора.

Приборы автоматики позволяют посредством одного компрессора обслуживать одну, две или более единиц торгового холодильного оборудования с разными температурами воздуха в них. Схема автоматиза-

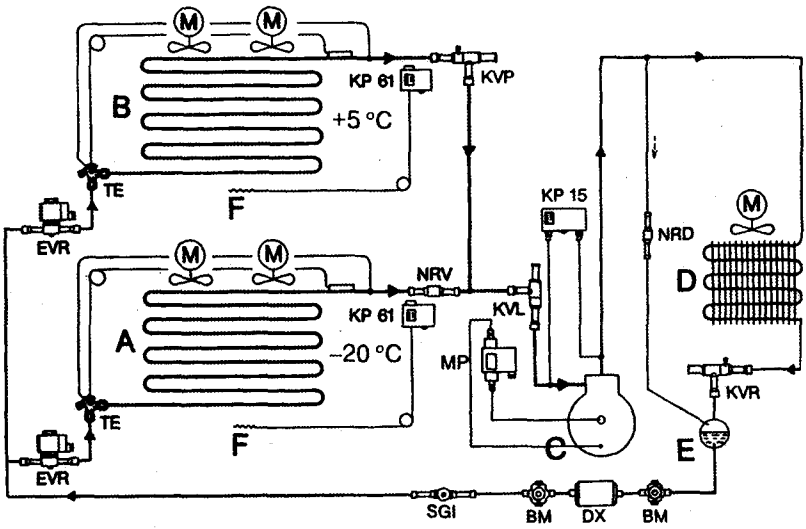


Рис. 14.14

Схема автоматизации холодильной установки, работающей на две камеры с разными температурами воздуха в торговом холодильном оборудовании (+5 и –20 °С)

K — компрессор, A, B — воздухоохладители, C — компрессор, D — конденсатор, TE — терморегулирующий вентиль, E — ресивер, DX — фильтр-осушитель, BM — вентили, SGI — указатель потока жидкости, EVR — соленоидный вентиль, KP 61 — реле температуры, KP 15 — реле давления, MP — реле контроля смазки, KVP — регулятор постоянного давления в воздухоохладителе, KVR — регулятор постоянного давления конденсации, NRD — вентиль постоянного давления, KVL — регулятор давления картера компрессора, NRV — регулятор направления потока (обратный клапан), M — электродвигатель вентилятора

ции холодильной машины с комплектом приборов автоматики представлена на рис. 14.14.

Внешний вид приборов автоматики фирмы *Danfoss* и место установки их в схеме холодильной машины отражены в приложении в табл. 14.1.

14.3. Схема автоматизации холодильной установки, работающей на две температуры воздуха, с комплектом средств автоматизации

Кроме приборов, обеспечивающих регулирование температуры воздуха в охлаждаемом объеме, холодильная машина комплектуется приборами автоматики, которые обеспечивают надежность работы холо-

дильной машины и точность поддержания постоянной температуры воздуха в охлаждаемом объеме.

При необходимости средства автоматики позволяют эксплуатировать холодильную машину с конденсатором, вынесенным наружу, за пределы здания.

Комментарий к схеме автоматизации

В практике эксплуатации холодильного оборудования с одним компрессором, обслуживающим две холодильные камеры с разными температурами воздуха, возникает необходимость в ограничении понижения температуры кипения в воздухоохладителе (B), работающем на «высокотемпературную» камеру (температура +5 °C).

В камере с высокой положительной температурой недопустимо понижение температуры воздуха ниже технологически заданной. Кроме того, при понижении температуры поверхности воздухоохладителя увеличивается усушка продукта, что также недопустимо. Поэтому в схеме холодильной машины предусматривается установка вентиля постоянного давления (KVP), который поддерживает постоянное давление в воздухохладителе. Регулятор давления картера компрессора (KVL) защищает электродвигатель компрессора от перегрузки при пуске холодильной машины или при резком росте теплопритоков в холодильных камерах.

Чтобы холодильный агент из воздухоохладителя (B), в котором давление холодильного агента выше давления холодильного агента в воздухоохладителе (A), не перетекал в воздухоохладитель (B), на выходе из воздухоохладителя (A) в компрессор устанавливается обратный клапан (NRV).

Холодильный агент из ресивера (E) поступает в испаритель через фильтр-осушитель (DX).

Расход холодильного агента, проходящего через испаритель или воздухоохладитель, регулируется при помощи терморегулирующего вентиля (TE). При остановке компрессора подача холодильного агента в испаритель и воздухоохладитель перекрывается соленоидным клапаном (EVR). Это же происходит и при удалении инея с поверхности испарителя и воздухоохладителя.

Заданное давление конденсации в конденсаторе в зимний период обеспечивается установкой (KVR) на выходе из конденсатора. Обратный клапан (NRD) предотвращает залив «холодного» конденсатора жидким хладоном из «теплого» ресивера.

Контроль смазки коленчатого вала компрессора осуществляется при помощи реле контроля смазки (MP).

Температура воздуха в холодильном оборудовании поддерживается прибором прямого регулирования — реле температуры (KP 61) или прибором косвенного регулирования — реле давления (KP 15). При установке одновременно двух приборов реле давления выполняет функцию защиты по давлению конденсации (линия высокого давления) и функцию контроля (линия всасывания).

Холодильный агент может дросселироваться при помощи механического терморегулирующего вентиля (TPB) или посредством анало-

гичных электромеханических приборов с электронной системой регулирования расхода холодильного агента (рис. 14.15).

Идея, заложенная в конструкцию электронного вентиля, состоит в регулировании расхода холодильного агента, проходящего через вентиль в соответствии с изменяемыми параметрами охлаждаемой среды и с учетом заданных параметров перегрева. Прибор работает в комплекте

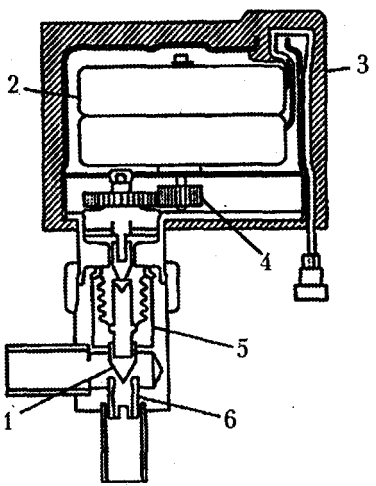


Рис. 14.15
Электронный вентиль с реверсивным электродвигателем
1 — клапан, 2 —электродвигатель, 3 — корпус,
4 — зубчатая передача, 5 — сильфон, 6 — седло клапана

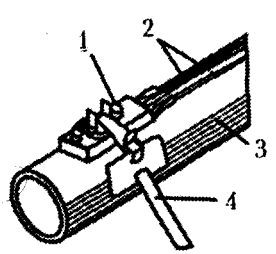


Рис. 14.16
Размещение температурного датчика
1 — температурный датчик, 2 — электрические провода,
3 — трубопровод, 4 — хомут

с микропроцессором, в который заложена необходимая программа исполнения команд. Перегрев паров на выходе из испарителя задается по разности температур на входе и выходе паров из испарителя или воздухоохладителя.

Температурные датчики (рис. 14.16) устанавливаются на трубопроводах при выходе паров из испарителя и на входе жидкого холодильного агента в него. Программа процессора учитывает температуру охлаждаемой среды.

Недостатком электронного вентиля с электромеханическим движением клапана является использование электродвигателя и зубчатой передачи, которая должна точно обеспечивать минимальные линейные перемещения клапана 1 (рис. 14.15).

Более изящно задача регулирования расхода холодильного агента решается в конструкции вентиля (рис. 14.17).

В вентиле реализована связь между перегревом паров, параметрами охлаждаемой среды и частотой вибрации сердечника с клапаном, пропускающим холодильный агент в испаритель или воздухоохладитель. Регуляторы температуры связаны с температурными датчиками (термисторами), установленными на поверхности испарителя (рис. 14.16).

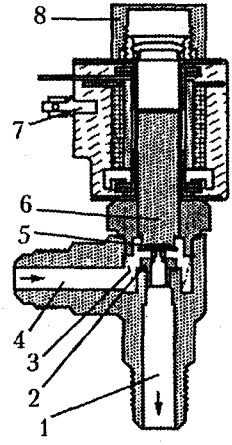


Рис. 14.17
Электромагнитный вентиль

1 — выходной патрубок, 2 — седло, 3 — фильтр, 4 — входной патрубок, 5 — уплотнительный клапан, 6 — сердечник клапана, 7 — катушка, 8 — крышка

Использование электронных регуляторов предполагает установку в холодильной машине логического управляющего блока.

Сложность технических конструкций регуляторов и электронных логических устройств в настоящее время ограничивает их применение в практике эксплуатации холодильных машин и установок.

14.4. Приборы автоматики, обеспечивающие работу холодильных машин вне контура здания

В холодильных машинах с вынесенным за пределы контура здания конденсатором возникает проблема обеспечения работоспособности холодильной машины. При низкой температуре наружного воздуха, ниже температуры воздуха в охлаждаемом объеме торгового холодильного оборудования, холодильная машина неработоспособна. При этих условиях понижается давление холодильного агента в конденсаторе и через ТРВ в испаритель подается недостаточное количество холодильного агента, необходимого для нормальной работы холодильной машины.

Среди различных способов, используемых для регулирования давления конденсации при низкой температуре наружного воздуха, ниже температуры кипения холодильного агента в испарителе, применяют способ, основанный на регулировании давления холодильного агента на выходе из конденсатора.

В основу этого способа положено уменьшение поверхности теплообмена конденсатора за счет подъема в нем уровня жидкости при уменьшении давления конденсации (когда понижается температура наружного воздуха или уменьшается тепловая нагрузка на испаритель или воздухоохладитель).

Уменьшение теплообменной поверхности конденсатора приводит к уменьшению холодопроизводительности конденсатора и повышению давления конденсации.

Для этой цели могут быть использованы либо трехходовой регулятор, например SPORLAN OROA или ALCO HEADMASTER серии HP, либо комбинация из регулируемого двухходового регулятора и дифференциального клапана, например DANFOSS KVR и NRD или SPORLAN ORI и ORD.

На рис. 14.19, 14.21, 14.22 представлено устройство приборов автоматики SPORLAN (OROA, ORI, ORD).

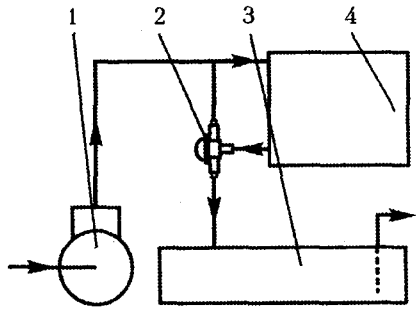


Рис. 14.18
Схема контроля давления при помощи регулятора OROA
1 — компрессор, 2 — регулятор OROA, 3 — ресивер, 4 — конденсатор

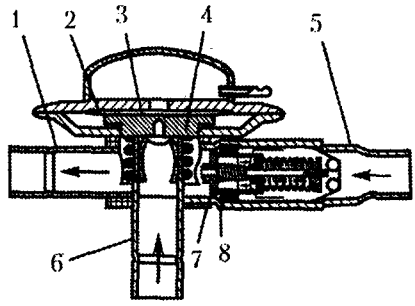


Рис. 14.19
Регулятор давления OROA
1 — выход на ресивер, 5, 6 — патрубки от компрессора, от конденсатора соответственно, 2 — мембрана, 3, 7 — клапаны, 4, 8 — седла клапанов

На рис. 14.20 представлена схема подключения к конденсатору приборов ORI и ORD.

Регулятор ORI (рис. 14.21) использует регулирование давления на входе «до себя». Регулятор ORD (рис. 14.22) представляет дифференциальный клапан, который реагирует на разность давлений. Его используют совместно с регулятором ORI.

Регулятор OROA имеет постоянные заводские настройки. Когда давление конденсации понижается до давления настройки, задерживается

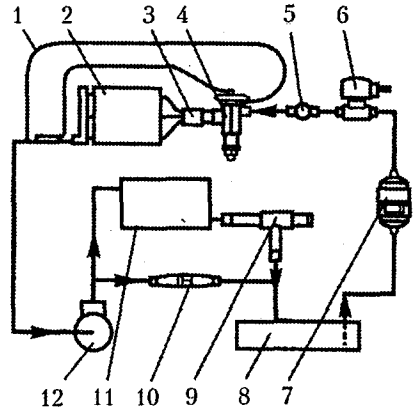


Рис. 14.20
Схема контроля давления при помощи регуляторов ORI и ORD

1 — уравнительная линия, 2 — испаритель, 3 — распределитель жидкости, 4 — ТРВ, 5 — смотровое стекло, 6 — соленоидный вентиль, 7 — фильтр-осушитель, 8 — ресивер, 9 — регулятор ORI, 10 — регулятор ORD, 11 — конденсатор, 12 — компрессор

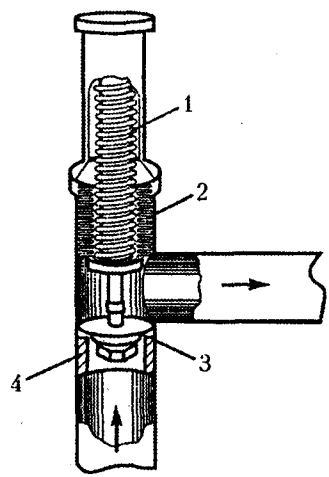


Рис. 14.21
Регулятор давления ORI

1 — пружина настройки, 2 — сильфон, 3 — клапан, 4 — седло клапана

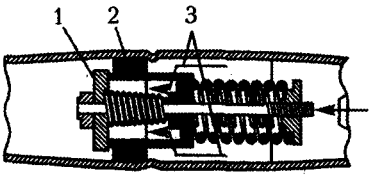


Рис. 14.22
Регулятор давления ORD
1 — клапан, 2 — седло клапана, 3 — направление движения хладагента

поток жидкого холодильного агента в конденсаторе. При этом поток горячих паров, идущих в ресивер, сохраняется.

Контролируемым давлением является давление в ресивере. Патрубки 1, 6 регулятора OROA (рис. 14.19) расположены на жидкостной линии между конденсатором и ресивером, патрубок 5 — на линии отбора горячих паров.

14.5. Современные тенденции развития средств автоматизации холодильных машин торгового холодильного оборудования

В процессе развития средств автоматизации холодильной техники все большее применение получают микропроцессорные управляющие устройства и системы. Их основные преимущества: многофункциональность (решение с помощью одного устройства нескольких задач); наличие памяти и возможность программирования работы на определенный отрезок времени; быстрая визуализация технологических параметров и удобное (в том числе и дистанционное) управление ими с пульта; аварийная сигнализация при отклонении от нормального режима работы; самодиагностика неисправностей и хорошие эргономические и массогабаритные показатели. Кроме того, микропроцессор «бережет» холодильную машину, ограничивая диапазон задаваемых эксплуатационных параметров, за пределы которого пользователь не может выйти без знания специального пароля, установленного на заводе-изготовителе, а также позволяет подключить дополнительные внешние устройства — звуковую или световую сигнализацию, центральный компьютер, датчик влажности воздуха и т. п.

Массовое производство элементной базы микропроцессоров резко удешевило их и сделало доступными для массового потребителя. Од-

нако фирмы, производящие средства автоматизации, часто разрабатывают для него «свой», а не типовой микропроцессор. Это обстоятельство существенно сужает спектр взаимозаменяемости средств автоматики.

14.5.1. Типичные функции микропроцессора, управляющего работой холодильной моноблочной машины для небольших холодильных камер

Программируемые параметры делятся на две группы: *задаваемые пользователем* (торговым предприятием) и *задаваемые заводом* (пусконаладочной организацией).

К *первой группе* относятся: температура в камере и ее дифференциал; время между циклами оттаивания, его продолжительность и температура окончания; задержка включения вентиляторов воздухоохладителя после оттаивания; величина недопустимых отклонений температуры в камере от заданного значения; промежуток времени перед сигналом тревоги о недопустимой продолжительности (затягивании) оттаивания или незакрытых дверях и некоторые др.

Ко *второй группе* относятся такие параметры, как диапазон задания температуры в камере (низко, средне- или высокотемпературный режим); задержка включения компрессора после перезапуска; блокировка показаний дисплея во время оттаивания; изменение пароля и другие параметры, которые должен изменять только специально обученный персонал.

Панель управления такой машиной обычно снабжена жидкокристаллическим дисплеем и несколькими кнопками, нажатие которых в различных сочетаниях позволяет как производить программирование, так и осуществлять обычные операции (включение света в камере, принудительный запуск режима оттаивания, выключение машины и т. п.).

Простейшим прибором подобного типа, выполняющим лишь часть отмеченных функций, является цифровой прибор на микропроцессорах EWPC 974, предназначенный для контроля параметров работы отдельных элементов холодильной установки (рис. 14.23).

Он находит применение в средне- и низкотемпературных холодильных установках. Его особенностью является объединение в себе трех блоков, предназначенных для регулирования устройств холодильной установки: компрессора, вентиляторов воздухоохладителя и системы удаления инея с поверхности воздухоохладителя.

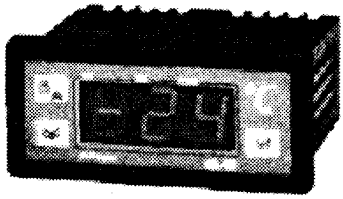


Рис. 14.23
Контрольный прибор для холодильных установок EWPC 974

Характеристика прибора EWPC 974:

- размеры — 74 × 32 мм, глубина 67 мм;
- команды — все на фронтальной панели;
- разрешение — ±1 °С.

Наряду с гибким управлением большое значение имеет автоматическая защита холодильного оборудования. В настоящее время помимо традиционных автоматических выключателей (защита от короткого замыкания), тепловых реле (защита от перегрузки), реле давления и контроля смазки применяются несколько новых решений. К ним относятся: реле защиты от обрыва или перекоса фаз, задержка включения компрессора на несколько минут после каждого его принудительного выключения, мониторинг напряжения питания (т. е. постоянное его отслеживание).

Тенденцией является использование многофункциональной системы защиты. Например, устройство INT 389 для защиты электродвигателей бессальниковых компрессоров, используемое известными фирмами *Bitzer*, *Dorin* и др., выполняет следующие функции: контроль пропадания фаз, контроль температуры обмоток статора электродвигателя, задержка включения компрессора (5 мин), контроль температуры нагнетания пара.

Монитор напряжения, устанавливаемый в холодильные блочные машины фирмы *Zanotti* с герметичными компрессорами, позволяет выставить допустимое отклонение напряжения питания в пределах 12–20% и постоянно его контролировать. Кроме того, он подает питание на микропроцессор, который наряду с функциями управления параметрами имеет функцию включения аварийной сигнализации при остановке компрессора более 10 раз в час. Хотя подобные устройства и имеют довольно высокую стоимость, они все шире применяются при использовании дорогостоящей и сложной техники.

Контрольные вопросы:

1. В чем суть режима самоустановления параметров холодильной машины?
2. Какие параметры подлежат регулированию в холодильной машине?
3. Каково соотношение холодопроизводительностей компрессора и испарителя?
4. Чем отличается принцип регулирования температуры посредством приборов прямого и косвенного регулирования?
5. Каким образом можно обеспечить работу холодильной машины при температуре конденсации ниже температуры воздуха в охлаждаемом объеме?
6. Какие способы регулирования холодопроизводительности холодильной машины используют в торговом холодильном оборудовании?
7. В чем состоят современные тенденции развития средств автоматизации холодильных машин торгового холодильного оборудования?

Глава 15
ТОРГОВОЕ ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Холодильное оборудование предприятий торговли и общественного питания обеспечивает краткосрочное хранение сравнительно небольших запасов продуктов, необходимых для бесперебойной работы предприятия, а также обеспечивает их демонстрацию и реализацию в торговом зале.

Запас охлажденных и мороженых продуктов, полуфабрикатов и готовых блюд (на 2–3 сут. работы) хранят в небольших холодильных камерах или холодильных шкафах.

Число камер и их вместимость в основном зависят от типа предприятия и его товарооборота. Обычно таких камер несколько (2–5), и они разного товарного назначения (для хранения мяса, птицы, рыбы, полуфабрикатов, овощей, фруктов, гастрономических продуктов). Камеры располагают в виде блока складских помещений вблизи загрузочного помещения или технологических цехов предприятия общественного питания.

Дневной запас продуктов хранится в специальных охлаждаемых емкостях торгового холодильного оборудования. Часть продуктов выкладывается в витринах для демонстрации и продажи.

15.1. Классификация торгового холодильного оборудования

Классификация торгового холодильного оборудования базируется на требованиях ГОСТ 23833-95 «Оборудование холодильное торговое. Общие технические условия».

Внимание! Обозначения и цифровые индексы разделов, представленные ниже, строго соответствуют обозначениям, принятым в ГОСТ 23833-95, и не подлежат изменению.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ

3.1. Оборудование классифицируется по следующим параметрам и конструктивным признакам:

а) по температуре полезного объема:

H(L) — низкотемпературное (не выше –18 °С), предназначенное для хранения, демонстрации и продажи замороженных пищевых продуктов;

C(M) — среднетемпературное (от 0 до 7 °С), предназначенное для хранения, демонстрации и продажи охлажденных пищевых продуктов;

$C_н$ — среднетемпературное (в диапазоне от –6 до 6 °С), предназначенное для хранения, демонстрации и продажи предварительно подмороженных и охлажденных особо скоропортящихся пищевых продуктов;

B(H) — высокотемпературное (от 1 до 10 °С), предназначенное для хранения, демонстрации и продажи напитков и пищевых продуктов;

$K_б$ — комбинированное из оборудования указанных исполнений.

Примечание: По согласованию с потребителем можно выпускать оборудование с другими температурами полезного объема;

б) по конструктивному исполнению:

З — закрытое, в котором доступ в полезный объем осуществляется через проемы дверей или створки (крышки);

О — открытое, в котором доступ в полезный объем или его часть осуществляется через открытый проем;

в) по назначению:

У — оборудование, предназначенное для хранения, демонстрации и продажи охлажденных (неупакованных) пищевых продуктов;

$У_б$ — то же, неупакованных пищевых продуктов;

Д — демонстрационное, для кратковременного хранения и демонстрации и продажи охлажденных (замороженных) пищевых продуктов;

Р — оборудование с доохлаждающей (домораживающей) способностью (оборудование, предназначенное для хранения, демонстрации и продажи пищевых продуктов, в которое можно помещать продукты без предварительного охлаждения (замораживания).

г) по размещению пищевых продуктов:

П — полочное (одно- и многоярусное), в котором пищевые продукты размещаются на полках и дне полезного объема, продукты могут также подвешиваться на крюках;

К — контейнерное, в котором пищевые продукты размещаются в контейнерах;

д) по расположению холодильного агрегата:

1 — со встроенным холодильным агрегатом, в котором последний размещен снаружи или внутри оборудования;

2 — с вынесенным холодильным агрегатом, в котором последний размещен вне оборудования.

Схема условного обозначения торгового холодильного оборудования (рекомендуемое)

XX	X	X	X	X	X	XX	XX	XX
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1 — вид оборудования (К — камера, Ш — шкаф, В — витрина, П — прилавок, С — стойка и их сочетания КВ, СВ и т. п.);

2 — температурное исполнение оборудования по 3.1;

3 — назначение оборудования 3.3 (только для упакованных продуктов — У);

4 — размещение пищевых продуктов 3.4 (только для контейнерного — К);

5 — наличие резервной мощности для доохлаждения или домораживания — *Р*;

6 — холодильный агрегат вынесен вне оборудования — 2;

7 — полезный объем, $м^3$;

8 — демонстрационная площадь полок*, $м^2$;

9 — обозначение документа.

* *Для демонстрационного оборудования.*

Пример условного обозначения камеры-витрины среднетемпературной с диапазоном температур от –6 до +6 °С, для упакованных продуктов с контейнерной загрузкой, с резервом для доохлаждения, со встроенной холодильной машиной камеры и вынесенным холодильным агрегатом витрины, с полезным объемом камеры 8,0 $м^3$ и витрины 3,0 $м^3$, с демонстрационной площадью витрины 2,0 $м^2$:

$КВС_нУКР$-2-8,0-3,0-2,0 Ту.

То же одной камеры:

$КС_нУКР$-8,0 ТУ.

То же полочной камеры:

$ХС_нУР$-8,0 ТУ.

То же для продуктов без упаковки:

$КС_нР$-8,0 ТУ.

4.1. Основными параметрами оборудования являются:

- полезный объем, $м^3$ ($дм^3$);
- внутренний объем, $м^3$ ($дм^3$);
- охлаждаемая площадь полок (для демонстрационного оборудования является главным параметром), $м^2$;
- температура полезного объема, °С;
- потребление электроэнергии за сутки (при средних значениях температуры окружающего воздуха и полезного объема), кВтч;

- габаритные размеры (длина, глубина, высота), мм;
- размеры проема витрины в плоскости линии загрузки (для оборудования, имеющее витрину), м².

Примечания:

1. Полезный объем оборудования — объем, ограниченный линиями загрузки (границами загрузки) и предназначенный для размещения в нем пищевых продуктов при температурах, указанных ранее.

2. Внутренний объем оборудования:

- *для закрытого оборудования — объем, ограниченный внутренними поверхностями теплоизолированной конструкции, дверей створок и т. д.;*
- *для открытого оборудования — объем, ограниченный внутренними поверхностями теплоизолированной конструкции и плоскостью открытого проема.*

4.3 Номинальными установочными (монтажными) параметрами оборудования являются:

- род тока;
- напряжение, В;
- частота, Гц;
- установленная суммарная мощность всех энергопотребителей, кВт;
- расход воды (для оборудования с водяным охлаждением конденсатора), м³/с.

В технологической практике классификацию торгового холодильного оборудования, принятую по ГОСТ 23833-95, дополняют областью применения этого оборудования. Его подразделяют на холодильное оборудование, используемое в общественном питании и в торговле. Это деление условно. Некоторые типы холодильного оборудования, например холодильные шкафы, равным образом могут использоваться в общественном питании и в торговле.

Холодильное оборудование, используемое в общественном питании, связывают со структурными подразделениями предприятия, в котором это оборудование может быть использовано.

Холодильное оборудование ресторанов включает в себя:

- барное холодильное оборудование (сокоохладители, граниторы, льдогенераторы, фризеры мягкого мороженого);
- сервировочное холодильное оборудование (охлаждаемые витрины, включая передвижные охлаждаемые витрины, охлаждаемые буфеты, рыбные прилавки и т. д.);
- холодильное оборудование шкафного типа для хранения вин и кондитерских изделий;

- кухонное холодильное оборудование — столы с охлаждаемыми и морозильными шкафами, шкафы морозильные, шкафы интенсивной (шоковой) заморозки.

Холодильное оборудование продовольственных магазинов включает:

- холодильные прилавки со встроенными и выносными холодильными агрегатами;
- горки со встроенными и выносными холодильными агрегатами;
- бонеты со встроенными и выносными холодильными агрегатами;
- холодильные шкафы среднетемпературные, морозильные, кондитерские;
- лари морозильные;
- камеры холодильные.

Наряду с представленной выше классификацией используется упрощенная и более употребительная на практике классификация. Холодильное оборудование общественного питания и торговли рассматривают как холодильное оборудование общего назначения и технологическое холодильное оборудование. В этом случае технологический процесс рассматривают не как процесс приготовления пищи, а как составную часть процесса производства и реализации пищи. При этих условиях, например, витрины холодильные настольные для буфетов могут рассматриваться как элементы процесса демонстрации и продажи товара.

В соответствии с этой классификацией настольные витрины можно отнести к технологическому холодильному оборудованию.

15.2. Холодильное оборудование предприятий общественного питания

15.2.1. Сервировочное оборудование для ресторанов

Шведские столы

Шведские столы являются одной из современных форм обслуживания посетителей ресторанов. Конструкции шведских столов выполняют передвижными, что позволяет комплектовать столы в линию или расставлять их отдельно в соответствии со спецификой обслуживания и требованиями дизайна. Выложенные продукты охлаждаются. Охлаждение продукта, как правило, достигается его контактом с плоскостью стола, являющейся поверхностью испарителя (рис. 15.1).

Охлаждение продуктов дополняется конвективным движением воздуха.

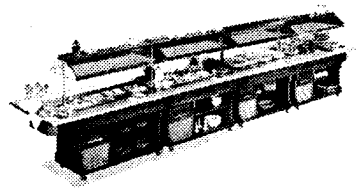


Рис. 15.1
Система шведских охлаждаемых столов (Италия)

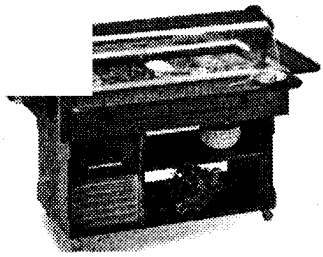


Рис. 15.2
Шведский стол «Isola» (Италия)

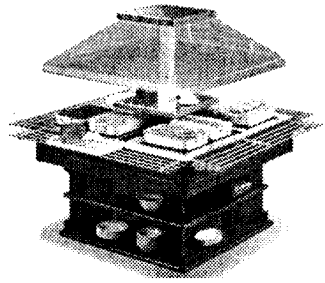


Рис. 15.3
Шведский стол «Oasi» (Италия)

Рис. 15.4
Рыбный прилавок «Fish» со встроенным льдогенератором (Италия)

Шведские столы могут иметь стеклянный колпак, который закрывает продукты для предотвращения их высыхания (рис. 15.2).

Колпак может быть телескопическим, а подход к продукту обеспечен со всех сторон (рис. 15.3).

Температура воздуха на уровне продукта во всех столах составляет +4...+10 °С.

Для демонстрации морских продуктов выпускается рыбные прилавки типа прилавка «Fish». Прилавок комплектуется встроенным льдогенератором (рис. 15.4).

Охлаждаемые витрины

Линия самообслуживания включает группу холодильных витрин. Например, линия «Orizont», представленная на рис. 15.5, укомплектована тремя холодильными витринами, рассчитанными на температуру +4...+10 °С.

Эта же линия может быть укомплектована низкотемпературными витринами (–18...+5 °С). Витрины комплектуются откидными или раздвижными дверцами.

В комплект витрин может входить неохлаждаемая (нейтральная) витрина и витрина с подогревом продукта с температурой воздуха +35...+70 °С.

Передвижные охлаждаемые витрины

Витрины (рис. 15.6, 15.7) имеют колпаки для защиты продуктов от высыхания. Температура воздуха в витринах +4...+10 °С.

Для рыбы и морепродуктов может быть использована передвижная холодильная витрина «Laguna» (рис. 15.7).

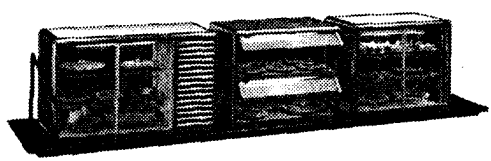


Рис. 15.5
Охлаждаемые витрины

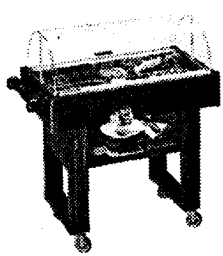


Рис. 15.6
Передвижная охлаждаемая витрина «Carrellino 10» (Италия)

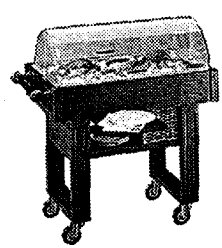


Рис. 15.7
Передвижная охлаждаемая витрина «Laguna» (Италия)

Хранение продукта в витрине осуществляется во льду. Дополнительным источником холода является холодильная машина, установленная в нижней части витрины.

Температура воздуха в витрине –1...0 °С.

Охлаждаемые буфеты

Буфеты преимущественно предназначены для хранения и демонстрации кондитерских, гастрономических изделий и вина (рис. 15.8, 15.9).

Конструктивное отличие буфетов кроме дизайна и габаритных размеров состоит в наборе емкостей для размещения посуды, столовых приборов и т. д.

Температура холодильного хранения продуктов в буфетах составляет +4...+10 °С.

Шкафы винные, кондитерские

Винные шкафы являются прекрасным функциональным украшением любого ресторана, бара, супермаркета (рис. 15.10, 15.11).

Они могут быть разного объема, цветовой гаммы и фактурного исполнения. Количество бутылок в шкафу зависит от габаритных размеров шкафа и способа размещения бутылок.

Элитные модели шкафов выполняются из натурального дерева различных оттенков.

В частности, модель «Enotec 340» (рис. 15.10) выполнена из металла. Вертикальное расположение бутылок на 3 полках.

Движение воздуха в холодильном шкафу — конвективное. Это обеспечивает свой температурный режим на каждой полке (для разных вин — разная температура).

Трехстороннее остекление выигрышно демонстрирует ассортимент вин. Шкафы оснащаются приборами автоматического удаления инея с поверхности испарителя.

Расположение бутылок в холодильном шкафу может быть наклонным (рис. 15.11). Это размещение более удобно для покупателя, поскольку обеспечивает лучший обзор вин.

Движение воздуха в холодильных шкафах может быть конвективным и принудительным. Шкафы обеспечиваются системой автоматического удаления инея с поверхности испарителя.

Кондитерские шкафы предназначены для демонстрации кондитерских изделий (рис. 15.12).

Для этих целей шкафы обеспечиваются широким остеклением и подсветкой товара. Благодаря оригинальному дизайну, остеклению и внут-

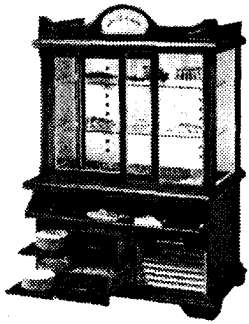


Рис. 15.8
Холодильный буфет
«Buffet» (Италия)

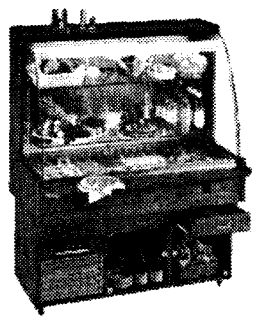


Рис. 15.9
Холодильный буфет
«Monterrey» (Италия)

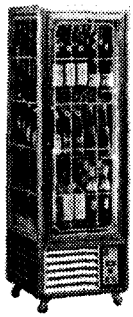


Рис. 15.10
Холодильный шкаф
«Enotec 340» (Италия)

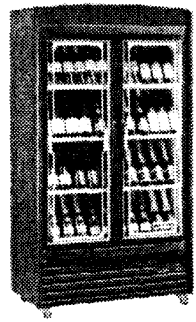


Рис. 15.11
Холодильный шкаф
«Bodega 800» (Италия)

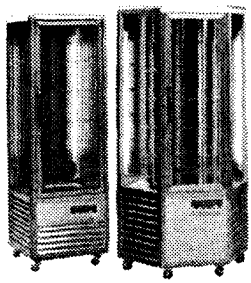


Рис. 15.12
Холодильный шкаф
«Snele 350R/600R» (Италия)

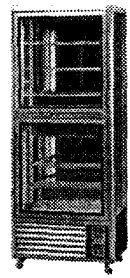


Рис. 15.13
Холодильный шкаф
«Kubo 530GBT-G» (Италия)

ренней подсветке модели кондитерских холодильных шкафов не только подходят для демонстрации кондитерских изделий, но и удобны для выбора товара покупателями.

Ряд моделей имеет вращающиеся полки, которые обеспечивают хороший обзор выставленного товара, привлекая внимание покупателей к выставленным товарам.

Температура воздуха в кондитерских холодильных шкафах поддерживается на уровне +5...+10 °С. В низкотемпературных холодильных шкафах температура поддерживается на уровне –18...–5 °С.

Комбинированные кондитерские шкафы имеют высокотемпературное отделение (температура +2...+10 °С) и низкотемпературное (температура –18...–5 °С) (рис. 15.13).

15.2.2. Оборудование для кафе, бистро, предприятий фаст-фуд

Охлаждаемые настольные витрины предназначены для хранения и демонстрации пирожных, сэндвичей, салатов и любых других закусок, требующих охлаждения. Витрины оснащаются гастроемкостями, подсветкой. Температура воздуха поддерживается термостатом в диапазоне +4...+8 °С (рис. 15.14).

Витрины легко размещаются на прилавке или барной стойке.

Охлаждение продукта обеспечивается контактом гастроемкости с поверхностью испарителя. Холодопроизводительность холодильного агрегата составляет 250 Вт.

15.2.3. Барное оборудование

Сокоохладители

Сокоохладитель (рис. 15.15) состоит из трех охлаждаемых емкостей, расположенных сверху холодильной машины.

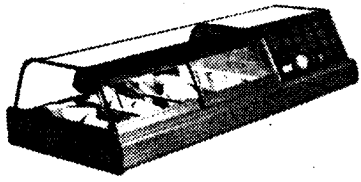


Рис. 15.14
Настольная холодильная витрина

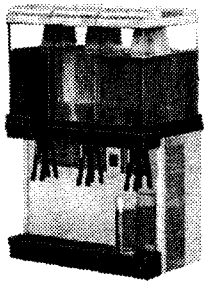


Рис. 15.15
Сокоохладитель «Luke 3 × 6»

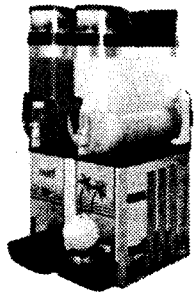


Рис. 15.16
Гранитор «Faby 2»

Температура сока регулируется термостатом холодильной машины в интервале температур +2...+8 °С.

Корпус сокоохладителя выполнен из нержавеющей стали с ударопрочными пластиковыми вставками. Для быстрой и удобной чистки сокоохладителя его емкости выполнены съемными. Объем каждой емкости сокоохладителя «Luke 3 × 6» составляет 6 л.

Вращающиеся лопатки для перемешивания сока препятствуют образованию пены.

Гранитор

В граниторах (рис. 15.16) напитки замораживаются до консистенции «мокрого снега». Полученный фруктовый десерт прекрасно утоляет жажду и подходит для приготовления коктейлей.

Гранитор может использоваться в качестве сокоохладителя. Предусмотрен режим хранения продукции в нерабочие часы.

Корпус аппарата выполняется из нержавеющей стали с ударопрочными пластиковыми вставками. Емкости гранитора являются съемными. Объем каждой емкости гранитора «Faby 2» составляет 10 л.

15.2.4. Холодильное кухонное оборудование

Столы с охлаждаемыми шкафами

Столы с охлаждающими объемами используются одновременно как рабочие поверхности и как холодильные или морозильные шкафы.

Конструкции шкафов весьма разнообразны. На рис. 15.17 представлен один из них.

Столы могут устанавливаться в единую линию с тепловым оборудованием, так как имеют достаточно эффективную теплоизоляцию для локализации теплопритоков.

Внешние поверхности столов изготавливают из нержавеющей стали, внутренние поверхности — из пластика или нержавеющей стали.

Доступ к холодильному агрегату не вызывает затруднений, что облегчает его обслуживание.

Температура воздуха в объеме шкафа с положительными температурами составляет +5...+8 °С. Столы с морозильными шкафами поддерживают температуру воздуха –25...–8 °С.

Шкафы холодильные, морозильные, комбинированные

Холодильные (рис. 15.18) и морозильные шкафы (в том числе для свежей рыбы и мяса) выпускают модульным объемом 400, 600, 650, 1400 л. Различные комбинации секций в шкафах одного объема позволяют выбрать оптимальный вариант шкафа.

В современных холодильных шкафах температура и относительная влажность, как правило, регулируются. Шкафы преимущественно выполняются из нержавеющей стали, ножки регулируются по высоте, дверцы закрываются на ключ.

Внутренние поверхности могут быть выполнены как из пищевого пластика, так и из нержавеющей стали.

Конструкция ящиков позволяет устанавливать как обычные полки, так и гастроемкости, а также полки для бутылок.

Все шкафы имеют автоматическое оттаивание.

В тропическом исполнении устойчивая рабочая температура сохраняется при температуре окружающей среды до 43 °С.

Шкафы с двумя температурными режимами обычно имеют два независимых холодильных агрегата.

Температура хранения охлажденных продуктов составляет +2... +10 °С. В низкотемпературных шкафах температура воздуха может поддерживаться в интервале –25...–8 °С. Комбинированные холодильные шкафы поддерживают в высокотемпературной секции температуру +2...+8 °С, в низкотемпературной секции шкафа — температуру –25...–8 °С.

15.2.5. Шкафы интенсивного замораживания продуктов

Эти шкафы часто называют шкафами «шоковой заморозки» (рис. 15.19). Как отмечалось ранее в разделе, посвященном анализу процесса замораживания продуктов, название «шоковая заморозка» не является корректным. Оно на бытовом уровне отражает лишь степень интенсивности процесса и не имеет никакого отношения к процессам, опи-

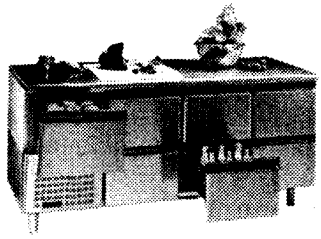


Рис. 15.17
Стол с охлаждаемыми шкафами

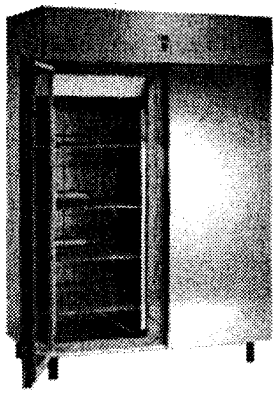


Рис. 15.18
Холодильный шкаф

Рис. 15.19
Холодильный шкаф «шоковой заморозки»

сывающим изменения в биологически активных системах при экстремальных воздействиях на них факторов внешней среды.

В общественном питании термин «шоковая заморозка» получил широкое применение. Однако с учетом понимания сути процесса замораживания холодильные шкафы следует рассматривать и обозначать как шкафы интенсивного замораживания.

Применение холодильных шкафов интенсивного замораживания обеспечивает наибольший эффект при организации сетей быстрого питания (*fast food*) и продовольственных магазинов с расширенным ассортиментом полуфабрикатов высокой степени готовности, в гостиничных комплексах больших ресторанах, столовых при больницах,

санаториях, а также на предприятиях, специализирующихся на проведении банкетов и выездном обслуживании.

В модельном ряду холодильных шкафов интенсивного замораживания они различаются размерами, производительностью, функциональными возможностями и конструктивными особенностями.

15.3. Холодильное оборудование продовольственных магазинов

15.3.1. Холодильные прилавки

Холодильные прилавки широкого профиля

Холодильные прилавки предназначены для продажи и хранения в течение рабочего времени охлажденных и замороженных продуктов в торговых залах продовольственных магазинов, буфетах и барах, а также для хранения рабочего запаса полуфабрикатов и других пищевых компонентов в цехах предприятий общественного питания.

Прилавки могут иметь каркасную или бескаркасную конструкцию, быть открытыми или закрытыми. В прилавках открытого типа открытый проем с продуктами изолируется с помощью воздушной завесы.

Воздушный поток препятствует проникновению окружающего теплого воздуха в охлаждаемую камеру, что существенно уменьшает теплоприток, связанный с инфильтрацией, в охлаждаемый объем теплого воздуха.

Движение воздуха в прилавках организовано. С этой целью в прилавках предусматривают всасывающий и нагнетательный каналы.

Температура холодильного хранения охлажденных продуктов обычно составляет +2...+4 °С, замороженных −18...−12 °С.

Открытые прилавки бывают двух видов: пристенные (доступ к продукту с одной стороны) и островные (доступ к продукту с обеих сторон). Их изготавливают как со встроенным холодильным агрегатом, так и с вынесенным. Первые предназначены для небольших магазинов, буфетов, а вторые — для крупных магазинов самообслуживания.

Прилавки компонуют из модульных секций, а из прилавков создают линию обслуживания требуемой длины.

Отечественные производители используют комплектующие ведущих зарубежных фирм (фирма *Kifato*, Россия, рис. 15.20, 15.21) или выпускают оборудование, создавая совместное производство холодильного оборудования, как, например, фирма *Arneg* (Россия). Это позволяет создавать качественную, конкурентоспособную на мировом рынке продукцию.

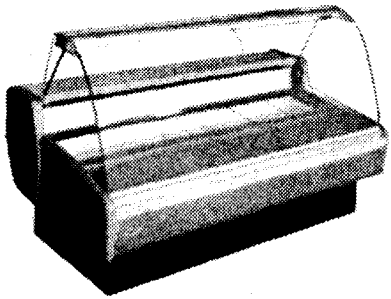


Рис. 15.20
Холодильный прилавок
«Аляска 1800» (Россия)

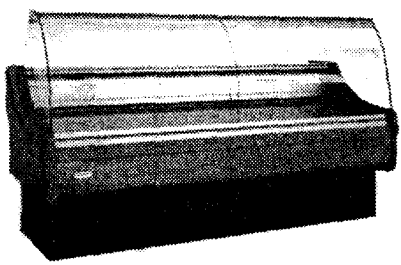


Рис. 15.21
Холодильный прилавок
«Милан 1500» (Россия)

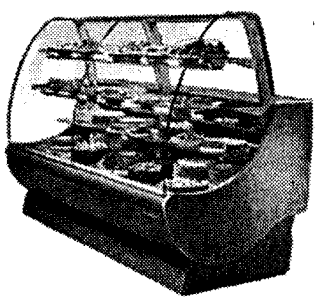


Рис. 15.22
Кондитерский прилавок
«Суздаль», *Arneg* (Россия)

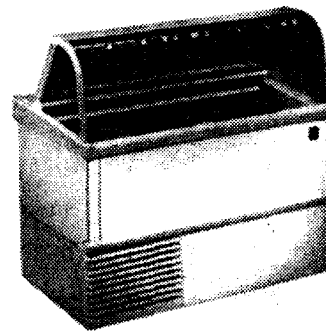


Рис. 15.23
Прилавок «X7 Extra» для продажи мороженого (Италия)

Холодильные прилавки для хранения кондитерских изделий

Холодильные прилавки для хранения кондитерских изделий отличаются увеличенной высотой, числом полок (рис. 15.22).

Температура хранения продукции +1...+10 °С. Нижний предел температуры соответствует размещению продукта на уровне испарителя.

Холодильные прилавки для развесного мороженого

Холодильные прилавки для развесного мороженого (рис. 15.23) выполнены в виде теплоизолированного объема с пятилитровыми гастроемкостями. Количество гастроемкостей зависит от геометрических размеров прилавка. В прилавках имеется морозильный отсек для хранения запаса мороженого. Все прилавки имеют систему автоматического оттаивания инея с поверхности испарителя.

Температура воздуха в прилавке составляет –18...–10 °С.

15.3.2. Горки холодильные со встроенными и выносными холодильными агрегатами

Горка (рис. 15.24) представляет собой холодильную витрину, предназначенную для демонстрации и продажи фасованных продуктов. Температура воздуха в холодильной горке составляет +1...+10 °С.

15.3.3. Бонеты со встроенными и выносными холодильными агрегатами

Бонеты (рис. 15.25) предназначены для демонстрации и продажи продуктов, в том числе и продуктов импульсивного спроса. Небольшие размеры позволяют устанавливать бонеты перед кассовой кабиной, где

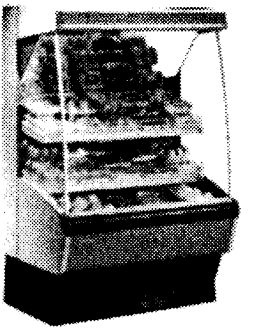


Рис. 15.24
Холодильная горка «Муром FV», *Arneg* (Россия)

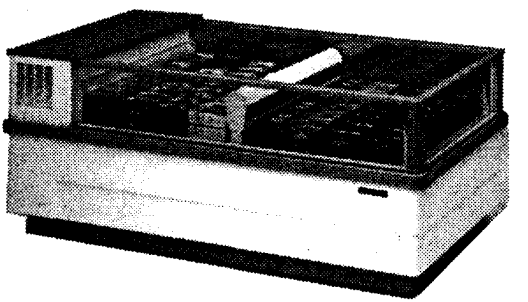


Рис. 15.25
Бонета для демонстрации и продажи замороженных продуктов

поток покупателей вынужденно замедляется и люди становятся более склонными к импульсивным покупкам.

Бонеты преимущественно используются для продажи замороженных продуктов (рис. 15.25). В этом случае температура воздуха в бонете составляет –25...–18 °С. В ряде случаев бонеты используют (если есть соответствующие технические условия) для хранения и продажи свежих продуктов при температуре воздуха +1...+5 °С.

15.3.4. Лари морозильные

Лари морозильные предназначены для хранения и продажи замороженных продуктов.

Лари изготавливаются с глухой, непрозрачной крышкой, с прозрачными прямыми крышками и крышками из гнутого стекла. Наклонная,

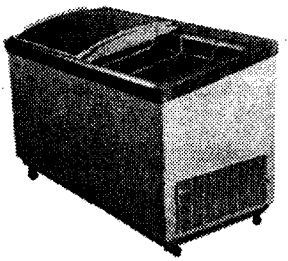


Рис. 15.26
Морозильный ларь с выпуклой крышкой

расположенная сверху ларя скользящая стеклянная крышка улучшает выкладку товара (рис. 15.26).

Эти лари подходят для продажи любых замороженных продуктов и мороженого. Температура воздуха внутри ларя поддерживается в интервале –25...–8 °С.

15.3.5. Холодильные камеры

Холодильные камеры подразделяют на сборные и стационарные.

Модульные сборные холодильные камеры собирают на месте эксплуатации (рис. 15.27, 15.28).

Они предназначены для хранения запаса охлажденных и замороженных продуктов на предприятиях общественного питания и торговли.

Камеры быстро монтируются. Быстрота монтажа панелей основана на применении специальной конструкции торцов панелей, наличии эксцентриковых замков и дополнительных деталей внутри. Замковое соединение панелей (рис. 15.29) обеспечивает легкость монтажа, возможность перестановки и реконструкции.

Наружные обшивки панелей выполняют из тонколистовой оцинкованной стали толщиной 0,5–0,8 мм.

Камеры собирают из стандартизированных панелей типа «сэндвич» (рис. 15.28) — стенных, угловых, потолочных, половых. Камеры комплектуются телескопическими полками, штангами с крюками, дверьми (сплошными и стеклянными) для уменьшения потерь холодного воздуха из холодильной камеры. Холодильные камеры могут быть с открытыми проемами, обеспеченными воздушными завесами для уменьшения потерь холодного воздуха.

Модульное исполнение панелей (в основном с шагом 0,3 и 0,6 м) позволяет получать камеры с разными размерами (высотой от 2,1 до 4,8 м) и вместимостью (от 4,5 до 32 м^3). Технические характеристики

камер и холодильных машин отражены в табл. 15.1–15.4 приложения. Панели трехслойные — пенополиуретан в оболочке из оцинкованной стали, покрытой эмалью — толщиной, например, 65, 100 и 150 мм, коэффициент теплопроводности соответственно 0,38, 0,24 и 0,17 Вт/(м · К).

Модульные холодильные камеры комплектуются навесными моноблочными холодильными машинами (приложение, табл. 15.2–15.4).

Низкотемпературные камеры могут быть укомплектованы половыми панелями с электрическим обогревом (15–25 Вт/м^2), выдерживающими нагрузку до 3000 кг/м^2, дверями с электрообогревом по периметру, а также с электрообогревом наружного стекла, если дверь трехслойная, стеклянная.

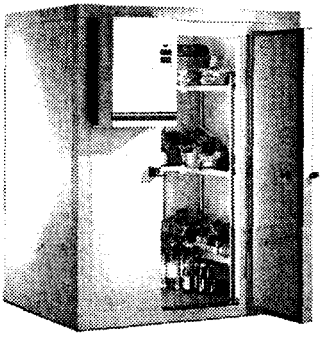


Рис. 15.27
Модульная холодильная камера

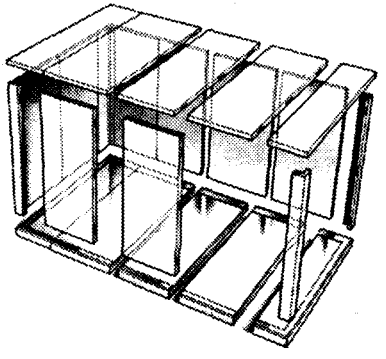


Рис. 15.28
Схема сборки модульной холодильной камеры

Рис. 15.29
Узел соединения панелей холодильной камеры

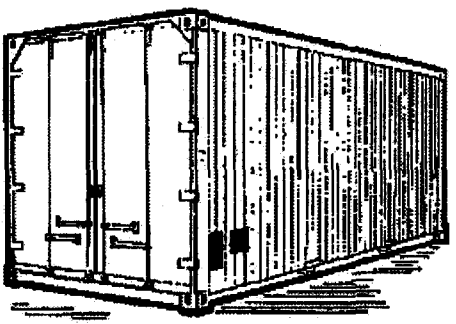


Рис. 15.30
Контейнер типа IC

Перспективным направлением исполнения холодильных камер являются сборные камеры, имеющие в своем составе открытую витрину для хранения части запаса фасованного продукта на полках и в контейнерах. Такие камеры-витрины привлекательны для покупателей, поскольку имеют свободный доступ к продукту. Кроме того, такие камеры позволяют сократить время и затраты труда на осуществление погрузочно-разгрузочных работ. Витрина может быть неотъемлемой частью единого блока (камера-витрина) полной заводской готовности или поставляться отдельно и пристраиваться как к сборной, так и к стационарной камере.

Сборные холодильные камеры с моноблочными холодильными машинами производства СП «Совиталпродмаш» выпускаются объемом от 4 до 18 м^3. Технические характеристики камер отражены в табл. 15.4 приложения.

Своеобразной формой холодильной камеры, которую лишь отчасти можно уподобить сборной холодильной камере, является камера, выпол-

ненная на основе контейнера, например, 20- и 40-футового (рис. 15.30, табл. 15.5 приложения).

В контейнерах может поддерживаться температура воздуха в широком температурном диапазоне (–22...0 °С).

Испытательные камеры

Разновидностью холодильных камер являются испытательные камеры. Испытательные камеры предназначены для создания внешних воздействующих факторов: климатических (температура, влажность и давление воздуха, солнечная радиация, атмосферные осадки и др.) и механических (вибрация, удар, ускорение и др.), а также для экспериментального определения характеристик объекта испытаний в результате воздействия на него указанных факторов. Холодильное оборудование является основой этих камер.

Испытательные камеры, универсальные по назначению, выпускают серийно, и технические требования к ним регламентируются стандартом. В зависимости от вида создаваемых воздействующих факторов выделяют следующие типы камер: термокамеры (положительные и отрицательные температуры воздуха); термобарокамеры (положительные и отрицательные температуры, давление воздуха); термовлагокамеры (положительные и отрицательные температуры, влажность воздуха); термобаровиброкамеры (положительные и отрицательные температуры, давление воздуха, а также вибрация) и т. д.

Термокамеры предназначены для испытания многообразных объектов на воздействие отрицательных и положительных температур в определенных диапазонах, с заданной скоростью их изменения и определенной точностью поддержания. Термокамеры используют для типового испытания изделий электронной, электротехнической, машиностроительной, строительной промышленности.

15.4. Особенности теплообмена в торговом холодильном оборудовании

Определяющими требованиями холодильной технологии к хранению скоропортящихся продуктов являются неизменность температурно-влажностного режима в охлаждаемом объеме и неизменность этих параметров во времени.

Применительно к торговому холодильному оборудованию эти требования не являются жестко выраженными. Более того, различие температуры по высоте охлаждаемого объема, например холодильного шка-

фа, в ряде случаев считается его достоинством, поскольку разная температура на полках шкафа отвечает разным температурным режимам хранения продуктов.

Это обоснование является в большей мере искусственным, чем технологически оправданным, поскольку проблема хранения продуктов с различными температурами логичнее решается в многофункциональном холодильном оборудовании, имеющем отдельные объемы для продуктов разных технологических свойств.

Постоянство температуры воздуха в объеме торгового холодильного оборудования неразрывно связано с типом холодильного оборудования. Однако независимо от типа холодильного оборудования всегда преследуется цель обеспечения постоянной, технологически заданной температуры воздуха в охлаждаемом объеме.

В холодильных прилавках, представляющих, по сути, замкнутую емкость, ограниченную испарителем, фронтальным стеклом прилавка и боковыми поверхностями, выкладка товара осуществляется на дне, решетках или на полках (рис. 15.31–15.33).

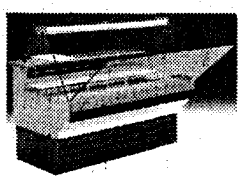


Рис. 15.31
Холодильный прилавок «Gansa»

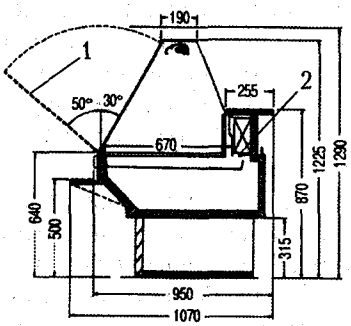


Рис. 15.32
Устройство холодильного прилавка «Gansa»
1 — стекло, 2 — испаритель

Продукт помещают в функциональные емкости или поддоны. Высота выкладки ограничена как требованиями, связанными с требованиями наглядности и доступности выбора демонстрируемого товара, так и требованиями к обеспечению технологически заданного температурного режима.

Высота выкладки обычно указывается на боковых стенках витрины. Размещение товара в большем количестве нарушает движение воздуха в прилавке и соответственно температурный режим хранения продукта.

Конструктивные особенности прилавков, таких, как, например, прилавки серии «Ganza» (рис. 15.32), таковы, что воздух соприкасается со стеклянными поверхностями. Соприкосновение холодного воздуха с поверхностью стекла может привести к влаговыпадению на внутренней поверхности стекла. Однако при эксплуатации прилавков это явление отмечается редко.

Это может быть связано, например, с тем, что внутренняя поверхность стекол имеет температуру выше температуры точки росы. Так, при относительной влажности 75% и температуре воздуха в прилавке 10 °С температура точки росы равна 5,4 °С. При температуре воздуха торгового зала +20...+25 °С и стандартных условиях теплообмена с внутренней стороны и на внешней поверхности стекол прилавка температура внутренней поверхности стекол приближенно составляет 15–20 °С. Этим температурам соответствует температура точки росы 10–15 °С. При таких условиях влаговыпадение на внутренней поверхности стекол прилавка не наблюдается.

Сказанное относится к конвективному движению воздуха в охлаждаемом объеме. Однако при применении воздухоохладителей, т. е. при увеличении коэффициента теплоотдачи от внутренней поверхности стекла прилавка к воздуху охлаждаемого объема, температура внутренней поверхности стекол понижается. Разность температур воздуха в прилавке и внутренней поверхности стекол становится небольшой, порядка 3–5 °С.

Понижение температуры воздуха в прилавке или в торговом зале может привести к выпадению капельной влаги или при отрицательных температурах воздуха к образованию инея на поверхности стекла. Чтобы этого не произошло, прибегают к некоторым техническим приемам. Например, организуют движение потока воздуха таким образом, чтобы он не соприкасался с поверхностью стекла. С этой целью перед фронтальным стеклом устанавливают дополнительное стекло небольшой высоты (рис. 15.33, 15.34).

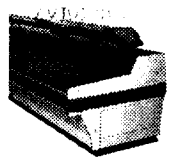


Рис. 15.33
Холодильный прилавок «Pallas-Multirama», *Arneg*

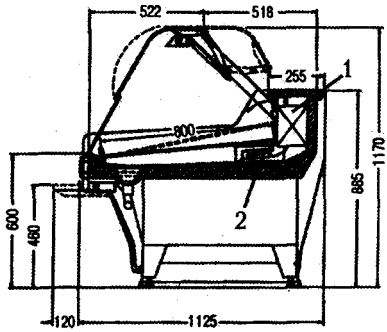


Рис. 15.34
Устройство холодильного прилавка «Pallas-Multirama», *Arneg*
1 — испаритель, 2 — вентилятор

Перед ним находится решетка с отверстиями, через которые воздух опускается вниз, в пространство под емкостями с продуктом, и далее поступает в воздухоохладитель.

В ряде случаев прибегают к обогреву фронтального стекла. Для этого с наружной стороны на него при помощи вентиляторов подается теплый воздух торгового зала или воздух из машинного отделения.

Размещение воздухоохладителя в торговом холодильном оборудовании обеспечивает решение целого комплекса проблем.

Прежде всего обеспечивается эффективное охлаждение продуктов во всем объеме холодильного оборудования. Особенно это важно для холодильного оборудования открытого типа, например для горок (рис. 15.35), стационарных холодильных витрин (рис. 15.36) или холодильных витрин с передвижными контейнерами (рис. 15.37).

Воздухораспределение в объеме горки и витрины в основном однотипно. Воздух проходит через воздухоохладитель и вдоль стенки проходит в верхнюю часть витрины (рис. 15.36). Далее через воздухораспределительные устройства (сопла) направляется на полки с продуктом.

Отепленный воздух поступает в воздухоохладитель из нижней части витрины.

В некоторых конструкциях витрин часть воздуха из воздухоохладителя может подаваться на продукт через отдельные щелевые устройства на задней стенке витрины или через перфорированную заднюю стенку витрины.

Важной частью устройства открытого холодильного оборудования является наличие сопел или направляющих, обеспечивающих соблюдение направленного (ламинарного) потока воздуха, поступающего на продукт.

При нарушении ламинарного потока воздуха или отклонения потока холодного воздуха от полок с продуктом наблюдаются большие потери холода. С этой целью нижнюю часть витрины (рис. 15.36) делают достаточно широкой, до 1055 мм. Такое техническое решение удобно, поскольку, с одной стороны, позволяет увеличить выкладку товара

Рис. 15.35
Горка со встроенным холодильным агрегатом «Муром», *Arneg* (Россия)

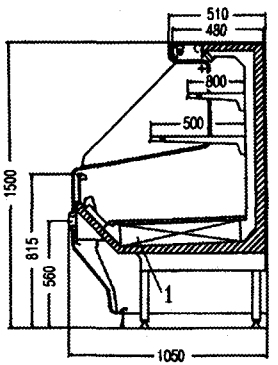


Рис. 15.36
Устройство холодильной витрины «Leo»
1 — воздухоохладитель

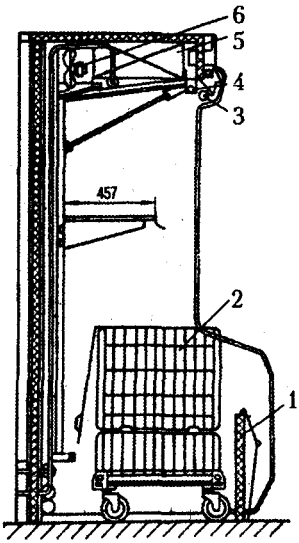


Рис. 15.37
Холодильная витрина с передвижными контейнерами
1 — теплоизолированная дверца, 2 — передвижная витрина, 3 — лампа, 4 — сопла, 5 — воздухоохладитель, 6 — вентилятор

в нижней части витрины и, с другой — уменьшить требования к решению проблемы организации направленного потока воздуха как в охлаждаемом объеме, так и вдоль фронтальной поверхности витрины. Это особенно важно для витрин большой высоты.

В холодильном оборудовании, имеющем емкость для продукта в виде ларя, например в холодильном прилавке «Starfrost» (рис. 15.38), холодный воздух движется в горизонтальном направлении. Боковые стенки этого прилавка имеют двойное или, в низкотемпературном исполнении, тройное остекление.

Однако и в этом случае организация потока воздуха является важной для обеспечения эффективного теплообмена внутри холодильного оборудования.

Применение воздухоохладителей целесообразно прежде всего для холодильного оборудования «шкафного типа» (рис. 15.39, 15.40), поскольку в этом случае обеспечивается быстрое охлаждение воздуха, который теряется при частом открывании дверей.

Известно, что при открывании двери холодильного шкафа за 2–3 с из охлаждаемого объема выходит практически весь холодный воздух.

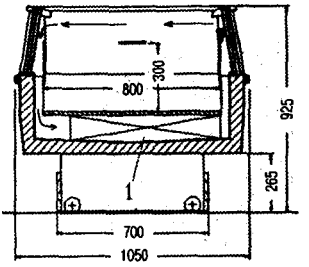


Рис. 15.38
Устройство холодильного прилавка «Starfrost»
1 — воздухоохладитель

При наличии воздухоохладителя воздух, вошедший в холодильный шкаф, в отличие от охлаждения в условиях естественной конвекции охлаждается в течение нескольких минут. Кроме того, может быть обеспечено эффективное удаление инея с поверхности воздухоохладителя.

Воздухоохладитель компактно размещается в объеме торгового холодильного оборудования (рис. 15.39).

Применение воздухоохладителей эффективно. При естественной конвекции воздуха коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности испарителя численно равен 4–5 Вт/(м² · К). В воздухоохладителе коэффициент теплоотдачи увеличивается до 25–35 Вт/(м² · К).

Использование воздухоохладителя в комплексе — в моноблочной холодильной машине — позволяет наиболее эффективно использовать охлаждаемый объем (рис. 15.40).

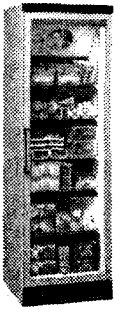


Рис. 15.39
Холодильный шкаф
НКР 410 «Forsre Oy» (Финляндия)

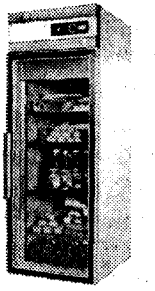


Рис. 15.40
Холодильный шкаф с моноблочной холодильной машиной ШХ-07ДС

Однако следует отметить, что при установке в оборудовании воздухоохладителей интенсифицируется усушка продукта. Поэтому при хранении невлагоизолированных (неупакованных) продуктов, имеющих открытую поверхность, в торговом холодильном оборудовании вынуждены прибегать к конвективной системе охлаждения воздуха.

Комментарий к иллюстративному материалу главы

На отечественном рынке торгового холодильного оборудования широко представлены фирмы Италии (*Arneg*, *Pasorfrigor*, *Sifa*, *Sag*, *Silk*), Польши (*Igloo*, *Cold*, *JBG*, *Juka*), России (ЗАО «Ариада», «Источник» и др.), Финляндии (АО *Hopne*) и многие другие. Вследствие этого материал, представленный в разделе, в основном включает иллюстрации оборудования перечисленных фирм.

Перечень фирм лишь отчасти отражает конъюнктуру рынка на данный момент. Он не претендует на полноту и не преследует рекламных целей.

Более полную и подробную информацию по типам и назначению торгового холодильного оборудования конкретных фирм можно получить на сайтах фирм или в ежемесячном журнале для профессионалов торговли и ресторанного бизнеса «Торговое оборудование». Электронный адрес журнала в Интернете: *www.torg.spb.ru*

Контрольные вопросы:

1. Какие основные параметры положены в основу классификации торгового холодильного оборудования по ГОСТ 23833-95?
2. Какие отличительные черты содержит оборудование, называемое сервировочным оборудованием?
3. Каковы особенности барного холодильного оборудования?
4. Какое холодильное оборудование используют в качестве кухонного оборудования?
5. Какие холодильные шкафы называют шкафами «шоковой заморозки»?
6. Какое холодильное оборудование относят к холодильному оборудованию продовольственных магазинов?
7. Какие холодильные камеры используются на предприятиях общественного питания и торговле?
8. Как обеспечивается охлаждение воздуха в торговом холодильном оборудовании?

Глава 16
БЫТОВЫЕ И АВТОМОБИЛЬНЫЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ

16.1. Классификация холодильников

По способу получения холода бытовые холодильники подразделяют на компрессионные, абсорбционные, термоэлектрические. Преобладающий тип холодильников — компрессионные холодильники.

Компрессионные холодильники по климатическим условиям подразделяют на изделия исполнений «У» и «Т». Климатическое исполнение «У» предполагает, что холодильник должен быть работоспособным при температуре окружающей среды до 40 °С. Холодильники исполнения «Т» должны быть работоспособны при температуре окружающей среды до 45 °С.

По температурному режиму внутри охлаждаемого объема морозильного отделения холодильники подразделяют на высокотемпературные, с температурой воздуха не выше −6 °С, среднетемпературные, с температурой воздуха не выше −12 °С, низкотемпературные, с температурой воздуха −18 °С и ниже (−35...−24 °С).

По конструктивному исполнению холодильники подразделяют на однокамерные, двухкамерные и многокамерные. В двух- и многокамерных холодильниках камеры являются самостоятельными теплоизолированными емкостями.

По способу охлаждения воздуха холодильники подразделяют на холодильники с естественной конвекцией воздуха (традиционный тип теплообмена), с принудительным движением воздуха посредством вентилятора и комбинированного типа охлаждения воздуха, сочетающим оба способа теплообмена. Холодильники с принудительным движением воздуха в низкотемпературном или плюсовом отделении холодильника получили название холодильников с системой «No frost»,

что интерпретируется как холодильник с «не обмерзающим испарителем».

Холодильники с естественной конвекцией воздуха выполняют с одним испарителем (морозилкой) или с двумя. Второй испаритель преимущественно размещают внутри отделения с положительной температурой, на его задней поверхности. Этот испаритель называют «плачущим испарителем», поскольку он работает в режиме периодического обмерзания и оттаивания.

В современных конструкциях холодильников этот испаритель помещают в углублении на задней поверхности стенки холодильника или в большей части за внутренней облицовкой холодильной камеры. В таком случае этот испаритель в холодильнике потребитель не видит.

Подобное размещение испарителя с эстетической и практической точек зрения привлекательно. Однако, как любое техническое решение, оно, упрощая проблему санитарной обработки испарителя, ухудшает теплообмен воздуха камеры с его поверхностью, поскольку теплообмен между испарителем и воздухом холодильной камеры осуществляется через материал внутренней облицовки камеры. Этот материал, как правило, не обладает высокой теплопроводностью.

Традиционно испаритель размещают в верхней части теплоизолированного объема холодильной камеры. При этом высокотемпературное отделение находится под испарителем (морозилкой).

В холодильниках с принудительным движением воздуха место размещения низкотемпературного отделения объемом холодильника не ограничено.

По способу оттаивания испарителя холодильники различают: холодильники с ручным способом оттаивания, полуавтоматическим и автоматическим. Ручное удаление инея с поверхности испарителя как метод характерно только для холодильников устаревших конструкций, которые в силу тех или иных обстоятельств до сих пор продолжают эксплуатироваться.

При полуавтоматическом удалении инея пользователь вручную нажимает кнопку отключения компрессора на реле температуры. Включение компрессора происходит автоматически.

Автоматическое оттаивание обеспечивается приборами автоматического регулирования и контроля. Методы выполнения этого процесса многообразны: воздухом помещения, в котором установлен холодильник, горячими парами холодильного агента, поступающими вместо конденсатора в испаритель, электронагревательными элементами, прикрепленными к испарителю.

16.2. Системы охлаждения

В холодильниках с одним испарителем воздух в высокотемпературном отделении охлаждается посредством теплообмена с открытой поверхностью испарителя. Воздух вокруг испарителя может двигаться конвективно или принудительно. Движение воздуха регулируется изменением величины окна на поддоне или заслонки у поверхности испарителя. Следовательно, регулирование величины потока холодного воздуха от испарителя в охлаждаемый объем с положительной температурой, а значит, и температура воздуха в этом объеме определяется настройкой системы воздухораспределения.

Оптимальное распределение температуры воздуха в высокотемпературном отделении достигается в том случае, когда в охлаждаемый объем холодный воздух поступает в его среднюю часть. При этом теплый воздух в направлении испарителя движется вдоль внутренних поверхностей стен холодильника.

При закрытой заслонке поддона под испарителем средняя по объему температура воздуха в отделении с положительной температурой возрастает на 4–6 °С, при этом температура воздуха в низкотемпературном отделении понижается на 3–4 °С.

Более низкая температура воздуха в низкотемпературном отделении достигается при теплоизоляции низкотемпературного отделения и регулировании движения воздуха у поверхности испарителя. Техническое решение проблемы связано с созданием рациональной конструкции задней стенки холодильника, дверки испарителя, поддона, создания оптимальной конструкции ограждений и размеров отверстий для прохода воздуха. Такое техническое решение обеспечивает понижение температуры воздуха в низкотемпературном отделении (морозилке) до –12 °С. Эта температура воздуха достигается при температуре кипения холодильного агента –21...–19 °С.

Наряду с традиционным способом теплообмена воздуха с поверхностью испарителя охлаждение высокотемпературного отделения может быть обеспечено оригинальным техническим решением. Охлаждение воздуха обеспечивается металлической алюминиевой пластиной, расположенной под нижней плоскостью испарителя, которая выполняет функцию нижней плоскости испарителя. Благодаря тому что эта пластина находится вблизи нижней поверхности испарителя, температура ее поверхности отличается от температуры испарителя на 1,5–2 °С. Сторона пластины, обращенная к поверхности испарителя, — плоская. Обратная сторона пластины выполняется с небольшим оребрением.

Обычно принимают высоту ребер 0,02 м при шаге ребер 0,034 м. Оттаивание пластины ручное. Для этого пластину следует вынуть из холодильника, удалить с нее иней и поставить ее на место.

Холодильники с двумя испарителями в низкотемпературном и высокотемпературном отделениях обеспечивают решение комплекса проблем. Прежде всего они касаются достижения технологически заданной низкой температуры воздуха в каждом из отделений. Кроме того, техническое решение двухиспарительного холодильника обеспечивает более равномерное распределение температуры воздуха в охлаждаемом объеме.

На практике используют два типа соединения испарителей. В первом случае (рис. 16.1) жидкий холодильный агент из конденсатора 2 поступает вначале в испаритель низкотемпературной камеры 3, а затем в испаритель высокотемпературного отделения 4 («плачущий» испаритель).

Такая схема соединения испарителей имеет некоторые особенности. Так, при понижении температуры воздуха, окружающего холодильник, наблюдается недостаточная подача холодильного агента в испаритель высокотемпературного отделения. Это связано с тем, что при

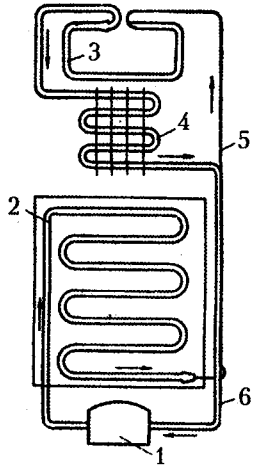


Рис. 16.1
Холодильник с двумя испарителями

1 — компрессор, 2 — конденсатор, 3 — испаритель низкотемпературный, 4 — испаритель плюсовой, 5 — капиллярная трубка, 6 — всасывающий трубопровод

понижении температуры воздуха, окружающего холодильник, уменьшается давление конденсации и в связи с уменьшением теплопритоков в охлаждаемый объем поступает меньше холодильного агента в испаритель.

Во втором случае холодильный агент вначале подается в испаритель высокотемпературного отделения. Это обеспечивает хорошее заполнение испарителя при любой температуре воздуха, окружающего холодильник. Однако при низкой температуре воздуха, окружающего холодильник, испаритель высокотемпературного отделения затрудняет процесс его оттаивания. Поэтому объем испарителя высокотемпературного отделения должен быть минимальным.

Условием нормальной работы холодильника с «плачущим» испарителем является цикличная работа холодильника с малым значением коэффициента рабочего времени. Это значит, что компрессор холодильника должен работать непродолжительное время, а длительность нерабочей части цикла, в которой «плачущий» испаритель успевает оттаять, должна быть большой.

Размещение «плачущего» испарителя в холодильной камере оказывает существенное влияние на равномерность температурного поля в объеме высокотемпературного отделения, усушку продукта.

На практике реализуют многообразные способы размещения испарителя. Испаритель размещают на задней стенке в виде плоской пластины, U-образный испаритель — на задней и боковых стенках, Г-образный испаритель — на задней стенке и потолке высокотемпературного отделения. Теплотехнические испытания испарителей свидетельствуют, что с позиции эффективности теплообмена наилучшие результаты достигаются при Г-образном размещении испарителя.

Для ускорения оттаивания испарителя высокотемпературного отделения к нему прикрепляют нагреватель мощностью 10–20 Вт. Кроме сокращения длительности удаления инея нагреватели служат и для предотвращения его образования. Отсутствие нагревателя на испарителе увеличивает длительность нерабочей части цикла и как следствие — возрастание амплитуды колебаний температуры воздуха в охлаждаемом объеме на 1–2 °С.

Нагреватели подключаются, как правило, параллельно терморегулятору.

Холодильники с принудительным движением воздуха, часто классифицируемые как холодильники «No frost», сравнительно с холодильниками, в которых реализуется конвективное движение воздуха, обладают рядом несомненных достоинств. Принудительное движение

воздуха в охлаждаемом объеме обеспечивает равномерность температурного поля. Кроме того, упрощается удаление инея с поверхности испарителя. Это связано с тем, что ребристо-трубный испаритель, как правило, устанавливают на задней стенке низкотемпературной камеры или в теплоизоляционной перегородке между камерами (рис. 16.2). Поэтому оттаивание испарителя практически не сказывается на изменении температуры воздуха в охлаждаемом объеме.

В холодильнике с двумя камерами, расположенными друг над другом (низкотемпературная камера расположена сверху), преимущественно применяют горизонтальное размещение испарителя (рис. 16.2).

Большая часть воздуха из испарителя (75–85%) подается в низкотемпературную камеру, оставшаяся часть — в высокотемпературную камеру. Нагревшийся воздух из обеих камер вновь поступает в испаритель.

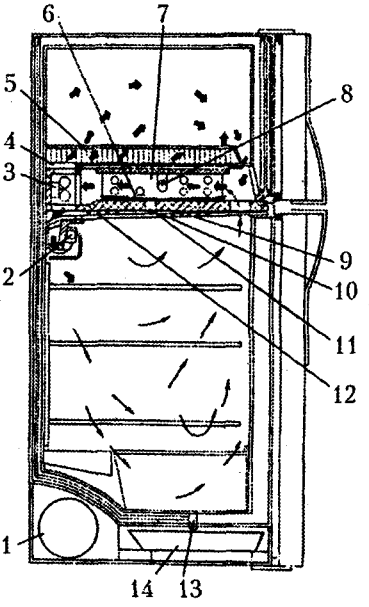


Рис. 16.2
Холодильник с горизонтальным расположением испарителя
1 — компрессор, 2 — терморегулятор, 3 — вентилятор, 4 — окно, 5 — воздухораспределительная решетка, 6 — поддон для воды, 7 — испаритель, 8 — нагреватель испарителя, 9 — желоб для талой воды, 10 — нагреватель, 11 — отверстие для стока воды, 12 — нагреватель, 13 — канал для воды, 14 — емкость для воды

Холодный воздух вентилятором 3 через отверстие 4 и воздухораспределительные решетки 5 направляется в низкотемпературное отделение. Меньшая его часть через отверстие, расположенное в нижней части короба вентилятора, направляется в высокотемпературное отделение. Отепленный воздух поступает в испаритель через общий канал, расположенный в его торцевой части. Испаритель в холодильнике в традиционном понимании его роли является воздухоохладителем. Он обеспечивает высокую эффективность теплообмена. Одновременно испаритель эффективно удаляет влагу из воздуха, в силу чего возникает проблема увлажнения воздуха. В противном случае наблюдается интенсивная усушка продуктов.

В холодильнике с двумя камерами, расположенными рядом (рис. 16.3) (холодильники емкостью более 400 л), по-иному организовано движение воздуха.

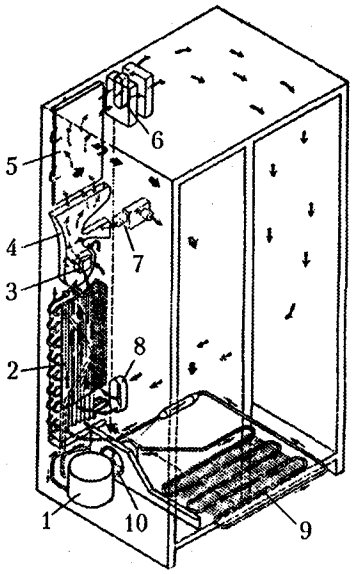


Рис. 16.3
Схема воздухораспределения в холодильнике с холодильными камерами, расположенными рядом

1 — компрессор, 2 — испаритель, 3 — центробежный вентилятор, 4 — воздухораспределительная коробка, 5 — воздуховод, 6 — нагнетательный канал, 7 — подача воздуха в сосуд для мяса, 8 — всасывающий воздушный канал, 9 — конденсатор, 10 — вентилятор конденсатора

Центробежный вентилятор 3 нагнетает холодный воздух в распределительную коробку 4, в которой он распределяется на два потока. Большая часть через нагнетательный канал 6 подается в высокотемпературное отделение холодильника. Существенно меньшая часть через межкамерную перегородку направляется в сосуд для хранения мяса.

В сосуде для хранения мяса температура воздуха на 4–5 °С ниже температуры воздуха в высокотемпературном отделении, поэтому длительность хранения мяса может составлять одну неделю.

Воздушный основной поток в верхней части камеры разделяется на два потока. Большая его часть поступает в низкотемпературное отделение через торцевые щели между стенкой камеры и воздуховодом 5, меньшая часть поступает в нагнетательный канал 6.

Теплый воздух из высокотемпературного отделения поступает в испаритель через канал 8. Из низкотемпературного отделения воздух поступает в испаритель, в его среднюю часть.

Работой компрессора управляет регулятор температуры низкотемпературного отделения. Его чувствительный элемент расположен на входе в нагнетательный канал 6.

Температура воздуха в высокотемпературном отделении регулируется автоматическим регулятором температуры, воздействующим на заслонку, расположенную в нагнетательном канале 5. Прибор установлен на наружной поверхности канала 6, а чувствительный элемент защищен от потока воздуха и располагается вдали от канала, поэтому он реагирует только на температуру воздуха в высокотемпературном отделении.

Данная система регулирования температуры породила ряд технических трудностей, в частности проблему регулирования температуры в высокотемпературном отделении. Чтобы обеспечить минимально необходимый перепад температур между чувствительным элементом и сильфоном реле температуры, сильфон приходится обогревать нагревателем мощностью порядка 1 Вт. Если этого не делать, то хладон, заполняющий реле температуры, будет конденсироваться в более холодном по сравнению с чувствительным элементом сильфоне, а не в самом чувствительном элементе. Вся жидкость, находящаяся в чувствительном элементе, превратится в пар, который переместится в сильфон. Чувствительный элемент потеряет чувствительность, и реле температуры перестанет работать.

Представленная схема охлаждения свойственна холодильникам большого внутреннего объема, более 400 л. Однако система принудительного движения воздуха может быть реализована и в холодильниках

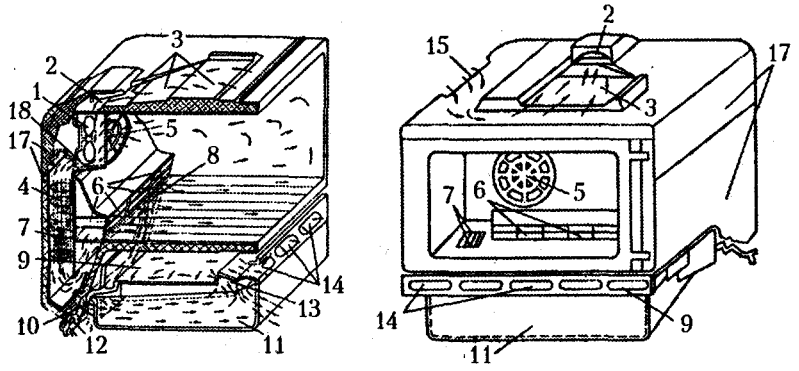


Рис. 16.4
Схема воздухораспределения в холодильнике
с принудительным движением воздуха (холодильник малого объема)
1 — вентилятор, 2 — возврат воздуха из высокотемпературного отделения,
3, 15 — каналы, 4 — испаритель, 5 — решетка вентилятора,
6, 7 — отверстия для подачи воздуха в низкотемпературное отделение,
8 — канал подачи воздуха в высокотемпературное отделение,
9 — перегородка, 10 — отверстие для прохода воздуха в поддон, 11 — поддон,
12 — отверстие для подачи воздуха в высокотемпературное отделение,
13 — щели для отсоса воздуха из поддона, 14 — отсос воздуха
из высокотемпературного отделения, 17 — капсула,
18 — нагреватель

малого объема, например в холодильниках емкостью 150–200 л. Один из возможных вариантов воздухораспределения в холодильнике представлен на рис. 16.4.

Низкотемпературное отделение выполнено в виде самостоятельной конструкции 17 (капсулы). Испаритель 4 находится на задней стенке капсулы. Теплый воздух из высокотемпературного отделения засасывается вентилятором 1. Воздух поступает через каналы 15 и 3 в отверстие 2.

Из низкотемпературного отделения воздух в испаритель поступает через решетку 5. Оба эти потока смешиваются в зоне вращения крыльчатки вентилятора. Смешение потоков может привести к выделению влаги, поэтому для ее удаления во время оттаивания включается электронагреватель 18. Воздух, проходя через испаритель 4, разделяется на два потока. Один поток через щели 6 и 7 поступает в низкотемпературное отделение. Второй поток через канал 8 попадает на воздухораспределительную перегородку 9, где повторно разделяется на два потока. Часть воздуха через отверстие 10 в воздухораспределительной перегородке поступает в поддон 11, другая часть по каналам в возду-

хораспределительной перегородке направляется к каналам 12, через которые воздух поступает в высокотемпературное отделение.

Холодный воздух из поддона 11 через боковые щели между воздухораспределительной перегородкой и поддоном направляется в переднюю часть камеры. Отепленный воздух из высокотемпературного отделения поступает в испаритель через каналы 14 и 15.

Представленное техническое решение охлаждения воздуха в холодильнике не является совершенным, поскольку наблюдается большая разность температур воздуха на входе в высокотемпературное отделение и возвращающегося в испаритель. Она может достигать 10 °С, что свидетельствует о высокой неравномерности температурного поля в объеме высокотемпературного отделения, аналогичного системам с конвективным движением воздуха. Кроме того, подача воздуха непосредственно в охлаждаемый объем увеличивает усушку продукта. Острота проблемы может быть уменьшена, если воздух из испарителя, омывая внутреннюю облицовку камеры, затем подается в нее через отверстия в облицовке. Такая конструкция является аналогом панельной системы охлаждения, хорошо зарекомендовавшей себя в части достижения равномерного температурного поля в охлаждаемом объеме при малой величине усушки.

16.3. Основные показатели бытовых холодильников

Комплексная оценка бытовых холодильников, которая отражена в технической литературе, базируется на совокупности большого количества показателей. Их объединяют в 6 основных групп: технико-эксплуатационные, показатели надежности, технологические, эстетические и эргономические, показатели стандартизации и унификации, патентно-правовые.

В потребительском плане наибольший интерес представляют отдельные, наиболее значимые показатели.

Технико-эксплуатационные показатели: объемно-весовые и температурно-энергетические

Объемно-весовые показатели: $V_{общ}$ — общая емкость холодильника, м^3, $V_{пл}$ — емкость плюсового отделения, м^3, $V_{но}$ — емкость низкотемпературного отделения, м^3, $F_{хр}$ — площадь поверхности холодильного хранения, м^2, m — масса холодильника, кг.

Температурно-энергетические показатели: $t_{пл}$ — температура воздуха в высокотемпературном отделении, °С, $t_{но}$ — температура воздуха

в низкотемпературном отделении, °С, W — расход электроэнергии, кВтч/сут., ω — удельный расход электроэнергии, кВтч/(сут. · л), b — коэффициент рабочего времени.

Общая емкость холодильника — $V_{общ}$, м^3, — это объем, ограниченный внутренними стенками холодильника при закрытой двери и вынутых съемных элементах.

Емкость однокамерных холодильников обычно составляет 40–350 л, двухкамерных с естественной конвекцией воздуха — 120–380 л, двухкамерных с принудительным движением воздуха — 320–800 л.

Емкость низкотемпературного отделения зависит от общей емкости холодильника. Для однокамерных холодильников она составляет 10–15% от емкости холодильника. В двухкамерных холодильниках с естественной конвекцией — 20–25%, в холодильниках с принудительным движением воздуха — 45–50%.

Площадь поверхности холодильного хранения (площадь полок) — $F_{хр}$, м^2, — включает полки на двери, площади дна подвесных сосудов, поддона и дна камеры. Площадь пола пропорциональна емкости холодильника. В среднем она составляет 42–52 дм^2 на 100 дм^3 емкости холодильника. Это значит, что на 1 дм^2 площади полок приходится 1,85–2,4 дм^3 емкости, т. е. средняя высота над полкой составляет 185–240 мм.

Масса холодильника в значительной мере пропорциональна емкости холодильника. Показатель, равный 0,24 кг/л, считается удовлетворительным.

Температура воздуха в высокотемпературном отделении, $t_{пл}$, °С, не является показателем качества холодильника. Она устанавливается потребителем. Важно лишь, чтобы при температуре окружающего холодильник воздуха 32 °С коэффициент рабочего времени холодильника был менее единицы.

Температура воздуха в низкотемпературном отделении, $t_{но}$, °С, определяет технологически допустимую длительность холодильного хранения, а при краткосрочном хранении — отсутствие изменения качества продукта.

В отечественной и международной практике установлены три уровня температур: –6, –12, –18 °С. Современные бытовые холодильники в большинстве своем ориентированы на температуру воздуха в морозильном отделении –18 °С и ниже. Причем тенденция понижения температуры воздуха до –24 °С и ниже является устойчивой.

Расход электроэнергии, W, кВтч/сут., определяет экономичность работы холодильника. Эта величина зависит от качества технического исполнения холодильника (свойств теплоизоляции, наличия тепло-

вых мостиков и т. д.), температуры воздуха в охлаждаемом объеме, температуры воздуха, окружающего холодильник.

Энергетические затраты холодильников принято оценивать при условии их работы в стандартном тепловом режиме. В условиях умеренного климата энергетические показатели оценивают при температуре $t_{окр} = 32$ °С и воздуха в высокотемпературном отделении 5 °С. В условиях тропиков принимают температуру окружающего воздуха, равную 43 °С, и температуру воздуха в высокотемпературном отделении 7 °С.

Расход электроэнергии пропорционален емкости холодильника. При температуре $t_{окр} = 32$ °С и воздуха в высокотемпературном отделении 5 °С, емкости холодильника 200 л расход электроэнергии составляет приближенно 1,7 кВтч/сут., при 280 л — 2,1 кВтч/сут. С увеличением емкости холодильника расход электроэнергии возрастает, однако это возрастание не имеет линейного характера, поскольку для холодильников большой емкости (холодильники последнего поколения) свойственна более совершенная конструкция холодильника при более совершенной теплоизоляции. Об уровне надежности и совершенстве теплоизоляции говорит тот факт, что современные холодильники способны сохранять практически неизменной температуру воздуха в охлаждаемом объеме при выключении холодильника из электросети 4–8 ч.

Коэффициент рабочего времени работы компрессора холодильника «*b*» для домашних холодильников является важным расходным показателем. Он служит мерой расхода энергии при работе компрессора. По его величине определяют запас холодопроизводительности компрессора холодильной машины, способность компрессора холодильника обеспечить поддержание температурного режима в холодильной камере. При температуре воздуха, окружающего холодильник, 32 °С коэффициент рабочего времени составляет 0,5–0,7.

Известно, что возрастание температуры окружающего воздуха с 20 до 40 °С вызывает увеличение расхода электроэнергии в 2–3 раза. Повышение температуры воздуха, окружающего холодильник, на 1 °С вызывает возрастание расхода электроэнергии на 12%.

При возрастании температуры окружающего воздуха коэффициент рабочего времени стремится к единице, что соответствует непрерывной работе компрессора без его выключения. Подобный режим работы некоторых конструкций холодильников реализуется под названием «режим Super». Он используется в морозильниках и двухкамерных холодильниках для замораживания небольшого количества теплых продуктов. Выполняется он в ручном режиме, т. е. включение и выключение компрессора после завершения процесса замораживания осу-

ществляется вручную пользователем. Однако такая работа моторакомпрессора длительностью более 3 сут. не рекомендуется, поскольку может привести к поломке компрессора.

Показатели надежности

К показателям надежности относят: срок службы, вероятность безотказной работы.

Под сроком службы понимается календарная продолжительность эксплуатации изделия до момента возникновения состояния, приводящего к потере работоспособности холодильника. Срок службы холодильников может достигать 16–20 лет. Однако «моральное» старение холодильников происходит столь стремительно, что реально этот срок ограничен 4–7 годами.

Надежность — свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение установленного времени. Основной показатель надежности — безотказность, т. е. свойство изделия сохранять работоспособность в течение устанавливаемого периода времени.

Различают отказы внезапные и постепенные. Внезапные отказы возникают как следствие сочетания ряда неблагоприятных факторов, поэтому их возникновение не зависит от длительности работы холодильника.

Постепенные отказы обусловлены медленными процессами — коррозией, старением металла.

В первые 3–8 мес. эксплуатации холодильников (что соответствует длительности притирки элементов компрессора) количество отказов в работе наиболее заметно. Далее прирост отказов имеет монотонный характер. В среднем интенсивность отказов составляет 3–5% в год.

Эстетические и эргономические показатели

Из эстетических показателей могут быть выделены: рациональность формы, целостность композиции, соответствие современным художественным тенденциям.

К эргономическим показателям относят: гигиенические — уровень шума и вибрации, антропометрический — соответствие размерам тела человека.

Уровень шума как один из важных эргономических показателей принято выражать уровнем звукового давления L_A, дБА, частотный спектр которого скорректирован в соответствии с физиологическим восприятием человека.

Основными источниками шума являются компрессор и вентилятор конденсатора. Уровень шума холодильников емкостью 150–300 л находится в пределах 26–31 дБА, емкостью 400–500 л — в пределах 35–40 дБА.

Уровень шума более 45 дБА для бытовых холодильников недопустим.

16.4. Автомобильные холодильники

По конструктивному исполнению автомобильные холодильники могут быть подразделены на изотермические емкости, полупроводниковые холодильники и компрессионные холодильники.

Конструктивно самые простые из них — изотермические емкости. Они представляют собой изотермическую емкость, герметично закрываемую крышкой. Изотермические емкости в равной мере сохраняют тепло и холод. Теплоизоляцию выполняют из вспененных полимерных материалов. Благодаря хорошей теплоизоляции внутри емкости в течение 8–10 ч поддерживается приемлемая для сохранения продуктов температура.

В изотермические емкости помещают предварительно охлажденные или разогретые продукты. Изотермические холодильники имеют разный объем. Самые маленькие (сумки-холодильники) имеют объем от 5 до 15 л, большие емкости — до 50 л.

Эффективность изотермической емкости в качестве холодильника можно повысить, поместив в нее пакеты с эвтектической смесью (так называемые аккумуляторы холода). Они представляют собой небольшие, герметично закрытые пакеты с соляным эвтектическим раствором. Перед размещением пакета с эвтектической смесью в изотермической емкости его следует поместить на несколько часов в низкотемпературное отделение холодильного оборудования. Таяние эвтектической смеси происходит при низкой отрицательной температуре, что позволяет эффективно охлаждать воздух в объеме изотермической емкости.

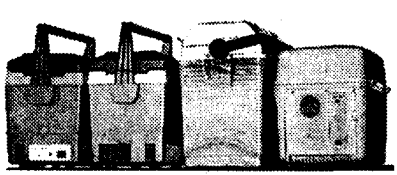


Рис. 16.5
Автомобильные сумки-холодильники

В том случае, если преследуется цель сохранить продукты, например шашлык или курицу-гриль, горячими, то тот же аккумулятор холода (пакеты с эвтектическим раствором) опускают в горячую, нагретую до 80 °С воду, и пакет уже выполняет роль нагревательного элемента. Он увеличивает длительность хранения продуктов в горячем состоянии еще несколько часов.

Более эффективным источником холода или тепла является электрический автомобильный холодильник.

В зависимости от конструкции такие автомобильные холодильники подразделяются на термоэлектрические и компрессионные.

Термоэлектрические холодильники являются самыми распространенными. Термоэлектрические холодильники могут не только обеспечивать низкую температуру воздуха в охлаждаемом объеме, но и нагревать их до температуры 60–70 °С.

Потребляемая мощность термоэлектрических холодильников емкостью 30–50 л составляет порядка 70 Вт. Разность температур между температурой воздуха в охлаждаемом объеме и температурой воздуха, в котором находится полупроводниковый холодильник, составляет 30– 35 °С. Следовательно, при температуре воздуха, окружающего холодильник, равной 25 °С, температура воздуха в охлаждаемом объеме составит –10...–5 °С. Питание полупроводникового холодильника возможно от сети напряжением 220 V или от автомобильного аккумулятора напряжением 12 V.

В подобных моделях полупроводниковые устройства не обеспечивают большую холодопроизводительность. Эффективность их работы прежде всего зависит от температуры окружающей среды и от особенностей теплообмена на холодной (испаритель) и горячей (конденсатор) поверхностях полупроводниковых элементов. Применение вентиляторов, прежде всего на горячей поверхности, приводит к понижению температуры воздуха в охлаждаемом объеме. На рис. 16.5 (правый образец) видно отверстие, закрытое декоративной решеткой, за которой находится вентилятор.

Компрессионные автомобильные холодильники используют холодильные агенты и работают в режиме обычной паровой холодильной машины. Они успешно охлаждают воздух в холодильнике, но не могут нагревать пищу аналогично термоэлектрическим холодильникам.

Сравнительно с полупроводниковыми холодильниками компрессионные холодильники громоздки и тяжелы. Они требуют большого расхода электроэнергии и могут «посадить» аккумулятор во время стоянки автомашины.

Компрессионные холодильники емкостью более 50 л подходят скорее для грузоподъемного транспорта, такого как, например, автобусы. Для легковых автомобилей обычно хватает тридцатилитрового термоэлектрического холодильника, который, как правило, устанавливается в багажнике автомобиля.

Небольшой холодильник может быть установлен и в салоне. Однако при этом следует исходить из того, что количество продуктов, которые могут быть размещены в холодильнике, невелико.

Работа компрессора открытого типа, установленного на легковом автомобиле и имеющего выход коленчатого вала за пределы герметичного объема картера, обеспечивается ременной передачей от двигателя. Такая конструкция передачи «двигатель—компрессор» и компрессора в целом обусловливает все известные эксплуатационные недостатки, присущие компрессорам открытого типа. Такая конструкция передачи обусловливает зависимость работы холодильной машины от работы двигателя автомобиля. Кроме того, возможна утечка холодильного агента и масла через сальник компрессора. Все, вместе взятое, предопределяет предпочтение в применении в легковых автомобилях полупроводниковых холодильников.

Контрольные вопросы:

1. Какие способы получения искусственного холода используются в бытовых холодильниках?
2. Рассмотреть классификацию бытовых холодильников.
3. Какие способы охлаждения воздуха в бытовых холодильниках применяются на практике?
4. Какие системы охлаждения используются в бытовых холодильниках?
5. Дать краткую характеристику основных показателей бытовых холодильников.
6. Какие холодильники применяют в холодильном транспорте? Дать их краткую характеристику.

Глава 17
ЛЬДОГЕНЕРАТОРЫ И ФРИЗЕРЫ

17.1. Льдогенераторы, классификация

Льдогенераторы — автоматические устройства, применяемые для получения льда. Льдогенераторы различают как устройства промышленного типа и льдогенераторы системы общественного питания и торговли.

Льдогенераторы классифицируют по виду, составу и назначению вырабатываемого льда, по способам и источникам охлаждения и по конструктивным особенностям.

Льдогенераторы изготавливают следующие виды технического и пищевого льда:

- блочный, трубчато-блочный и снежно-блочный;
- плитный и трубчато-плитный;
- малогабаритный лед — дробленый, кусковой и пластинчатый, трубчатый и скорлупный, брикетный, кубиковый;
- рассыпной лед — мелкодробленый (измельченный до снегообразной массы или гранул), чешуйчатый, снежный (путем прессования может быть превращен в брикетный и снежно-блочный лед).

По производительности льдогенераторы подразделяют на большие — 1000 кг/ч и более, средние — 100–1000 кг/ч, малые — 10–100 кг/ч, мелкие — менее 10 кг/ч (обычно в составе домашних холодильников).

В промышленных целях преимущественно производят блочный, кусковой и чешуйчатый лед, который широко используется в колбасном производстве и производстве пельменей.

В системе общественного питания и торговле обычно используются льдогенераторы малой производительности, производящие лед кусковой в виде кубиков, стаканчиков и чешуйчатый лед для кондитерских целей и хранения свежей рыбы в торговом холодильном оборудовании.

В ресторанном бизнесе 2–4 кубика льда добавляют в соки, виски и ром, в слабоалкогольные коктейли.

Трудно придумать более подходящий и элегантный способ охлаждения шампанского, чем в ведерке со льдом.

В ресторанах при гостиницах часто не хватает охлаждаемых прилавков и буфетов для выкладки всего ассортимента продуктов, например по системе питания «шведский стол», и тогда используют большие емкости с измельченным льдом, на котором устанавливаются блюда с мясной и рыбной гастрономией, сырами, йогуртами, сливочным маслом, кондитерскими изделиями, десертами и т. п.

В последнее время все большую популярность в нашей стране приобретают свежеприготовленные соки, так называемые *fresh juice*. Их можно выпить в крупном магазине, в кафе, в баре аэропорта и кинотеатра и т. д. Для этих целей также используется лед, приготовленный в льдогенераторе.

Следует отметить, что льдогенератор, как правило, является составной частью барного оборудования. Необходимый набор оборудования невелик: барный комбайн с соковыжималкой для цитрусовых, блендером для перемешивания, например апельсинового сока с сезонными добавками (клубникой, малиной, клюквой, бананами, киви и т. п.), и льдокрошителем, который превращает замерзшие кубики в ледяную крошку. Все оборудование устанавливается на рабочем столе. Пространство под рабочим столом традиционно используют для установки льдогенератора производительностью 20–26 кг в сутки. Производимый в аппарате лед в форме кубиков или ледяной крошки добавляется в бокал с напитком.

17.2. Закономерности производства пищевого льда высокого качества

При производстве льда реализуются в основном два метода: намораживание воды на плоской плите (испарителе) и разбрызгивание влаги на поверхности испарителя, форма которого определяет форму льда. Наиболее распространенной формой льда являются лед в виде «стаканчика».

Важным потребительским качеством льда является его прозрачность. В пищевых целях например для приготовления коктейлей, лед должен быть только прозрачным. Производство прозрачного льда — сложная производственная задача.

Из питьевой водопроводной воды может быть получен как матовый лед с плотностью 890–900 кг/м^3, так и прозрачный с плотностью 910–917 кг/м^3.

Матовый лед имеет белый цвет в основном благодаря наличию в нем пузырьков воздуха и солей. Прозрачный лед практически не имеет воздушных включений и имеет минимум солей.

Качество питьевой воды определяется требованиями ГОСТ 2874-73 «Вода питьевая». ГОСТ допускает сухой остаток — до 1000 мг/л. Общая жесткость воды не более 7 мг-экв/л, а мутность по содержанию взвешенных частиц — не свыше 1,5 мг/л. Вода не должна содержать железа более 0,3 мг/л, а pH = 6,5–9,5.

Для получения прозрачного льда, получаемого при –10 °С, предельно допустимое содержание примесей в воде отражено в табл. 17.1.

Получение прозрачного льда базируется на закономерностях льдообразования.

Как рассмотрено ранее, при формировании кристаллов льда в виде пластин, т. е. неразветвленных кристаллов в отличие от разветвленных кристаллов дендритной формы (папоротникообразной), получается чистый прозрачный лед.

Лед перемещает перед собой растворенные компоненты, осуществляя «зонную очистку» раствора. Перемещаемое вещество, если лед намораживается в емкости, например в емкости, погруженной в рассол с температурой –10 °С, накапливается в центральной ее части. Эту незамороженную часть раствора удаляют.

По мере накопления примесей перед движущейся границей фаз формирование плоских кристаллов затрудняется. Кристаллы нуждаются в постоянном удалении примесей от поверхности раздела. Это делается перемешиванием замораживаемого раствора или наиболее простым методом — барботажем воздуха, т. е. продувкой воздуха через раствор или посредством интенсификации движения воды в замораживаемом объеме. В этом случае практически реализуются методы,

Таблица 17.1

Требования к получению в льдогенераторе прозрачного льда

Общее содержание солей, мг/л	250
Сульфатов, хлоридов, углекислого натрия	170
Железа, мг/л	0,04
pH	7

которые используются при выращивании искусственных кристаллов минералов.

В рекомендациях, касающихся промышленных способов получения льда в виде блоков, для получения качественного льда рекомендуется увеличить интенсивность движения воды в 2–3 раза сравнительно с обычной скоростью ее движения. Кроме того, рекомендуется повысить температуру теплоотводящей среды, чаще всего — рассола, в котором находится бак с замораживаемой водой, до –8...–6 °С вместо –10 °С при традиционном способе замораживания. Но повышение температуры замораживания находится в противоречии с требованиями увеличения производительности льдогенератора. Поэтому проблему получения чистого льда в промышленных условиях решают иным способом. Не меняя температуру замораживания воды и соответственно скорость замораживания, прибегают к предварительной обработке воды, поступающей на замораживание.

Простейшим способом обработки воды является ее фильтрация и при необходимости обработка воды квасцами с целью ее подщелачивания до pH = 7. Для этого воду пропускают через доломитовую крошку.

В ряде случаев для обработки воды применяют цеолиты (алюминиево-натриевый силикат). В результате жесткость воды уменьшается существенно, практически до состояния, при котором возможно получение прозрачного льда. Поэтому водоподготовка вне зависимости от способа получения прозрачного льда должна использоваться в обязательном порядке.

17.3. Льдогенераторы предприятий общественного питания и торговли

17.3.1. Льдогенераторы кускового льда

На рис. 17.1 в качестве типовой конструкции представлен льдогенератор «Торос-2».

В конструкции льдогенератора реализована идея образования льда на поверхности гладкого наклонного испарителя. Вода насосом подается в коллектор, расположенный в верхней части испарителя, равномерно сливается на поверхность испарителя. Часть воды намерзает на поверхности испарителя, часть стекает в поддон, откуда насосом вновь направляется в коллектор.

Расход воды дополняется ее подпиткой из водопровода. Регулятором уровня воды в поддоне служит поплавковый клапан.

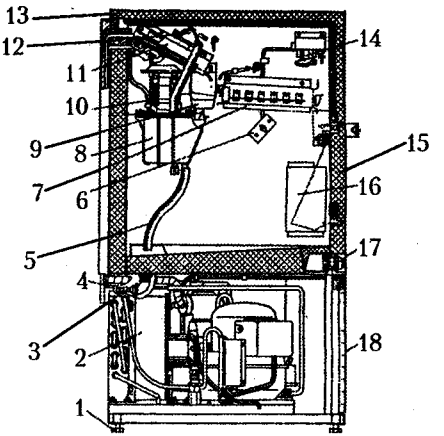


Рис. 17.1
Льдогенератор «Торос-2»

1 — опора, 2 — холодильный агрегат, 3 — водяной штуцер, 4 — фреоновый трубопровод, 5 — шланг подачи воды, 6 — термореле, 7 — режущая решетка, 8 — ванна насоса, 9 — поддон, 10 — насос, 11 — испаритель, 12 — щуп, 13 — крышка, 14 — термореле бункера, 15 — дверь бункера, 16 — бункер, 17 — переключатель, 18 — решетка

По мере увеличения толщины слоя льда на поверхности испарителя вращающийся щуп касается поверхности льда и все больше поднимает устройство выключения электродвигателя компрессора и включения системы оттаивания.

Оттаивание испарителя льдогенератора осуществляется изменением направления движения холодильного агента. Холодильный агент, минуя конденсатор, направляется в испаритель. Ледяная пластина подтаивает и сползает на решетку, выполненную из струн, через которые подается электрический ток. Струны прорезают лед, и кубики льда падают в накопительный бункер. После сползания льда щуп не воспринимает лед, и компрессор с водяным насосом включаются вновь.

В льдогенераторе лишь отчасти реализована идея получения прозрачного льда. Вода, подаваемая на испаритель, непрерывно смывает соли с намерзающего слоя льда. Но, выполнив часть работы в части получения прозрачного льда, не реализована вторая, не менее важная часть задачи — удаление солей из воды. Концентрация солей в воде непрерывно увеличивается. Пополнение свежей водой из водопровода проблему удаления солей не решает.

Следует отметить, что прозрачность льда определяется не только наличием в воде солей, но и скоростью льдообразования. Скорость льдообразования, в свою очередь, зависит от температуры кипения холодильного агента в испарителе. Поэтому любая попытка интенсифицировать процесс намораживания льда понижением температуры кипения холодильного агента неизбежно связана с ухудшением качества льда.

Качество получаемого льда в льдогенераторе прежде всего зависит от качества подаваемой воды. Поэтому водоподготовка или как минимум качественная очистка воды при помощи фильтров тонкой очистки является обязательной. Что касается скорости замораживания, то в угоду качеству льда ее нельзя форсировать. Это значит, что при получении прозрачного льда температуру кипения холодильного агента в испарителе не следует понижать без необходимости ниже –12...–10 °С.

Разновидностью льдогенераторов системы общественного питания и торговли является льдогенератор с разбрызгиванием воды из форсунок на поверхность испарителя (рис. 17.2).

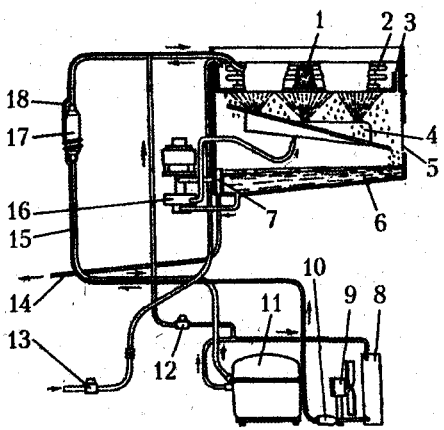


Рис. 17.2
Льдогенератор с форсунками

1 — льдоформа, 2 — испаритель, 3 — поддон испарителя, 4 — коллектор с форсунками, 5 — шторка, 6 — ванна, 7 — переливная труба, 8 — конденсатор, 9 — вентилятор, 10 — фильтр-осушитель, 11 — компрессор, 12 — электромагнитный вентиль подачи горячего пара, 13 — электромагнитный вентиль подачи воды, 14 — слив воды, 15 — всасывающий трубопровод, 16 — водяной насос, 17 — отделитель жидкости, 18 — капиллярная трубка

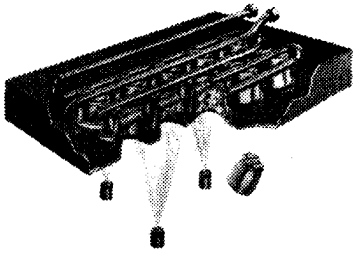


Рис. 17.3
Подача воды из форсунок на емкости, имеющие форму стаканчиков

Испаритель состоит из льдоформ (рис. 17.3) (стаканчиков, перевернутых вверх дном).

Вода разбрызгивается на внутреннюю часть стаканчика. В начале процесса намораживания воды на форме (стаканчике) включается реле времени. Через 25 мин работы льдогенератора осуществляется оттаивание испарителя горячими парами холодильного агента. Цикл оттаивания длится около 3 мин. Стаканчики падают в бункер, процесс оттаивания завершается, и компрессор включается вновь. Прозрачность льда, получаемого в льдогенераторах данного типа, не отличается ото льда, получаемого в аппарате с пластинчатым испарителем, поскольку также не решена проблема водоподготовки и удаления солей.

Форма ледяных кристаллов зависит от геометрических размеров льдоформы. Производимый лед может иметь форму цилиндра, кубика или усеченного конуса. Масса льда в аппаратах различных типов составляет в среднем от 8 до 35–40 г.

17.3.2. Льдогенераторы чешуйчатого и снежного льда

Наибольшее применение находят роторные льдогенераторы. Роторные льдогенераторы являются аппаратами непрерывного типа.

Лед намораживается на барабане, представляющем собой испаритель холодильной машины. С поверхности барабана лед удаляется скребками различного типа (ножами, резцами). Наиболее практично и экономично удаление намороженного льда посредством фрезы. Считается, что в отличие от льдогенераторов периодического типа, в которых намороженный слой оттаивают посредством периодического нагрева испарителя, роторные льдогенераторы имеют минимальные энергозатраты. Себестоимость чешуйчатого и снежного льда на 50% ниже себестоимости льда, получаемого в блочных промышленных льдогенераторах.

В скребковых льдогенераторах при неподвижном барабане лед удаляется вращающимся скребком. Лед получают в виде чешуек или крупинок. Такой лед называют снежным льдом. При замене скребков на катящиеся по льду фрезы получают только чешуйчатый лед. В аппаратах такого типа толщина снимаемого слоя льда невелика. Она составляет 0,5–2,5 мм.

Длительность намораживания льда нетрудно оценить на основе выражения 17.2.

В современном роторном льдогенераторе при теплосодержании льда $i_л = 326 \cdot 10^6$ Дж/м³ ($t'_в = 1{,}5$ °С; $t'_в = 0{,}5$ °С и средней температуре воды

$$\Delta t_c = \frac{1{,}5 + 0{,}5}{2} = 1\ ^\circ\text{C}),$$

коэффициентах теплоотдачи со стороны металла и холодильного агента $\alpha_л = 10\,000$ Вт/(м² · К), $\alpha_{х.а.} = 1500$ Вт/(м² · К) при температуре кипения холодильного агента $t_{х.а.} = -15$ °С, минимальной толщине слоя $\delta_{min} = 0{,}0015$ м и его теплопроводности $\lambda_{ст} = 2{,}22$ Вт/(м · К) на стальной плите теплопроводностью $\lambda_c = 58$ Вт/(м · К) толщиной 0,008 м требуется 40,5 с.

$$\tau = i_л \frac{\delta_л}{-t_{х.а.}} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{х.а.}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{0{,}5 \cdot \delta_{min}}{\lambda_л} + \frac{1}{\alpha_л} \right), \qquad (17.1)$$

где δ_{min} — минимальная толщина намороженного слоя льда с одной стороны, м.

$$\tau = 326 \cdot 10^6 \cdot \frac{0{,}0015}{15} \left(\frac{1}{1500} + \frac{0{,}008}{58} + \frac{0{,}5 \cdot 0{,}0015}{2{,}22} + \frac{1}{10\,000} \right) = 40{,}5, \text{ с.} \quad (17.2)$$

Этому времени соответствует скорость льдообразования 0,000037 м/с (2,22 мм/мин).

Расчетная скорость льдообразования на поверхности льдогенератора соответствует экспериментальным данным и может представлять интерес для практических расчетов.

17.4. Фризеры «мягкого» мороженого

Фризерованием называется процесс частичного замораживания и одновременного взбивания смеси, т. е. превращения ее в мороженое. В процессе фризерования смеси образуется структура мороженого, которая

окончательно формируется при последующей холодильной обработке продукта. Фризерование осуществляется в специальном аппарате — фризере.

Во фризер смесь поступает при температуре +2...+6 °С. Температура начала замерзания смесей ниже этих температур, поэтому во фризере смесь вначале охлаждается, а по достижении криоскопической температуре она замерзает.

Процесс фризерования протекает при непрерывном понижении температуры смеси. Он заканчивается, когда температура мороженого достигает –6...–4,5 °С. При этой температуре в лед превращается 45–55% влаги.

Одновременно с охлаждением и замораживанием в аппарате происходит взбивание смеси, т. е. насыщение ее воздухом.

Взбитость продукта зависит от состава смеси. Для молочного мороженого она должна быть не менее 50%, а для сливочного или мороженого пломбир — не менее 60%.

Помимо свойств смеси на взбитость мороженого, на размеры воздушных пузырьков влияют конструктивные особенности фризера: скорость вращения мешалки, способ подачи воздуха, включая принудительную его подачу в цилиндр, степень заполнения фризера смесью и т. д.

Существенная роль в получении устойчивого взбитого продукта принадлежит стабилизатору состояния мороженого — агару. Недостаток его в мороженом приводит к тому, что мороженое становится твердым, «обжигающим полость рта». Мороженое перестает держать форму, быстро оттаивает.

Производительность фризера в значительной мере зависит от величины зазора между внутренней поверхностью цилиндра и скребком-мешалкой. В идеале он должен отсутствовать. Поэтому среди прочих технических характеристик фризера конструкции скребка-мешалки отводят ведущее место в оценке совершенства фризера. В этом плане существенным недостатком конструкций фризеров, представленных на рис. 17.4 и 17.5, является неудачная конструкция скребка-мешалки.

Технически более совершенной является конструкция скребка-мешалки фризера фирмы *Carpigiani* (рис. 17.7), обеспечивающая более качественное срезание слоя намерзшего мороженого на поверхности цилиндра при меньших усилиях выполнения процесса.

Намораживание смеси мороженого на поверхности цилиндра порождает проблему точного контроля температуры поверхности цилиндра. С тем чтобы не произошла остановка вращения скребка-мешалки

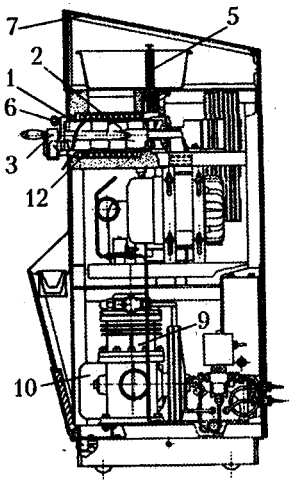


Рис. 17.4
Фризер мягкого мороженого двухцилиндровый Ф2А14

1 — цилиндр, 2 — шнек, 3 — кран выпуска мороженого, 4 — сосуды для смеси, 5 — запорный кран подачи смеси, 6 — рукоятка открытия запорного крана, 7 — крышка, 8 — электродвигатель, 9 — компрессор, 10 — электродвигатель компрессора, 11 — конденсатор с водяным охлаждением, 12 — змеевик испарителя

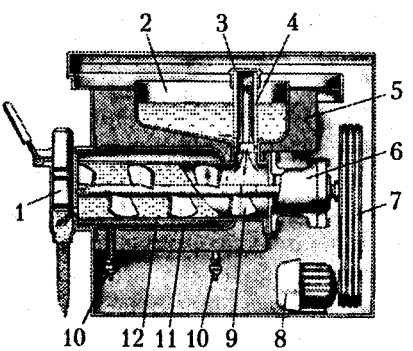


Рис. 17.5
Цилиндр фризера EFLS30.2 с приемным бункером и впускным клапаном

1 — устройство выпускное, 2 — бункер приемный, 3 — крышка впускного клапана, 4 — клапан впускной, 5 — теплоизоляция, 6 — узел привода, 7 — клиноременная передача, 8 — электродвигатель, 9 — шнек, 10 — подача хладагента, 11 — испаритель, 12 — цилиндр

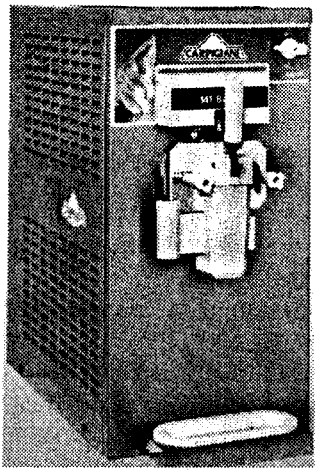
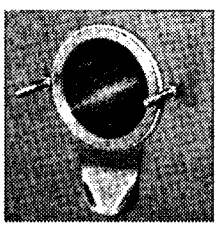


Рис. 17.6
Фризер мягкого мороженого фирмы *Carpigiani*



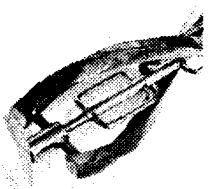


Рис. 17.7
Цилиндр фризера, нож с взбивателем (мешалка-скребок)

при низкой температуре поверхности цилиндра фризера, вал со скребком-мешалкой соединен с реле, учитывающим изменение усилия на валу. При его возрастании компрессор и электродвигатель вала скребка отключаются.

Цилиндры фризеров выполняются преимущественно горизонтально расположенными, хотя могут быть выполнены с вертикально расположенными цилиндрами.

Выдача мороженого осуществляется поворотом ручки, расположенной на передней поверхности фризера.

17.5. Производство замороженного сока на палочке

Мороженое в его традиционном виде — так называемое мороженое на палочке или замороженные соки (так называемые леденцы на палочке) в условиях торговли изготавливают посредством погружения емкостей с сиропом в хладоноситель.

Замороженный сок может быть получен, например, при помощи устройства «Lickolab» (рис. 17.8).

Основные этапы получения замороженного сока на палочке отражены на рис. 17.9.

Принцип работы устройства «Lickolab» заимствует традиционный принцип получения мороженого на палочке, который использовался в условиях работы хладокомбината. Смесь заливается в емкости. Блоки этих формочек погружают в хладоноситель, который обеспечивает отвод тепла льдообразования через стенку индивидуальной емкости с мороженым.

В отличие от мягкого мороженого в устройстве получают мороженое твердое, но не настолько, что бы его можно было бы хранить длительное время. Для целей длительного холодильного хранения мороженого в промышленных условиях его подвергают процессу «закалки». Мороженое помещают в холодильную камеру с температурой –35...–30 °С, в которой доводят температуру в центре мороженого до –18 °С или ниже.

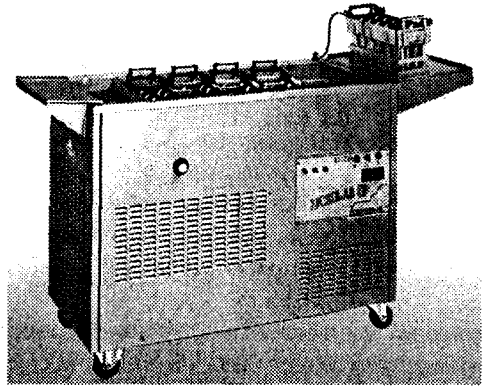


Рис. 17.8
Установка для производства замороженного сока и «мороженого на палочке»

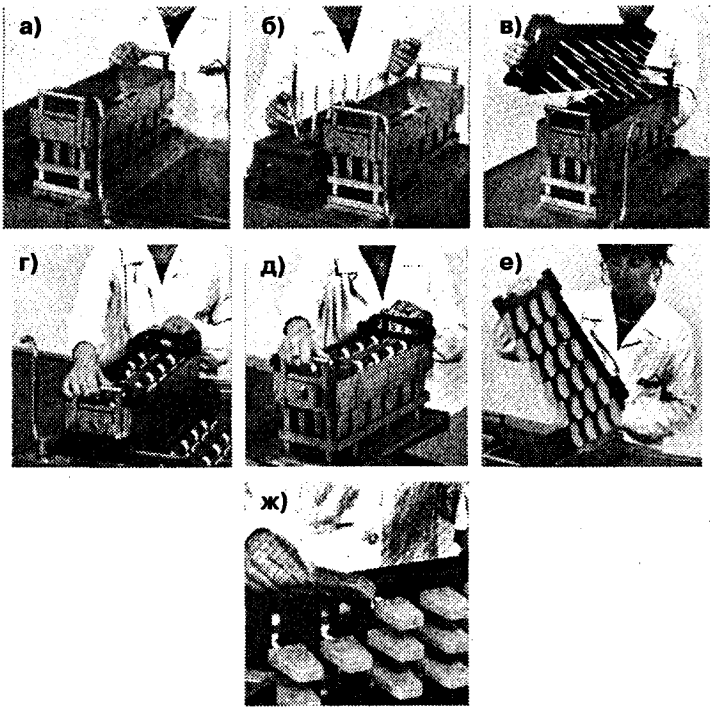


Рис. 17.9
Этапы производства замороженного сока на палочке

а) подготовка к наполнению смеси; б) установка палочек; в), г) установка емкости со смесью и палочками в аппарат; д) выгрузка замороженной смеси и освобождение от формы; е) выгрузка продукции; ж) готовая продукция

Контрольные вопросы:

1. Каким образом может быть получен прозрачный лед?
2. Каковы конструктивные отличия льдогенераторов, используемых на предприятиях общественного питания и торговле?
3. Какие технические устройства обеспечивают получение мягкого мороженого?
4. Чем отличается мягкое мороженое от замороженного сока?

Глава 18

РАСЧЕТ И ВЫБОР ТОРГОВОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

(применительно к задачам дипломного проектирования)

В связи с многообразием холодильного оборудования выбор его для предприятий общественного питания и торговли осуществляется с учетом специфики предприятия, величины товарооборота предприятия и количества товара, размещаемого в холодильном оборудовании.

При выборе оборудования оценивается совокупность качеств, удовлетворяющих решению производственных задач предприятия: целевое назначение оборудования, его габариты, температурный режим в холодильном оборудовании, стоимость, дизайн, уровень надежности, состояние оборудования (является ли холодильное оборудование новым или бывшим в употреблении) и т. д.

По назначению холодильное оборудование делится на оборудование торгового зала (витрины, прилавки, шкафы и т. д.) и оборудование подсобных помещений (шкафы, прилавки, камеры сборные и стационарные).

Для производственных целей используется специализированное холодильное оборудование: сокоохладители, гранатины, фризеры мягкого мороженого, льдогенераторы и т. д., которое может быть установлено как в торговом зале, так и в подсобных или специализированных помещениях.

18.1. Выбор количества витрин

Количество витрин, устанавливаемых в торговом зале предприятия (18.1):

$$n_{вит} = A_{отд} \cdot \frac{F_у}{F_{дем} \cdot n}, \quad n_{вит} = A_{отд} \cdot \frac{F_у}{F_{дем} \cdot n}, \qquad (18.1)$$

где

$A_{отд}$ — количество учетных единиц товара в соответствии с ассортиментом отдела, ед.;

$F_у$ — площадь, занимаемая в витрине одной учетной единицей товара, м² (табл. 18.1);

$F_{дем}$ — демонстрационная площадь витрины, м²;

n — число полок в витрине.

Полученное значение $n_{вит}$ округляется до большего целого числа.

18.2. Выбор количества шкафов

Холодильные шкафы используют для демонстрации и продажи товаров (шкафы со стеклянной дверью) и шкафы для хранения дневного запаса товаров (шкафы с непрозрачной дверью).

Холодильные шкафы *со стеклянной дверью* выбираются аналогично витринам. В качестве демонстрационной площади $F_{дем}$ принимается суммарная площадь всех полок шкафа.

Холодильные шкафы *с непрозрачной дверью* выбираются исходя из дневного темпа реализации отдела. Чаще всего они используются на предприятиях с небольшим товарооборотом и устанавливаются в подсобных помещениях. Суммарный объем холодильных шкафов с непрозрачной дверью для хранения суточного запаса продуктов находится по формуле

$$\sum V = n_{шк} \cdot V_i = n_{шк} \cdot \frac{\overline{T}_{рт}}{\overline{\rho}_{пр} \cdot \xi}, \text{ м}^3, \qquad (18.2)$$

где

$n_{шк}$ — количество шкафов;

V_i — объем одного шкафа, м³;

$\overline{T}_{рт}$ — средний суточный темп реализации товаров, кг;

$\overline{\rho}$ — средняя плотность продукта, кг/м³;

ξ — коэффициент заполнения объема шкафа.

Средняя плотность продукта ($\overline{\rho}$) зависит от вида продукта и приближенно принимается для молочных продуктов равной 800–950 кг/м³ и для мясных и овощных продуктов равной 500–900 кг/м³.

Коэффициент заполнения объема шкафа принимается равным 0,5.

18.3. Выбор количества холодильных камер

При решении комплекса вопросов, составляющих часть дипломного проекта, предполагается, в частности, размещение на имеющихся площадях предприятия стационарной одиночной или блока холодильных камер.

Таблица 18.1
Приближенное значение площади F_y, занимаемой учетной единицей товара, м²

Ассортимент	Средняя площадь F_y, занимаемая учетной единицей товара
Мясопродукты	0,04
Рыбопродукты	0,05
Гастрономия	0,03
Молочные продукты	0,02
Бакалея	0,02
Хлебобулочные и кондитерские изделия	0,04
Плодоовощные продукты	0,04
Напитки	0,02

Более простой и менее затратный способ решения задачи состоит в установке на предприятии готовой сборной холодильной камеры или группы камер. Выбор пути решения задачи определяется наличием свободных строительных площадей, пригодных для установки сборных камер. При отсутствии таковых прибегают к проектированию стационарной холодильной камеры или блока камер.

Расчет и подбор холодильного агрегата и систем охлаждения воздуха одиночной стационарной холодильной камеры или блока холодильных камер базируется на традиционной методике. Методика включает расчет сырья или готовой продукции, расчет строительной площади холодильной камеры, расчет толщины теплоизоляции ограждений, тепла, вносимого в холодильную камеру.

Холодильную машину рекомендуется выбирать в виде моноблока или сплит-ситемы (приложение, табл. 12.1, 12.2).

18.3.1. Порядок расчета одиночной стационарной холодильной камеры или блока холодильных камер

Исходные данные при проектировании

Исходными данными при проектировании стационарных холодильных камер являются: ассортимент и количество продуктов, подлежащих холодильному хранению (суточный расход продуктов), место размещения холодильных камер в контуре строительной конструкции

здания, климатические особенности, в которых проектируется холодильные камеры, и т. д.

Территориально Россия разделена на три климатические зоны. Определяющим критерием климатической зоны является среднегодо-

Таблица 18.2

Климатические данные по отдельным городам России

Город	Расчетная температура, °С		Относительная влажность воздуха, φ, %
	среднесуточная	летняя	
Архангельск	0,8	27	63
Астрахань	9,4	34	37
Воронеж	5,4	33	47
Владивосток	4,0	30	79
Екатеринбург	1,2	30	54
Иркутск	–1,1	29	58
Красноярск	0,5	30	52
Москва	4,8	30	50
Мурманск	0,0	25	63
Новосибирск	–0,1	30	56
Санкт-Петербург	4,3	27	59
Сочи	13,4	32	67
Хабаровск	1,4	32	67

Таблица 18.3

Площади охлаждаемых камер предприятий торговли

Камера хранения продукта	Норма площади, отнесенная к 10 м^2 площади торгового зала
Мясо	2,8
Рыба	2,2
Гастрономия	2,8
Вино, пиво, безалкогольные напитки	1,7
Фрукты	4,4
Овощи	2,2

вая температура наружного воздуха. Ее учитывают, например, при выборе коэффициента теплопередачи наружных ограждений. Для северной зоны она равна 0 °С, для средней зоны 1–8 °С, для южной зоны 9 °С и выше.

В тепловых расчетах используют данные о максимально высокой температуре наружного воздуха (температуре самого жаркого дня самого теплого месяца) (табл. 18.2).

Температурные режимы холодильного хранения продуктов отражены в табл. 5.1–5.3 приложения.

Порядок проектирования стационарных холодильных камер

Применение стационарных холодильных камер, как правило, обусловлено «неудобной» конфигурацией имеющейся строительной площади, которая в строительном блоке здания не позволяет рациональным образом размещать сборные холодильные камеры.

Использование стационарных холодильных камер обусловлено также возможностью их размещения в подвальных помещениях зданий. Это освобождает площади предприятия для их рационального использования в производственных целях.

Нормы и правила проектирования предприятий торговли определяются СНиП II-77-80 (Строительные нормы и правила. «Магазины. Нормы проектирования»).

Число холодильных камер предприятий торговли (магазинов) зависит от типа предприятия, его производственной мощности и ассортимента продуктов.

На предприятиях торговли холодильное оборудование составляет не менее 30% от всего оборудования торгового зала. Площади охлаждаемых камер предприятий торговли, отнесенные к 10 м^2 площади торгового зала, отражены в табл. 18.3.

При проектировании холодильной *камеры хранения кондитерских изделий* исходят из площади торгового зала, занятой под кондитерский отдел. Принимается, что 1 м^2 площади холодильной камеры приходится на 18 м^2 площади торгового зала кондитерского отдела.

Камеры холодильного хранения мяса и молочных продуктов должны иметь помещения для подготовки товаров.

Число и размеры холодильных камер предприятий общественного питания определяются типом предприятия, числом посадочных мест, особенностью работы предприятия (предприятие работает на сырье или полуфабрикатах).

Таблица 18.4

Нормы нагрузки (q_n, кг/м²) для типовых продуктов

Вид продукта	Норма нагрузки	
	магазины	предприятия общественного питания
Мясо	150	125
Рыба	300	220
Молочно-жировые продукты	300	170
Гастрономия	150	150
Фрукты, овощи	100	100
Полуфабрикаты	150	100
Кулинарные изделия	100	100
Кондитерские изделия	150	150
Пищевые отходы		200

Расчеты площадей холодильных камер опираются на расчеты меню и соответственно на продуктовую ведомость суточного расхода продукта. В простейшем случае площади холодильных камер могут быть оценены на основе нормы нагрузки продукта на 1 м² площади пола холодильной камеры.

Нормы нагрузки для типовых продуктов отражены в табл. 18.4.

Общие требования к стационарным холодильным камерам

Холодильные камеры размещают в подвалах и полуподвалах и на первых этажах предприятий общественного питания и торговли или в одноэтажных зданиях. Камеры располагают в контуре здания таким образом, чтобы они, если это представляется возможным, не имели наружных стен.

Камеры хранения сырья располагают вблизи загрузочного помещения предприятия, камеры хранения готовой продукции размещают в соответствии с принятой схемой производства.

Не рекомендуется располагать холодильные камеры под жилыми помещениями, используя перекрытие в качестве потолка камеры. В этом случае между потолком камеры и перекрытием должен быть обеспечен вентилируемый продух.

Запрещается проектировать холодильные камеры под душевыми, бойлерными и другими помещениями с существенными тепло- и влаговыделениями.

Площадь стационарной холодильной камеры должна быть не менее 6 м^2, минимальный размер камеры — не менее 2,4 м. Высоту камеры обычно принимают в интервале от 2,7 до 3,2 м. Ширина тамбура должна быть не менее 1,6 м. Как исключение в блоке холодильных камер допускается не предусматривать тамбур, если расчетная температура воздуха камеры более 2 °С.

Двери холодильных камер теплоизолируются. Ширина дверей камер и тамбура должна быть не менее 0,9 м. При применении средств механизации грузовых работ ширина двери принимается равной 1,5 м. Двери открываются со стороны камеры. Они должны открываться снаружи и изнутри.

Полы холодильных камер, имеющих температуру не ниже –2 °С, лежащие на грунте, не теплоизолируют. Однако теплоизоляция стен должна быть на 0,15 м ниже уровня пола. По периметру блока холодильных камер выполняется подсыпка из керамзитового гравия на ширину 0,5 м от наружных стен.

Камера пищевых отходов должна иметь тамбур.

Машинное отделение располагают рядом с камерами. Площадь машинного отделения принимают равной 10–15% от общей площади камер при высоте камеры не менее 2,7 м.

Для небольших по площади холодильных камер рядом с камерами предусматривается место размещения холодильного агрегата. Холодильный агрегат должен иметь защитную сетку, препятствующую доступ к нему персонала предприятия.

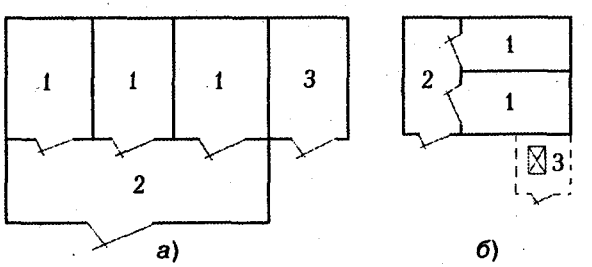


Рис. 18.1
Планировочные решения блока стационарных холодильных камер
1 — холодильные камеры, 2 — тамбур, 3 — машинное отделение (*а*) или холодильный агрегат с ограждением (*б*)

Планировочное решение блока стационарных холодильных камер зависит от количества, типа хранимого продукта, производственных возможностей предприятия. Наиболее просто решается задача создания блока холодильных камер при строительстве нового здания или сооружения.

При использовании старого строительного фонда, и особенно жилого фонда, в котором часто размещают предприятия общественного питания и торговли, приходится учитывать строительные особенности зданий. Возможно, что в этом случае холодильные камеры не всегда будут прямоугольной формы. Некоторые типы планировочных решений блока холодильных камер отражены на рис. 18.1.

Температурно-влажностные условия хранения продуктов в холодильных камерах устанавливаются на основе:

- вида пищевых продуктов, режимы хранения которых регламентируются технологическими требованиями (приложение, табл. 5.1–5.3) по температуре и относительной влажности воздуха в камере;
- географического положения предприятия. Температуру и относительную влажность устанавливают на основе данных табл. 18.2.

Температура в неохлаждаемых помещениях принимается ниже расчетной температуры наружного воздуха: в наземных этажах — на 5 °С, в подвальных помещениях — на 10 °С, в тамбурах блока холодильных камер, расположенных в наземных этажах — на 10 °С, а в подвальных помещениях — на 15 °С.

Температуру грунта на глубине 1 м принимают ниже температуры наружного воздуха на 10 °С, на глубине 2 м — на 14 °С и на глубине 3 м — на 16 °С.

При наличии наружных ограждений в блоке холодильных камер задается также ориентация камер по отношению частей света.

Строительно-изоляционные конструкции ограждений холодильных камер должны обеспечивать в холодильных камерах постоянство температурно-влажностного режима.

Для тепловой изоляции ограждений холодильных камер применяют высокоэффективные материалы, имеющие малую теплопроводность, не впитывающие влагу, несгораемые или трудносгораемые. Наиболее употребительны вспененные полимерные материалы: пенополистирол ПСБ-С, самозатухающий при горении, полиуретановый жесткий ПУ-101, поливинилхлоридный ПХВ-1, ПХВ-2, пенополиэпоксид и др.

Теплоизоляционные материалы выпускают в виде плит толщиной 25, 30, 50, 100 мм.

В качестве гидроизоляционных (пароизоляционных) материалов используют битумы, битумные мастики, рубероид и другие аналогичные материалы. Гидроизоляционные материалы устанавливают по направлению теплового потока и потока влаги (на поверхности стены или другой конструкции с более высокой температуры среды).

Задача гидроизоляции состоит в локализации потока влаги, предотвращении увлажнения теплоизоляции. Увлажнение теплоизоляции существенно увеличивает теплопроводность теплоизоляции. При этом тепловой поток в охлаждаемый объем возрастает и холодильная машина не в состоянии отвести проникающее тепло. Следствием этого является повышение температуры воздуха в охлаждаемом объеме холодильного холодильной камеры.

Наружные стены холодильных камер, использующие несущие конструкции наружного ограждения здания, выполняют толщиной от 380–510 мм. Толщина стены определяется климатической зоной расположения предприятия. Конструкция стены отражена на рис. 18.2.

Основным несущим материалом может быть кирпич (250 × 120 × × 60 мм), железобетонная плита, бетонный блок. С двух сторон на кирпич наносится штукатурка толщиной 10–20 мм, выравнивающая его поверхность.

Часть стены, находящаяся ниже грунта, покрывается битумной мастикой, на которую накладывают слой листового гидроизоляционного материала, и для защиты от механических нарушений его закрывают от грунта слоем кирпичной кладки.

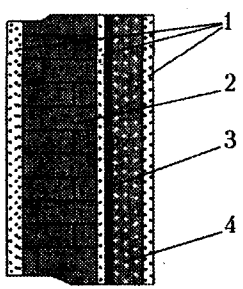


Рис. 18.2
Конструкция наружной стены
1 — штукатурка, 2 — кирпичная кладка,
3 — гидроизоляция, 4 — теплоизоляция

Внутренний слой цементной штукатурки, называемый «затиркой», покрывают не менее чем двумя слоями битума. К последнему слою битума приклеивают теплоизоляцию, которую укрепляют сеткой «рабица», закрепленной на деревянных стойках. На сетку «рабица» наносят штукатурку, по которой выкладывают керамическую плитку.

Конструкция внутренних стен холодильных камер аналогична. Отличие состоит лишь в материале и толщине конструкции. В качестве основной части конструкции может использоваться кирпич, который в зависимости от способа его укладки и с учетом толщины цементного слоя обеспечивает толщину кладки 250, 380, 510 мм, или блоки из пенобетона, которые сами являются теплоизоляционным материалом. Он производится в виде плит толщиной 150 мм и блоков размером 400 × 400 мм. Толщина штукатурки обычно составляет 20 мм, гидроизоляции — 3–5 мм.

Конструкция пола холодильной камеры, лежащей на грунте, приведена на рис. 18.3.

Конструкция пола характерна для холодильных камер с температурой воздуха не ниже –2 °С. При температуре воздуха в камере ниже –2 °С приходится кроме теплоизоляции устанавливать систему обогрева грунта. В противном случае грунт под зданием промерзнет и вследствие расширения замерзшей влаги в грунте будет наблюдаться его расширение (вспучивание). Здание может обрушиться. Поэтому по возможности низкотемпературные камеры стараются располагать на первых этажах зданий.

Конструкция пола камеры, основанием которой служит перекрытие, отражена на рис. 18.4 (а).

Несущей конструкцией пола является железобетонная плита толщиной 220 мм. Поверх плиты наносится выравнивающий слой бетонной стяжки толщиной 30–40 мм. На него настилается чистый пол из плиточного материала.

Нижняя часть железобетонной плиты покрывается слоем бетонной штукатурки (затирки) толщиной 10–15 мм, на которую наносят 2–3 слоя битума. К битуму приклеивают теплоизоляцию, которую укрепляют сеткой «рабица». По сетке наносится закрывающий ее слой штукатурки толщиной 20–25 мм. Штукатурку окрашивают, используя краску как дополнительный слой гидроизоляции.

В том случае, если холодильная камера располагается в одноэтажном здании, потолок камеры является кровлей здания.

Конструкция кровли отражена на рис. 18.4 (б). Рулонный гидроизоляционный слой укладывают на ровную подготовленную поверхность

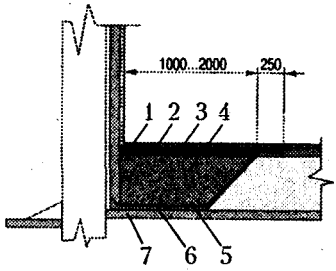


Рис. 18.3
Конструкция неизолированного пола

1 — чистый пол, 2 — армированная бетонная стяжка, 3 — керамзитобетонная стяжка, 4 — теплоизоляция (керамзитовый гравий), 5 — гидроизоляция, 6 — бетонная подготовка, 7 — уплотненный грунт со щебнем

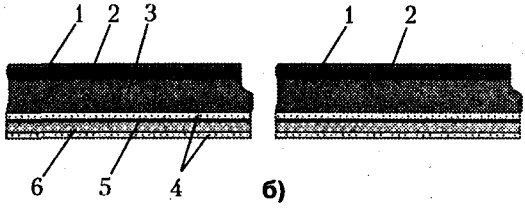


Рис. 18.4
Конструкция междуэтажного перекрытия и покрытия

а) междуэтажное перекрытие: 1 — чистый пол, 2 — бетонная стяжка, 3 — железобетонная плита, 4 — штукатурка, 5 — гидроизоляция, 6 — теплоизоляция;
б) покрытие: 1 — рулонная кровля, 2 — бетонная стяжка

(слой бетонной стяжки 2). Слои рубероида или иного материала (стеклорубероид, гидроизол) укладывают в несколько слоев на горячий битум.

Защита кровли от механических повреждений достигается покрытием ее сверху жидким битумом и подсыпкой мелкого гравия с размером частиц 5–15 мм.

Современные конструкции кровли позволяют использовать материалы в виде керамики и черепицы с креплением по деревянному брусу.

Расчет толщины теплоизоляции холодильной камеры

Толщина теплоизоляционного материала зависит от разности температур вне и внутри холодильной камеры и от интенсивности теплообмена на поверхности ограждений. Она оценивается выражением 18.3:

$$\delta_{из} = \lambda_{из}\left[\frac{1}{K}\cdot m - \left(\frac{1}{\alpha_{вн}} + \sum_{i=1}^{i=n}\frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вк}}\right)\right], \text{ м}, \qquad (18.3)$$

где

$\lambda_{из}$ — теплопроводность теплоизоляционного материала, Вт/(м · К), (табл. 18.5);

K — коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м² · К), (приложение, табл. 18.3–18.5);

m — коэффициент конструктивного качества теплоизоляционной конструкции ограждения,

$m = 1$ для заливочной и напыляемой теплоизоляции,

$m = 1{,}05$ для теплоизоляции ПСБ-С,

$m = 1{,}1$ для минераловатных плит и подобных материалов;

δ_i — толщина отдельных слоев строительной конструкции ограждения, м;

λ_i — теплопроводность отдельных слоев строительной конструкции ограждения, Вт/(м · К) (табл. 18.5);

$\alpha_{вн}$, $\alpha_{вк}$ — коэффициенты теплоотдачи по обе стороны стенки ограждения, Вт/(м² · К) (табл. 18.6).

Полученную при расчете толщину слоя теплоизоляции округляют в большую сторону до значения стандартной толщины плиточного тепло-

Таблица 18.5

Коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м · К)

Материал строительной конструкции	Коэффициент теплопроводности материала, λ
Кирпич	0,85
Бетон	1,2
Железобетон	1,5
Асфальтобетон	0,8
Цементная штукатурка	0,88
Асбоцементные листы	0,65
Облицовочная плитка на цементном растворе	0,8
Древесина	0,25
Битум	0,2
Рулонная гидроизоляция	0,3

Таблица 18.6
Коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м² · К)

Поверхность теплообмена	Коэффициент теплоотдачи
Наружные стены и бесчердачные покрытия	23,2
Чердачное перекрытие (наружная поверхность)	11,6
Пол на грунте (наружная поверхность)	∞
Перекрытия междуэтажные	7
Внутренние стены (наружная поверхность)	8
Внутренняя поверхность стен, потолка и пола камеры при конвективном теплообмене	9,3
Внутренняя поверхность стен, потолка и пола камеры при использовании воздухоохладителей	10,4

изоляционного материала. Искомая толщина изоляции может быть получена набором отдельных слоев изоляционного материала.

Тепловой расчет холодильных камер складывается из оценки составляющих теплового баланса: Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Вт.

Q_1 — тепло, проникающее в холодильную камеру через ограждения (стены, потолок и пол), Вт. Этот теплоприток складывается из тепла, проникающего в ходильную камеру за счет разности температур по обе стороны ограждения Q_1' и за счет солнечной радиации Q_1'', Вт.

Теплоприток под действием разности температур оценивают на основе выражения 18.4:

$$Q_1' = K \cdot F \cdot (t_н - t_{вк}), \text{ Вт}, \qquad (18.4)$$

где

$t_н$, $t_{вк}$ — температура воздуха вне и внутри холодильной камеры, °С;

F — площадь поверхности ограждения, м².

Размеры камеры для оценки площади поверхности ограждения принимают (рис. 18.5) исходя из следующих рекомендаций:

- длину наружных стен угловых камер принимают от наружной поверхности наружных стен до оси внутренних стен; для неугловых камер — между осями внутренних стен;
- длину внутренних стен принимают между внутренней поверхностью наружных стен и осью внутренних стен либо между осями внутренних стен;

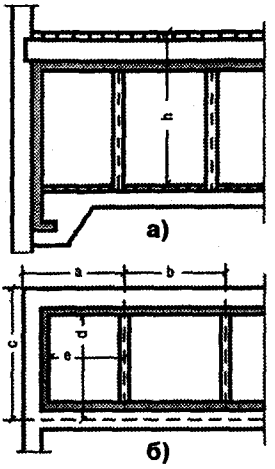


Рис. 18.5
Определение линейных размеров холодильных камер
а) камеры в разрезе; б) — камеры в плане

- расчетную высоту ограждения принимают от уровня чистого пола камеры до уровня чистого пола вышележащего этажа;
- длину и ширину пола и потолка принимают, как для внутренних стен.

Теплоприток от нетеплоизолированного грунта оценивается выражением 18.5.

$$Q_1' = K_{усл} \cdot F \cdot (t_{гр} - t_{вк}), \text{ Вт}, \qquad (18.5)$$

где $K_{усл}$ — условный коэффициент теплопередачи, значения которого представлены в табл. 18.7.

Таблица 18.7
Условный коэффициент теплопередачи для нетеплоизолированных полов

Место размещения камеры	Значения $K_{усл}$ для камер	
	с наружными стенами	без наружных стен
Первый этаж	0,46	0,35
Полуподвал	0,35	0,23
Подвал	0,23	0,12

Таблица 18.8

Сводная таблица расчета теплопритока Q_1

№ п/п	Наименование камеры	Наименование ограждения	Длина, м	Ширина или высота, м	Поверхность, м²	K, Вт/(м²·К)	$t_{вк}$, °С	$t_{нн}$, °С	$t_{нн} - t_{вк}$, °С	Δt_c, °С	Q_1', Вт	Q_1'', Вт	$Q_1 = Q_1' + Q_1''$, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Теплоприток под действием солнечной радиации находится из выражения 18.6:

$$Q_1'' = K_c \cdot F \cdot \Delta t_c, \text{ Вт}, \qquad (18.6)$$

где Δt_c — избыточная разность температур, характеризующая действие солнечной радиации.

Теплопритоки от солнечной радиации учитывают только применительно к кровле и одной из стен, максимально подвергающейся солнечному облучению.

Величина Δt_c для кровли, покрытой толем, асфальтом, составляет 18,5 °С, для кровли, покрытой темным рубероидом, — 18,7 °С, для кровли, покрытой светлым рубероидом, — 14,9 °С.

Для кирпичных стен зданий Δt_c может быть принята равной 11 °С, для бетонных стен — 9,8 °С, для оштукатуренных стен со светлой штукатуркой — 6,0 °С, с темной штукатуркой — 8,5 °С.

Суммарное значение теплопритока $Q_1 = Q_1' + Q_1''$ определяют для каждого ограждения в отдельности для всех камер холодильника. Результаты расчета сводят в таблицу по форме табл. 18.8.

В графе 3 табл. 18.8 записывают сокращенное название ограждений, например:

- НСС — наружная стена северная;
- ВС — внутренняя стена камеры.

Теплопритоки от продуктов оценивают выражением 18.7:

$$Q_2 = G \cdot (i_н - i_{вк}) \cdot 0{,}01157, \text{ Вт}, \qquad (18.7)$$

где

G — продукт, подлежащий охлаждению, кг/сут.;

$i_п$, $i_{вк}$ — энтальпии продуктов при температуре поступления и температуре воздуха холодильной камеры, кДж/кг.

Значение G принимается из соотношения 18.8:

$$G = G' \cdot m_i, \text{ кг/сут.}, \quad (18.8)$$

где

G' — суточное поступление продукта в холодильную камеру, кг/сут;

m_i — коэффициент, учитывающий длительность хранения продукта. При i = 1–2 сут. m = 1; при i = 3–4 сут. m = 0,6; при i > 4 сут. m = 0,4.

Температуру поступающих продуктов при доставке их изотермическим транспортом принимают равной: мороженых — –6 °С, охлажденных — 5 °С.

При доставке неохлажденных продуктов температуру принимают на 6–8 °С ниже температуры наружного воздуха.

При доставке продуктов в таре учитывают теплоприток от тары Q_2', Вт:

$$Q_2' = G_т \cdot c_т \cdot (t_т - t_{вк}) \cdot 0{,}01157, \text{ Вт}, \quad (18.9)$$

где

$G_т$ — суточное поступление тары, кг/сут.;

$c_т$ — теплоемкость тары, Дж/(кг · К).

Теплоемкость деревянной тары 2,5 кДж/(кг · К), картонной — 1,46 кДж/(кг · К), металлической — 0,46 кДж/(кг · К), стеклянной — 0,84 кДж/(кг · К).

Таблица 18.9

Плотность воздуха, кг/м³

Температура воздуха, °С	–50	–40	–20	–10	0	10	20	30
Плотность воздуха, ρ	1,584	1,515	1,395	1,342	1,293	1,247	1,205	1,165

Таблица 18.10

Результаты теплового расчета

№ п/п	Номер камеры	Наименование камеры	Теплопритоки, Вт				
			Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	$\Sigma Q_{кам}$
1	2	3	4	5	6	7	8

Масса тары $G_т$ составляет: 10% от массы продуктов применительно к картонной таре, 20% — для стальной и деревянной и 100% — для стеклянной.

Теплоприток Q_2 суммируется с Q_2'.

Теплоприток от наружного воздуха при вентиляции в камерах, предназначенных для хранения свежих фруктов и овощей, квашений и солений, определяется по формуле 18.10:

$$Q_3 = V_к \cdot \rho_{вк} \cdot (i_{вн} - i_{вк}) \cdot 0{,}01157, \text{ Вт}, \qquad (18.10)$$

где

$V_к$ — строительный объем камеры, м³;

$\rho_{вк}$ — плотность воздуха при температуре воздуха камеры, кг/м³ (табл. 18.9);

$i_{вн}$, $i_{вк}$ — энтальпии наружного воздуха и воздуха холодильной камеры, кДж/кг. Теплосодержание воздуха оценивают при помощи *i—d*-диаграммы влажного воздуха (приложение, рис. 3.1).

Эксплуатационные теплопритоки (Q_4, Вт) принимают в размере 10–40% от суммы теплопритоков ($Q_1 + Q_3$, Вт).

Результаты теплового расчета сводят в таблицу по форме табл. 18.10.

Суммарные теплопритоки по каждой камере $\Sigma Q_{кам}$ служат для оценки площади поверхности камерных приборов охлаждения (испарителей и воздухоохладителей). Суммарные теплопритоки по группам камер с одинаковой или близкой температурой либо по блоку холодильных камер в целом используются для расчета и подбора холодильных агрегатов, моноблочных холодильных машин или сплит-систем.

18.3.2. Расчет теплопритоков в камеру пищевых отходов

Расчет теплопритоков в камеру пищевых отходов выполняется по укрупненным данным:

$$Q_{ко} = q_f \cdot F_{ко}, \text{ Вт}, \qquad (18.11)$$

где

$q_f = 120–130$ — теплоприток, отнесенный к квадратному метру строительной площади пола камеры пищевых отходов, Вт/м²;

$F_{ко}$ — строительная площадь камеры отходов, м².

Режим работы холодильного оборудования на предприятиях общественного питания несущественно отличается от стандартного, поэтому холодильное оборудование подбирают по рабочей холодопроизводительности, установленной на основании теплового расчета:

$$Q_{\text{о. раб}} = \frac{\sum Q}{b \cdot \varphi}, \text{ Вт}, \qquad (18.12)$$

где

ΣQ — суммарные теплопритоки по всему блоку холодильных камер или группы камер, обслуживаемых одним агрегатом, Вт;

$b = 0{,}5–0{,}75$ — коэффициент рабочего времени;

$\varphi = 0{,}9–0{,}95$ — коэффициент, учитывающий теплопритоки в системе трубопроводов.

Один холодильный агрегат рекомендуется устанавливать не более чем на две холодильные камеры.

Для камеры пищевых отходов подбирается отдельный холодильный агрегат.

Камерное холодильное оборудование — испарители и воздухоохладители подбираются по теплопередающей поверхности F_o, м^2:

$$F_o = \frac{\sum Q_{\text{кам}}}{K_o \cdot \Delta t}, \text{ м}^2, \qquad (18.13)$$

где

$\Sigma Q_{\text{кам}}$ — тепловая нагрузка на камерные приборы охлаждения по каждой камере в отдельности (из сводной таблицы теплового расчета), Вт;

K_o — расчетный коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2 · К):

$K_o = 4–6$ — для испарителей,

$K_o = 12–17$ — для воздухоохладителей;

$\Delta t = t_{\text{вк}} - t_o$ — расчетная разность температур между температурой воздуха в холодильной камере и температурой кипения холодильного агента, °С:

$\Delta t = 10–15$ — для холодильной машины с испарителем, °С,

$\Delta t = 9–11$ — для холодильной машины с воздухоохладителем, °С.

Выбор холодильного оборудования основан на оценке суммарной величины теплопритоков. Тип испарителя и воздухоохладителя выбирают на основе справочного материала.

18.3.3. Структура упрощенного теплового расчета стационарных холодильных камер

При проектировании блока стационарных холодильных камер, планировочное решение которых определяется конфигурацией имеющегося здания или сооружения, в котором они размещаются, осуществ-

ляется полный тепловой расчет. Вместе с тем если преследуется цель *только приближенной оценки теплопритоков в холодильную камеру*, то тепловой расчет может быть упрощен.

При выполнении теплового расчета руководствуются следующими рекомендациями:

- q_1 — теплоприток в холодильную камеру через ограждения; оценивается по разности температур между температурами наружного воздуха и температурой воздуха в холодильной камере. При этом коэффициент теплопередачи для всех ограждений принимается равным 0,4 Вт/(м² · К);
- q_2 — удельный расход холода на охлаждение продуктов; составляет для камер хранения мяса 23,5 Вт/м², молочно-жировых продуктов, мясной и рыбной гастрономии, рыбы и овощей — 41,0 Вт/м², кулинарных и кондитерских изделий, полуфабрикатов, напитков, фруктов, пищевых отходов — 58 Вт/м²;
- q_3 — удельный расход холода на вентиляцию в камерах хранения растительного сырья; принимают равным 2,4 Вт/м²;
- q_4 — удельная величина эксплуатационных теплопритоков для холодильных камер хранения мяса, птицы, гастрономических, молочно-жировых продуктов, овощей, фруктов, вод и отходов; принимают равной 12,0 Вт/м², для камер полуфабрикатов, кулинарии и кондитерских изделий — 31 Вт/м².

При непосредственном охлаждении камер к этим нормам (на неучтенные потери) добавляют 5–7%, при рассольном охлаждении — 7–12%.

Далее, как и ранее, по сумме теплопритоков $\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ осуществляется подбор холодильного оборудования.

Для стационарных холодильных камер площадью более 20 м² расчет может быть еще более упрощен. Для одиночных или группы стационарных холодильных камер, каждая из которых площадью более 20 м², сумма всех теплопритоков оценивается по удельной суммарной величине теплопритоков, отнесенных к площади пола помещения (табл. 18.11).

Таблица 18.11

Приближенный суммарный расход холода по камере

Температура в камере, °С	+1...+6	–4...0	–18...–13
Удельный расход холода q, Вт/м²	90–100	120–130	200–240

Внимание!

В приближенном расчете теплопритоков не учитывается процесс домораживания продуктов, например от температуры продукта –6 до –12 °С. Полное замораживание продуктов в холодильной камере недопустимо. Для этой цели используются только специализированные холодильные камеры, обеспеченные холодильной машиной соответствующей холодопроизводительности.

При необходимости замораживания продуктов в специализированных холодильных камерах, при их тепловом расчете следует оценивать все теплопритоки $\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_{зам}$, включая тепло замораживания продукта $Q_{зам}$. При этом, однако, следует знать, что при отсутствии надлежащей организации процесса замораживания длительность замораживания будет существенно выше той, которую обеспечивает специализированное холодильное оборудование. Равным образом сказанное касается процесса организованного охлаждения продуктов в холодильной камере.

Холодопроизводительность холодильной машины устанавливают аналогично методике, представленной ранее.

18.4. Расчет и подбор холодильного оборудования сборных холодильных камер

При выборе холодильного оборудования, и прежде всего сборных холодильных камер для предприятий общественного питания и торговли, вместе с холодильной камерой заказчику в комплекте поставляется холодильная машина, обеспечивающая технологически заданный режим хранения продуктов.

Для решения более широкого спектра технологических задач кроме холодильного хранения, например для охлаждения или замораживания продуктов в холодильной камере, она может быть модифицирована и к ней на основе теплового расчета подбирается индивидуальное холодильное оборудование.

Расчет и подбор холодильного оборудования для сборной холодильной камеры представляет не только методологический, но и практический интерес. Рассматриваемая методика является типовой для подбора холодильной машины торгового холодильного оборудования.

Расчет и на его основе подбор одиночной сборной холодильной камеры сводится к оценке холодопроизводительности холодильного агрегата или холодильной машины, которая выбирается на основе расчета составляющих теплового баланса. Холодильную машину выбирают в виде моноблока или сплит-системы.

Количество холодильных камер определяется количеством товарных групп, не допускающих совместного хранения, и размером товарных запасов камеры для каждой товарной группы, требующей отдельного хранения в течение суток:

$$V_{i.кам} = F_{гр} \cdot H_{кам} \cdot \varphi = \left(\frac{T_i}{q_i} \cdot N_{дн} \right) \cdot H_{кам} \cdot \varphi, \text{ м}^3, \qquad (18.14)$$

где

$F_{гр}$ — грузовая площадь холодильной камеры, м^2;

$H_{кам} = 2$ — высота камеры, м;

$\varphi = 1{,}5$ — коэффициент использования площади камеры;

$N_{дн}$ — число дней хранения продуктов, сут. (приложение, табл. 5.1);

T_i — дневной темп реализации по данной товарной группе, кг/сут.;

q_i — норма нагрузки продукта на пол, кг/м^2 (приложение, табл. 5.1).

Если ряд товаров допускает совместное хранение, то общий объем для этих камер равен:

$$V_{i.кам} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} T_i}{q_f} \cdot N_{дн} \cdot H_{кам} \cdot \varphi, \text{ м}^3, \qquad (18.15)$$

где i — количество товарных групп от одной ($i = 1$) до n ($i = n$).

После расчета $V_{i.кам}$ выбирается ближайшая, большая по объему, сборная холодильная камера.

Структура теплового расчета сборных холодильных камер

Общее количество тепла, поступающего в холодильную камеру ΣQ_o, определяется выражением (18.16):

$$\sum Q_o = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{дых} + Q_{зам} + Q_4, \text{ Вт}, \qquad (18.16)$$

где

Q_1 — количество тепла, проникающего через наружное ограждение, Вт;

Q_2 — количество тепла, вносимого в камеру с продуктом, Вт;

Q_3 — количество тепла, проникающего в камеру при открывании дверей, Вт;

$Q_{дых}$ — теплопритоки, образующиеся при «дыхании» продуктов растительного происхождения, Вт;

$Q_{зам}$ — тепло домораживания или замораживания продуктов, Вт;
Q_4 — эксплуатационные теплопритоки, Вт.
Теплоприток через наружное ограждение:

$$Q_1 = k \cdot F \cdot (t_{вн} - t_{вк}), \quad (18.17)$$

где

k — коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м² · К);
F — площадь поверхности ограждения, м²;
$t_{вн}$, $t_{вк}$ — температуры воздуха снаружи холодильной камеры и внутри нее, °С.

Средняя температура воздуха снаружи холодильной камеры соответствует 18–22 °С. При выполнении расчета температура снаружи холодильной камеры, равная 22 °С, предпочтительнее, поскольку в конечном итоге позволяет оценить запас холодопроизводительности комплектного холодильного агрегата или холодильной машины.

Температура воздуха в холодильной камере определяется технологическими требованиями к хранению продукта или группы продуктов.

Средняя величина коэффициента теплопередачи принимается равной 0,4 Вт/(м² · К).

Площадь поверхности сборной холодильной камеры F, м², оценивается по наружным габаритным размерам камеры.

Таблица 18.12
Кратность воздухообмена в камере

Внутренний объем камеры, м³	Температура воздуха в камере	
	ниже 0 °С	выше 0 °С
2,5	62	70
3,0	47	63
4,0	40	55
6,0	35	47
7,5	28	38
10	24	32
15	19	26
20	16,5	22
25	14,5	19,5

Количество тепла, вносимое в камеру с продуктом:

$$Q_2 = M \cdot c \cdot (t_{пн} - t_{пк}) \cdot 0{,}01157, \text{ Вт}, \quad (18.18)$$

где

M — суточное поступление продуктов в камеру, кг/сут.;

c — удельная теплоемкость продукта поступающего на хранение, кДж/(кг · К);

$t_{пн}$, $t_{пк}$ — температура поступающего продукта и продукта при температуре воздуха камеры, °С.

Температуру поступающих неохлажденных продуктов принимают на 5–7 °С ниже температуры наружного воздуха. Для Санкт-Петербурга температуру наружного воздуха принимают равной 27 °С. Температуру поступающих на хранение охлажденных продуктов принимают 6–8 °С, замороженных — не выше –10 °С.

Количество тепла, проникающего в камеру при открывании дверей:

$$Q_3 = V \cdot \rho \cdot n \cdot (i_{вн} - i_{вк}) \cdot 0{,}01157, \text{ Вт}, \quad (18.19)$$

где

V — объем камеры, м^3;

ρ — плотность воздуха при температуре воздуха, окружающего холодильную камеру, кг/м^3 (приложение, табл. 18.2);

n — суточная кратность воздухообмена, 1/сут.;

$i_{вн}$, $i_{вк}$ — теплосодержание воздуха вне и внутри камеры, кДж/кг.

Теплосодержание воздуха оценивают при помощи i—d-диаграммы влажного воздуха (приложение, рис. 3.1).

Кратность воздухообмена в камере в зависимости от ее внутреннего объема и температуры воздуха в ней приведена в табл. 18.12.

Теплопритоки при «дыхании» фруктов и овощей:

$$Q_{дых} = M \cdot q \cdot 0{,}01157, \text{ Вт}, \quad (18.20)$$

где

M — масса плодов или овощей, находящихся в камере в течение суток, кг;

q — удельное тепловыделение плодами и овощами при «дыхании», кДж/(кг · сут.) (приложение, табл. 18.1).

Теплопритоки на домораживание или замораживание продукта в холодильной камере:

$$Q_{зам} = M \cdot q_з \cdot 0{,}01157, \text{ Вт}, \quad (18.21)$$

где $q_з$ — удельная теплота замораживания, кДж/(кг · сут.).

Таблица 18.13
Тепловыделения от людей

Температура воздуха камеры, °С	10	5	0	–5	–10	–15	–20	–25
Тепловыделения, кВт	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33	0,36	0,39	0,42

Величины удельной теплоты «дыхания» и замораживания отдельных плодов и овощей отражены в приложении, табл. 18.1.

Эксплуатационные теплопритоки Q_4 включают ($Q_4 = Q_{люд} + Q_{осв} + Q_{вен}$):

- тепло от пребывания в камере людей $Q_{люд}$ при загрузке и выгрузке продуктов:

$$Q_{люд} = n \cdot q \cdot \tau_1 / 24, \text{ Вт}, \qquad (18.22)$$

где

n — число людей, работающих в холодильной камере;

q — тепловыделения от одного человека, кВт;

τ_1 — продолжительность пребывания людей в камере, ч.

Тепловыделения от одного человека, находящегося в камере, в зависимости от температуры в ней приведены в табл. 18.13;

- тепловыделения от освещения $Q_{осв}$ определяются исходя из мощности лампы и продолжительности ее работы в течение суток (τ_2 от 0,4 до 5 ч):

$$Q_{осв} = N \cdot \tau_2 / 24, \text{ Вт}, \qquad (18.23)$$

где N — мощность электрической лампочки (Вт) при продолжительности ее работы τ_2 (ч);

- тепловыделения от работы электродвигателя вентилятора:

$$Q_{вен} = N_{вен} \cdot \tau_{вен} / 24, \text{ Вт}, \qquad (18.24)$$

где $N_{вен}$ — мощность электродвигателя вентилятора, Вт. Длительность работы вентилятора в сутки принимают равной $\tau_{вен}$=16 ч.

Методика оценки количества тепла, поступающего в объем холодильного шкафа или закрытого прилавка, аналогична. В расчет не включают теплопритоки от пребывания людей.

Холодопроизводительность холодильной машины:

$$Q_{\text{о.хм}} = \frac{\sum Q_{\text{о}}}{b \cdot \varphi}, \text{ Вт}, \qquad (18.25)$$

где b — коэффициент рабочего времени холодильной машины ($b = 0{,}75$);

φ — коэффициент, учитывающий потери тепла в трубопроводах ($\varphi = 0{,}9$).

По величине $Q_{\text{о.хм}}$ осуществляется выбор холодильной машины.

18.5. Тепловыделения в помещениях с холодильными агрегатами

Выносные холодильные агрегаты для холодильных камер принято устанавливать в специальном помещении (машинном отделении). В ряде случаев для этих целей используют строительные ниши помещений.

В торговом зале, в котором расположено холодильное оборудование со встроенными холодильными машинами, или в машинном помещении тепло конденсации сообщается воздуху. При отсутствии надлежащей вентиляции в торговом зале или машинном помещении воздух нагревается. Температура воздуха может выйти за пределы условий комфортного пребывания в зале покупателей, что не лучшим образом отразится на товарообороте предприятия.

Кроме того, повышение температуры воздуха приводит к повышению температуры конденсации в конденсаторе холодильной машины, повышению температуры кипения холодильного агента в испарителе и соответственно температуры воздуха в охлаждаемом объеме торгового холодильного оборудования.

В торговых залах крупных магазинов или ресторанах целесообразность установки систем кондиционирования воздуха не вызывает сомнения. Сдерживающим фактором в применении кондиционеров является энергетическая сторона вопроса, т. е. проблема окупаемости суммарных затрат на приобретение и эксплуатацию систем кондиционирования. Естественно, что предложение к установке кондиционера в торговом зале может касаться только крупных предприятий торговли и ресторанов системы общественного питания. В иных случаях в замкнутых помещениях с расположенными холодильными агрегатами устанавливают системы вентиляции воздуха помещений.

Если помещение является *замкнутым*, то следует использовать систему локальной или централизованной принудительной вентиляции.

Если двери этого помещения выполнены в виде металлической решетки или холодильный агрегат установлен в строительной нише, закрытой решеткой, что обеспечивает свободный доступ холодного воздуха из коридора к холодильному агрегату, то *дополнительное вентилирование помещения не применяется.*

Для небольших предприятий общественного питания возможно применение оконных, в том числе бытовых, вентиляторов, работающих на удаление теплого воздуха.

Полнообъемная система принудительной вентиляции принимается из расчета 0,17 м³/с (600 м³/ч) на 1 кВт холодопроизводительности холодильной машины.

Полнообъемные вентиляционные системы применяются для торговых залов предприятий общественного питания с числом посадочных мест более 50. При меньшем числе посадочных мест традиционно применяют вентиляционные системы без организованного движения воздуха.

18.6. Оценка кратности вентилирования помещений

Для помещений с хладоновыми холодильными машинами рекомендуемая кратность воздухообмена по притоку должна составлять не менее 3, а по вытяжке — 4 в час.

Кратность воздухообмена в помещении с холодильными агрегатами оценивают в следующей последовательности:

- оценивается расход воздуха через конденсатор:

$$V_{\text{кон}} = \frac{Q_{\text{к}}}{\rho \cdot c \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{вмо}})}, \text{ м}^3/\text{с}, \qquad (18.26)$$

где

$Q_{\text{к}}$ — тепловыделение на конденсаторе или группы конденсаторов, Вт;

ρ — плотность воздуха, кг/м³ ($\rho \approx 1{,}28$ кг/м³);

c — теплоемкость воздуха, Дж/(кг · К), ($c = 1005$ Дж/(кг · К));

$t_{\text{к}}$ — температура конденсации и воздуха в помещении с расположенным холодильным агрегатом, °С. Разность температур для хладоновых воздушных конденсаторов в среднем составляет 10–12 °С, аммиачных — 9–11 °С.

- оценивается внутренний объем помещения, в котором размещается холодильный агрегат (агрегаты):

$$V_{пом} = a \cdot b \cdot h, \text{ м}^3, \quad (18.27)$$

где a, b, h — длина, ширина и высота помещения, м;

- оценивается кратность вентилирования помещения:

$$n = \frac{V_{кон}}{V_{пом}}, \text{ с}^{-1}, \quad (18.28)$$

где n — кратность воздухообмена, $с^{-1}$. На практике эту величину оценивают как число воздухообменов в час, $ч^{-1}$.

Контрольные вопросы:

1. Что является основой для расчета и выбора холодильных витрин?
2. Что является основой для расчета и выбора холодильных шкафов?
3. Какова структура теплового расчета стационарных холодильных камер?
4. Чем отличается расчет стационарных и сборных холодильных камер?
5. Каким образом осуществляют расчет и подбор основных элементов холодильной машины холодильных камер?
6. В чем специфика расчета холодильной машины для камеры пищевых отходов?
7. В чем состоит смысл установки систем кондиционирования в торговых залах предприятий общественного питания и торговли? В каких случаях это действие целесообразно?

Глава 19
ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ

19.1. Эксплуатационные особенности централизованных систем холодоснабжения

Большинство современных торговых предприятий, крупных универсамов, работающих по принципу самообслуживания, оснащено централизованными системами холодоснабжения (рис. 19.1).

Они поддерживают заданные температурные режимы во всем торговом холодильном оборудовании универсама.

Использование централизованных систем холодоснабжения считается целесообразным, если суммарная площадь торговых залов магазина составляет 400 м^2 и более. Вместе с тем, как правило, современный универсам располагает еще и подсобными помещениями, в которых располагаются холодильные камеры для хранения товарного запаса, а также производственными цехами для приготовления полуфабрикатов. В этом случае использование централизованных систем холодоснабжения становится целесообразным и при меньшей суммарной площади торгового зала.

Централизованные системы холодоснабжения представляют собой многокомпрессорные агрегаты с параллельно включенными компрессорами. Они отличаются высокой экономичностью, надежностью и низкими эксплуатационными затратами по сравнению с системами, в которых холодоснабжение осуществляется посредством компрессорно-конденсаторных холодильных агрегатов, встроенных в торговое холодильное оборудование.

Централизованные многокомпрессорные агрегаты (рис. 19.2) обладают целым рядом достоинств.

Они обеспечивают:

- экономию электроэнергии благодаря применению крупных компрессоров с более высоким КПД, а также благодаря регулирова-

нию производительности в зависимости от реальной тепловой нагрузки;

- высокую надежность холодоснабжения за счет резервирования холодопроизводительности;
- значительное увеличение (в 4–6 раз) долговечности компрессоров за счет равномерной наработки их ресурса;
- снижение затрат на систему кондиционирования и вентиляции благодаря отсутствию теплоотдачи от холодильного оборудования не только в торговом зале, но и в подсобных помещениях;
- повышение уровня комфорта в торговом зале и в подсобных помещениях за счет отсутствия шума от работы холодильных агрегатов;

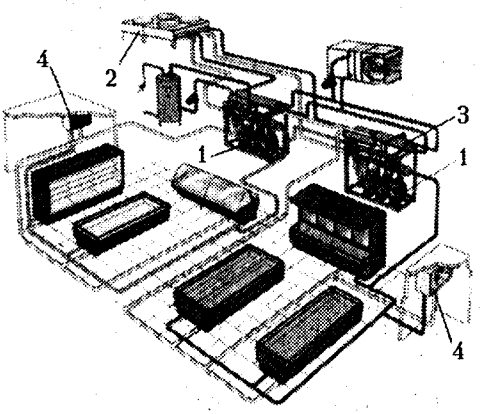


Рис. 19.1
Система централизованного холодоснабжения магазина «Универсам»

1 — блоки компрессоров (холодильные централи), 2 — выносной конденсатор, 3 — теплообменник, 4 — воздухоохладитель

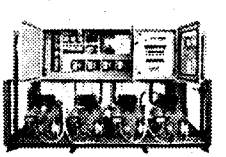


Рис. 19.2
Блок холодильных компрессоров (холодильная централь)

- снижение эксплуатационных издержек, повышение эффективности контроля, диагностирования и регулирования всех технологических параметров режима работы;
- проведение технического обслуживания холодильного оборудования, не мешая нормальной работе торговых залов.

Как правило, система централизованного холодоснабжения крупного универсама состоит из двух многокомпрессорных агрегатов, устанавливаемых в машинном отделении, и двух вынесенных конденсаторов воздушного охлаждения, которые размещаются вне помещений (обычно на стене или на крыше здания).

Один из агрегатов обеспечивает холодом все среднетемпературное, а другой — все низкотемпературное оборудование универсама. Количество компрессоров, устанавливаемых в одном агрегате, варьирует от двух до шести в зависимости от требуемой холодильной мощности и особенностей системы потребителей холода.

С целью сокращения площади, занимаемой агрегатами централизованного холодоснабжения, некоторые фирмы изготавливают комплекс-

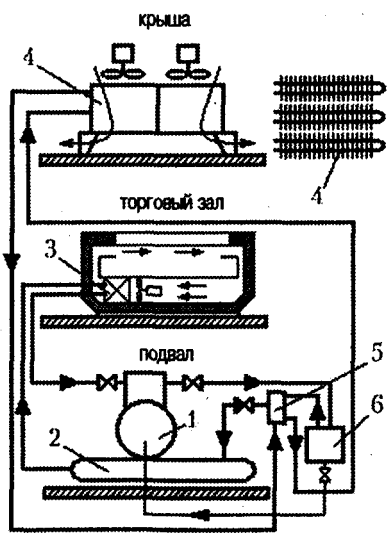


Рис. 19.3
Система централизованного холодоснабжения
1 — компрессор, 2 — ресивер, 3 — воздухоохладитель, 4 — многосекционный конденсатор, 5 — регулятор давления, 6 — маслоотделитель

ные мультикомпрессорные системы, обеспечивающие холодом одновременно средне- и низкотемпературных потребителей. В таких системах входящие в них средне- и низкотемпературные компрессоры устанавливают на единой раме и, как правило, через общий маслоотделитель подключают к единому выносному конденсатору. Это конструкторское решение позволяет в 2–2,5 раза сократить площадь машинного отделения, а в некоторых случаях является единственно возможным инженерным решением.

Когда в планировке универсама в силу дефицита площадей нет машинного отделения, используют специальные многокомпрессорные агрегаты, обычно конструктивно объединенные с воздушным конденсатором, устанавливаемые вне помещений. Такие агрегаты, оснащенные тепло- и звукоизолирующим кожухом, не требуют создания дополнительного внешнего ограждения и могут работать при температурах окружающего воздуха до –40°С. Однако эта система является дорогостоящей и в силу этого менее употребительной сравнительно с традиционной компоновкой элементов системы централизованного холодоснабжения.

Общий принцип компоновочного решения элементов системы централизованного холодоснабжения отражен на рис. 19.3.

Схема холодоснабжения с централизованным выносным конденсатором, несмотря на бесспорные ее достоинства, касающиеся решения проблем шума и тепловыделений, имеет некоторые особенности, требующие разрешения.

Проблемы в основном связаны с температурным режимом работы холодильной машины. Чем ниже температура воздуха, омывающего конденсатор (температура воздуха на улице), тем ниже температура конденсации ($t_{к2} < t_{к1}$) (рис. 19.4) и соответственно меньше давление конденсации отличается от давления кипения.

При низкой температуре воздуха, омывающего конденсатор (обычно ниже $t_в = 0$ °С, а тем более при температуре, равной или ниже температуры кипения холодильного агента в испарителе торгового холодильного оборудования), холодильное оборудование неработоспособно.

Поэтому при работе конденсатора в системе централизованного холодоснабжения и установленного на открытом воздухе приходится принудительно повышать давление конденсации.

Повышение давления конденсации обеспечивается посредством автоматического отключения части поверхности конденсатора и перепуском паров из компрессора непосредственно в ресивер, минуя конденсатор.

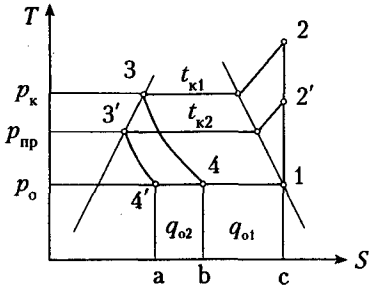


Рис. 19.4
Иллюстрация работы конденсатора в системе централизованного холодоснабжения

При высокой температуре воздуха, омывающего конденсатор, движение холодильного агента переключается на стандартный режим работы холодильной машины с включением всей площади теплообмена и вентиляторов конденсатора.

Пары холодильного агента из компрессора 1 (рис. 19.3) поступают в маслоотделитель 6, проходят через регулятор давления 5 и далее в конденсатор 4. Жидкий холодильный агент сливается в ресивер 2. Из ресивера холодильный агент поступает в воздухоохладитель прилавка, кипит, превращаясь в пар. Пары холодильного агента удаляются их воздухоохладителя компрессором 1.

При низкой температуре воздуха, омывающего конденсатор, холодильный агент поступает в конденсатор в меньшем количестве. Некоторое его количество после маслоотделителя через клапан 5 направляется непосредственно в ресивер 2, обеспечивая в нем высокое давление холодильного агента, необходимое для нормальной работы холодильной машины.

19.2. Утилизация теплоты, отводимой воздушными конденсаторами

В системах централизованного холодоснабжения с конденсаторами, установленными на открытом воздухе, тепло работы холодильной машины бесполезно рассеивается в воздухе. Поэтому естественно стремление использовать это теряемое тепло.

Впервые схемы утилизации теплоты были разработаны европейскими фирмами, так как в Европе сложились более высокие цены на электроэнергию в сравнении с ценами в США.

Холодильное оборудование может быть использовано для отопления торговых залов крупных продовольственных магазинов. Системы, использующие тепло работы холодильной машины, позволяют сократить общее энергопотребление в магазине на 20–30%.

Цель создаваемых технических средств состоит в использовании максимально возможного количества тепла, выделяемого холодильной машиной в окружающую среду.

Тепло может передаваться в торговый зал непосредственно потоком теплого воздуха от конденсатора (рис. 19.5) или использоваться для получения теплой воды, пригодной для технических нужд (рис. 19.6).

Воздух в зимнее время в торговый зал магазина нагревается посредством его движения через конденсатор 3. Компрессор и ресивер холодильной машины располагаются в машинном отделении, а конденсатор расположен в воздушном канале, оборудованном системой регулирования потока воздуха при помощи жалюзи 5. Воздух из торгового зала через всасывающую решетку 10 поступает в конденсатор через фильтр 2. В зимнее время правые жалюзи 5 закрыты и теплый воздух поступает в торговый зал. В летнее время левые жалюзи закрыты и теплый воздух выбрасывается наружу.

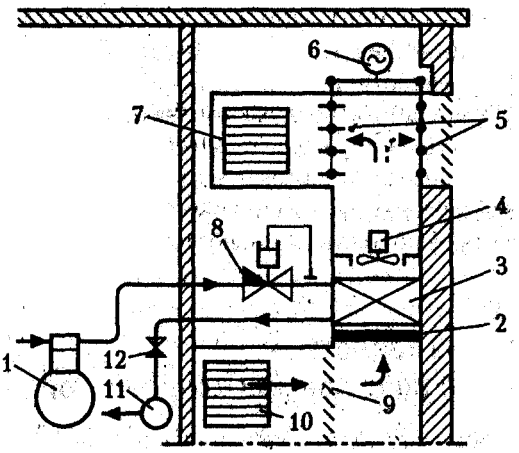


Рис. 19.5

Схема обогрева помещения воздухом, проходящим через конденсатор

1 — компрессор, 2 — фильтр, 3 — конденсатор, 4 — вентилятор, 5 — жалюзи, 6 — исполнительный механизм регулирования температуры, 7 — нагнетательная решетка, 8 — регулятор давления «после себя», 9 — решетка, 10 — всасывающая решетка, 11 — ресивер, 12 — обратный клапан

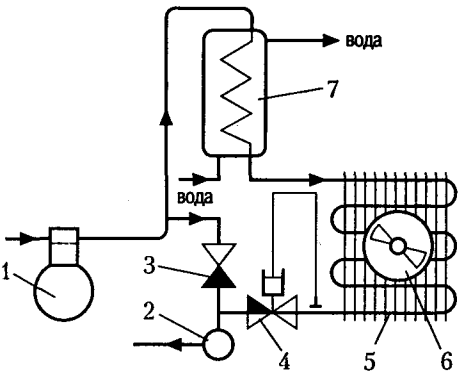


Рис. 19.6
Принципиальная схема использования тепла работы холодильной машины для нагрева воды

1 — компрессор, 2 — ресивер, 3 — обратный клапан, 4 — регулятор давления «до себя», 5 — конденсатор, 6 — вентилятор, 7 — нагреватель воды

В соответствии с санитарными требованиями к обработке воздуха он может подаваться в торговый зал лишь при условии его очистки от пыли. Установка пылевых фильтров приводит к росту приведенных затрат. Учитывая это, предпочтение отдается более сложным системам, несмотря на то что их реализация усложняет эксплуатацию.

Перед конденсатором установлен автоматический регулятор давления «после себя», при помощи которого поддерживается постоянное давление конденсации хладагента.

Подогрев воды в установках для ее нагрева (рис. 19.6) осуществляется парами холодильного агента, выходящего из компрессора. Парожидкостная смесь хладагента из змеевика в баке поступает в конденсатор. Жидкий холодильный агент из конденсатора и через автоматический регулятор давления «до себя», настроенный на поддержание максимально допустимого давления конденсации, поступает в ресивер. Этой же цели служит обратный клапан 3.

Вода в нагревателе воды нагревается до температуры на 5 °С ниже температуры конденсации хладагента и может быть использована для технических нужд.

Количества тепла, выделяемого холодильными машинами, работающими в системе централизованного холодоснабжения, достаточно для создания комфортных условий в магазине в течение всего отопительного сезона.

Температура в конце сжатия холодильного агента при сжатии составляет 60–70 °С. При выбранной схеме подогрева воды обеспечивается ее нагрев до 50 °С в течение короткого времени, например в течение ночи.

Опыт эксплуатации систем утилизации теплоты за рубежом показывает, что первоначальные капитальные затраты на такую систему в крупных магазинах окупаются за пять лет.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоят эксплуатационные достоинства и недостатки систем централизованного холодоснабжения?
2. Для каких условий рекомендуется к установке система централизованного холодоснабжения?
3. Какие известны способы утилизации тепла работающей холодильной машины?
4. Насколько целесообразна утилизация тепла холодильных машин?

Глава 20
КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА (основные представления)

Кондиционирование воздуха (КВ) — это комплекс процессов, направленных на получение воздуха с заданными параметрами: температурой, влажностью, чистотой, газовым составом по CO_2, скоростью движения воздуха и т. д.

Кондиционирование воздуха делится на технологическое и комфортное.

20.1. Технологическое и комфортное кондиционирование

Технологическое кондиционирование обеспечивает микроклимат, необходимый для проведения технологических процессов (производства ряда товаров, их хранения и транспортировки).

Все параметры «внутреннего воздуха» (табл. 20.1), т. е. воздуха рабочих помещений, оценивают на уровне «рабочей зоны», т. е. в воздушном пространстве высотой 2–2,2 м над полом или площадкой, на которой находится рабочее место.

Скорость движения воздуха для технологического кондиционирования должна быть не более 0,4 м/с, для жилых и общественных зданий — 0,15–0,2 м/с.

Комфортное кондиционирование обеспечивает микроклимат, благоприятный для труда и отдыха людей. Комфортное кондиционирование на предприятиях общественного питания и торговли повышает производительность труда персонала, привлекает покупателей и одновременно создает хорошие условия для работы холодильного и другого оборудования.

Комфортный микроклимат — это совокупность всех ранее перечисленных параметров воздуха. Отклонение от нормы даже одного из них приводит к неблагоприятным последствиям для человека.

Таблица 20.1

Расчетные параметры внутреннего воздуха для технологического кондиционирования и кондиционирования жилых и общественных зданий

Помещения	Расчетные параметры внутреннего воздуха	
	температура, °С	относительная влажность, %
Для цеха мясных полуфабрикатов на предприятиях общественного питания	12	70–75
Помещения для хранения: вареных колбас варено-копченых колбас	0...+8 +12...+15	90–85 78–75
Камеры созревания сыров	+8...+14	90–85
Камеры хранения сыров	+5...+8	8–75
Цехи предприятий точного машиностроения и приборостроения	+20...+22	50–40
Жилые и общественные здания (магазины, обеденные залы предприятий общественного питания, жилые и общественные здания)	+22...+25 (летом) +20...+22 (зимой)	60–30 (для всех периодов года)

Таблица 20.2

Нормы комфортных параметров воздуха

Период года	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха не более, м/с
Теплый	+20...+22 +23...+25	60–30 60–30	0,2 0,3
Холодный и переходный	+20...+22	45–30	0,2

Параметры, приводимые в строительных нормах и правилах (СНиП), являются среднестатистическими, т. е. рассчитанными на здорового «среднего» человека. Поэтому, если есть возможность, следует предусматривать индивидуальное регулирование микроклимата в обслуживаемой зоне.

Комфортное кондиционирование рассчитано на поддержание так называемых оптимальных параметров внутреннего воздуха, которые

зависят от времени года и характера деятельности людей. Для жилых общественных и административно-бытовых помещений (СНиП2.04.05-91) оптимальные нормы отражены в табл. 20.2.

При непрерывном пребывании людей в помещении не менее 2 ч по санитарным нормам в помещение *в расчете на одного человека* должно подаваться не менее 20 м³/ч наружного воздуха; при постоянном пребывании людей — не менее 60 м³/ч.

20.2. Параметры состояния воздуха

Состояние влажного воздуха, представляющего смесь газов (азота, кислорода и т. д.) с водой в различном агрегатном состоянии (в виде пара, жидкости, льда), определяется тремя параметрами: температурой, давлением и составом смеси. Состав смеси характеризуется массовым влагосодержанием.

Общее давление воздуха (барометрическое давление) равно сумме парциальных давлений сухой его части $p_{с.в.}$, Па, и водяного пара $p_п$, Па:

$$p_б = p_{с.в.} + p_п. \qquad (20.1)$$

Влагосодержание влажного воздуха d, г/кг, равно отношению массы водяного пара $M_п$, содержащегося в рассматриваемом объеме, к массе содержащегося в том же объеме сухого воздуха $M_{с.в.}$:

$$d = \frac{M_п}{M_{с.в.}}. \qquad (20.2)$$

Относительная влажность воздуха φ, %, представляет собой отношение:

$$\varphi = \frac{p_п}{p''_п} \cdot 100, \qquad (20.3)$$

где $p''_п$ — парциальное давление насыщенного водяного пара при той же температуре воздуха, Па.

Чем больше влагосодержание воздуха (при одной и той же температуре), тем больше парциальное давление водяного пара.

Массовое влагосодержание и относительная влажность воздуха связаны соотношением:

$$d = \frac{R_{с.в.}}{R_п} \cdot \frac{p_п}{p_{с.в.}} = 0{,}622 \cdot \frac{p_п}{p_б - p_п}, \qquad (20.4)$$

где

$R_{с.в.}$ — газовая постоянная сухого воздуха, $R_{с.в.} = 287{,}1$ Дж/(кг · К);

$R_{п}$ — газовая постоянная водяного пара, $R_{п} = 461{,}5$ Дж/(кг · К).

Плотность воздуха зависит от содержания в нем водяного пара:

$$\rho_{с.в.} = \frac{M_{с.в.}}{V} = \frac{p_{с.в.}}{R_{с.в.} \cdot T} = 3{,}483 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{p_{п}}{T}, \qquad (20.5)$$

$$\rho_{п} = \frac{M_{п}}{V} = \frac{p_{п}}{R_{п} \cdot T} = 2{,}167 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{p_{п}}{T}, \qquad (20.6)$$

$$\rho = \frac{M_{с.в.} + M_{п}}{V} = \rho_{с.в.} + \rho_{п} = \frac{1+d}{R_{с.в.} + d \cdot R_{п}} \cdot \frac{p_{б}}{T} = 0{,}00348 \cdot \frac{1+d}{1+1{,}61 \cdot d} \cdot \frac{p_{б}}{T}, \qquad (20.7)$$

где

V — объем воздуха, м^3;

T — абсолютная температура воздуха, К;

ρ, $\rho_{с.в.}$, $\rho_{п}$ — плотности атмосферного влажного воздуха, сухой его части и водяного пара, кг/м^3. Например, если воздух при температуре 12 °С и барометрическом давлении 760 мм рт. ст. содержит 5 г водяного пара на 1 кг сухого воздуха, то его плотность составляет:

$$\rho = \frac{1+0{,}005}{287{,}1+461{,}5 \cdot 0{,}005} \cdot \frac{133{,}3 \cdot 760}{(273+12)} = 1{,}23, \text{ кг/м}^3. \qquad (20.8)$$

Из формулы (20.7) следует, что влажный воздух легче сухого.

Теплоемкость (при постоянном давлении) атмосферного воздуха также зависит от его влагосодержания:

$$c = c_{с.в.} + c_{п} \cdot d, \qquad (20.9)$$

где

$c_{с.в.}$ — удельная изобарная теплоемкость сухого воздуха, $c_{с.в.} = 1{,}01$ Дж/(кг · К);

$c_{п}$ — удельная изобарная теплоемкость водяного пара, $c_{п} = 1{,}86$ Дж/(кг · К).

Удельную энтальпию влажного воздуха, как и влагосодержание, удобнее отнести не к общей массе воздуха и воды, а только к массе сухой части $M_{с.в.}$, принимая за начало отсчета энтальпию при $t = 0$ °С:

$$i = i_{с.в.} + d \cdot i_{п} = c_{с.в.} \cdot t + d \cdot (c_{п} \cdot t + r_{0}) \approx t + (1{,}89 \cdot t + 2500) \cdot d, \qquad (20.10)$$

где r_{0} — скрытая теплота парообразования, $r_{0} = 2500$ кДж/кг.

20.3. Тепло- и влажностный баланс кондиционируемого помещения

Чаще всего на бытовом уровне под кондиционированием понимается только охлаждение воздуха в производственных помещениях предприятий общественного питания, в торговом зале предприятия или магазина, а также в жилых помещениях. Однако СНиП 2.04.05-91 определяет термин «кондиционирование» как автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха с целью обеспечения главным образом оптимальных метрологичесих условий.

В холодильных камерах на заданном технологическом уровне поддерживают постоянной только температуру воздуха. Это обусловлено тем, что при хранении продуктов в холодильных камерах относительная влажность воздуха самоустанавливается в пределах 80–90%. В большинстве случаев она соответствует условиям холодильного хранения продуктов. Поэтому при расчете и подборе холодильного оборудования для холодильных камер, если не предъявляются к хранению продуктов более широкие требования, учитывают только теплопритоки.

Вместе с тем при хранении и дозревании бананов, созревании сыра, проращивании солода и т. д. воздух в камере следует увлажнять, что требует применения специальных технических средств его поддержания и регулирования.

В системах комфортного и технологического кондиционирования воздуха довольно часто в заданных пределах поддерживают не только температуру воздуха, но и относительную влажность. Поэтому следует иметь представление о составляющих тепло- и влажностного баланса кондиционируемого помещения.

Количество тепла Q или влаги W, поступающие в помещение, обозначают знаком (+), а удаляемые — знаком (–).

Количество поступающего тепла в кондиционируемое помещение оценивают суммой слагаемых теплового баланса, Вт:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \qquad (20.11)$$

где

$Q_1 = Q_{1T} + Q_{1C}$ — теплопритоки через наружные ограждения вследствие разности температур наружного и внутреннего воздуха и солнечной радиации;

Q_2 — теплопритоки от обрабатываемого материала (теплопритоки от пищи, остывающих продуктов и т. д.);

Q_3 — теплопритоки от вносимого в объем помещения воздуха при вентиляции или вносимого через имеющиеся неплотности;

Q_4 — эксплуатационные теплопритоки (от людей, технологического оборудования, светильников и т. д.).

Общее количество влаги подсчитывается по формуле, кг/с:

$$\sum W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, \qquad (20.12)$$

где

W_1 — влагопритоки через наружные ограждения; $W_1 = 0$;

W_2 — влагопритоки от обрабатываемого материала;

W_3 — влагопритоки, вносимые с наружным воздухом;

W_4 — эксплуатационные влагопритоки.

Оценка тепло- и влагопритоков

Теплопритоки через ограждающие конструкции

В отличие от холодильников ограждающие конструкции производственных помещений торговых залов предприятий общественного питания и торговли не имеют теплоизоляции.

Ограждения подразделяются на массивные и светопрозрачные (световые проемы).

Ограждения помещений, в которых предусматриваются технологическое кондиционирование (камеры остывания колбас, созревания сыра), как правило, не отличаются от ограждений холодильников.

Теплопритоки за счет разности температур через массивные участки ограждений (стены, перегородки, полы) определяют так же, как и для холодильников, Вт:

$$Q_{1T} = K_н \cdot F_н \cdot (t_н - t_{вп}), \qquad (20.13)$$

где

$K_н$ — коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м^2 · К);

$F_н$ — площадь поверхности ограждения, м^2. Размеры ограждений принимаются аналогично методике, принятой для холодильных камер;

$t_н$, $t_{вп}$ — температура воздуха вне и снаружи помещения, °С.

Следует отметить, что применительно к системам кондиционирования воздуха величина Q_{1T} часто пренебрежимо мала сравнительно с другими видами теплопритоков.

При определении коэффициента теплопередачи ограждения $K_н$ следует учитывать особенности строительной конструкции.

Теплопритоки за счет разности температур через светопрозрачные ограждения оценивают также по формуле (20.13).

Таблица 20.3
Оценка коэффициента теплопередачи световых проемов

Светопрозрачное ограждение	Число стекол	Расстояние между стеклами, мм	Коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м² · К)
Окна:			
с одинарным остеклением	1	—	3,3
со спаренным остеклением	2	30–60	2,0
с двойным раздельным остеклением	2	75–100	1,9
Стеклопакет с двойным остеклением	2	10	2,3
	2	15	2,70
	2	20	2,74

Значения коэффициентов теплопередачи отражены в табл. 20.3.

Поступление теплоты через оконные ограждения учитывают по одной стороне света, поэтому следует учитывать ориентацию здания.

Теплопритоки от солнечной радиации Q_{1C} в кондиционируемое помещение складываются из теплопритоков через массивные ограждения здания (стены, кровля) и теплопритоков через световые проемы:

$$Q_{1C} = Q_{1C}^{масс} + Q_1^{свет}. \qquad (20.14)$$

Для кондиционируемых помещений $Q_{1c}^{масс}$, Вт, рассчитывают так же, как и для холодильников.

Радиационные теплопритоки через световые проемы $Q_1^{свет}$, Вт, оценивают отдельно по каждой стороне горизонта. Упрощенно теплопритоки могут быть оценены на основе выражения (20.15):

$$Q_1^{свет} = q_{ок} \cdot F \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3, \qquad (20.15)$$

где

$q_{ок}$ — удельный суммарный теплоприток от прямой и рассеянной солнечной радиации через окна с одинарным стеклом в деревянных рамах, Вт/м²;

F — площадь светового проема, м²;

ξ_1 — коэффициент солнцезащиты, учитывающий влияние затеняющего устройства на уменьшение теплопритоков из-за солнечной радиации (табл. 20.4);

ξ_2 — коэффициент, учитывающий загрязнения остекления или его закраску; $\xi_2 = 0{,}8–0{,}9$ — для обычного стекла, 0,6 — для забеленного стекла, 0,4 — для матового стекла;

ξ_3 — коэффициент, учитывающий затенение светового проема переплетами (одинарная, двойная рама и т. д.).

Значение $q_{ок}$, Вт/м², от солнечной радиации зависит от времени года и географической широты. В холодный период года (декабрь) при $t < 10$ °С $q_{ок}$ не учитывают.

Для теплого периода года (июль, широта Санкт-Петербурга) для вертикальной поверхности, ориентированной на ЮЗ, $q_{ок}$ составляет 549 Вт/м², для горизонтальной поверхности — 768 Вт/м² («Справочник проектировщика систем кондиционирования»).

Теплопритоки от обрабатываемых материалов

Для предприятий общественного питания объектами обработки являются горячие блюда, выпечные изделия в кондитерских цехах, остывающая пища в обеденных залах, а также мясопродукты, обрабатываемые в холодных цехах. Тепловыделения от остывающей пищи можно принять $Q_2 = 17–25$ Вт на одного посетителя.

В том случае, если в расчете учитывается только явная теплота, теплоприток от материалов $Q_{2я}$, Вт, определяют по формуле:

$$Q_{2я} = \frac{m \cdot c \cdot (t_1 - t_2)}{\tau}, \qquad (20.16)$$

Таблица 20.4

Коэффициенты затенения, ξ_1

Световое ограждение	Значения коэффициента ξ_1
Козырьки	0,95
Маркизы	0,75
Жалюзи	0,5
Штора:	
внутренняя при открытом окне	0,65
внутренняя при закрытом окне	0,4
между переплетами	0,5

где

m — масса материалов (продуктов), кг;

c — удельная теплоемкость продуктов, кДж/(кг · К);

τ — длительность действия источника тепла, с.

Теплоприток Q_2 может быть положительным или отрицательным в зависимости от типа продукта и способа его обработки. Например, охлажденное мясо при переработке нагревается от 4 до 12 °С. Мясо воспринимает часть выделенной теплоты. В этом случае теплоприток Q_2 должен учитываться со знаком (–).

Если парное мясо охлаждается, например, от 36 до 12 °С, то выделяется тепло. В этом случае тепловыделения являются положительными.

Теплопритоки с наружным воздухом

При отсутствии специальной вентиляционной установки наружный воздух проникает в кондиционируемый объем посредством инфильтрации, т. е. через неплотности в наружных ограждениях, через неплотности в окнах, а также при открывании дверей.

Теплоприток с вентилируемым воздухом Q_3, Вт подсчитывается по формулам:

$$Q_{3я} = L_н \cdot c \cdot \rho \cdot (t_н - t_в), \qquad (20.17)$$

или

$$Q_{3п} = L_н \cdot \rho \cdot (i_н - i_в), \qquad (20.18)$$

где

$L_н$ — объемный расход наружного воздуха, м^3/с,

c — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг · °С). В интервале температур 0–30°С c = 1005 Дж/(кг · °С);

ρ — плотность воздуха при температуре помещения, кг/м^3;

$t_н$, $t_в$ — температуры наружного воздуха и воздуха в помещении, °С;

$i_н$, $i_в$ — теплосодержание наружного воздуха и воздуха помещения, Дж/кг.

Объемный расход наружного воздуха, проникающего в помещение $L_н$, м^3/с:

$$L_н = n \cdot L_{тр}, \qquad (20.19)$$

где

n — число людей в помещении;

$L_{тр}$ — требуемый расход воздуха в помещении по нормам на одного человека, м³/с (табл. 20.5).

Если кондиционируемое помещение оборудовано системой централизованной вытяжной вентиляции, то для создания избыточного давления в помещении приток воздуха должен превышать удаление на величину, отраженную в табл. 20.6.

Теплопритоки от людей

Количество тепла, выделяемого людьми, оценивают по формуле:

$$Q_{4л} = Q_л \cdot n, \qquad (20.20)$$

где

$Q_л$ — количество теплоты, выделяемой одним человеком в зависимости от температуры воздуха и в помещении и рода выполняемой работы;

Таблица 20.5

Нормы расхода воздуха на одного человека

Помещения	Норма расхода, $L_{тр}$, м³/с
Общественные помещения:	
при отсутствии курящих	0,006–0,017
при значительном курении	0,0139
Общественные помещения для детей до 12 лет	0,0042
Производственные, при объеме помещения на одного работающего менее 20 м³ с естественным проветриванием	0,0083
То же, более 20 м³ с естественным проветриванием	0,0056
Производственные помещения без окон и фонарей без естественного проветривания	0,017

Таблица 20.6

Коэффициенты запаса по воздухоснабжению

Вид помещения	Коэффициент запаса
Помещение без окон и наружных дверей	0,5–0,75
Помещение с окнами:	
на одну сторону	1
на две стороны	1,5
на три или четыре стороны	2
Вестибюль	2–3

Таблица 20.7

Тепловыделения на одного человека, $Q_л$, Вт

Температура внешней среды, °С	Положение сидя либо состояние отдыха			Положение стоя либо легкое движение			Тяжелая работа		
	явное	скрытое	общее	явное	скрытое	общее	явное	скрытое	общее
10	115	15	130	135	21	156	206	84	290
14	103	15	118	117	21	138	179	84	263
18	89	15	104	100	33	133	157	93	250
20	82	21	103	92	42	133	140	110	250
22	76	26	102	84	48	132	117	132	249
24	67	35	102	72	60	132	95	154	249
26	61	41	102	63	69	132	81	168	249
28	51	51	102	53	79	132	64	185	249
30	40	60	100	41	89	130	48	198	246
32	20	78	98	22	106	128	31	213	244

Таблица 20.8

Влаговыделения на одного человека

Род работы	Влаговыделения, $W_л \cdot 10^6$, кг/с							
	расчетные температуры воздуха в кондиционируемых помещениях, °С							
	10–13	14–16	17–19	20–22	23–25	25–28	30–32	32–35
Легкая работа сидя	9,16	11,9	14,7	17,7	19,4	27,0	32,2	32,2
Легкая физическая работа (кассиры, посетители столовых, магазинов и др.)	11,1	13,9	21,4	22,2	32,2	36,0	41,6	55,5
Работа средней тяжести (продавцы магазинов, официанты, уборщицы и т. д.)	20,8	32,0	34,7	39,0	51,5	55,5	69,5	79,0
Тяжелая работа (персонал горячих цехов, кухонь)	37,0	52,7	51,4	64,5	80,5	90,5	101,0	94,5

Таблица 20.9
Коэффициенты использования оборудования

Виды оборудования	Коэффициент использования оборудования, $K_и$
Кипятильники, кофеварки, печи шашлычные, электротермостаты	0,9
Печи электрические	0,7
Плиты газовые, котлы электрические и газовые, посудомоечные машины	0,6
Сковороды, жаровни, фритюрницы	0,5
Мармиты, стойки, шкафы жарочные, пекарные, кондитерские	0,4
Механическое оборудование	0,2

n — число людей, одновременно находящихся в помещении (в торговых залах предприятий общественного питания принимается равным числу посадочных мест).

Тепло- и влаговыделения от людей (на одного человека) приведены в табл. 20.7, 20.8.

Теплопритоки от оборудования

Количество тепла, выделяемого оборудованием, зависит от ряда причин: способа обогрева (газ или электричество), количества единиц оборудования, режима работы предприятия, мощности и режима работы каждого типа оборудования.

Для оборудования, работающего на природном газе, $Q_{об}^{газ}$ определяется по формуле:

$$Q_{об}^{газ} = Q_{топ} \cdot K \cdot K_о \cdot K_и, \qquad (20.21)$$

где

$Q_{топ} = B \cdot Q_р^н$ — количество тепла, выделяемого при сгорании газа, кВт;

B — объемный расход газа при нормальных условиях;

$Q_р^н$ — теплотворная способность 1 м³ газа при нормальных условиях, равная 35 600 кДж/м³;

K — коэффициент, учитывающий соотношение между $Q_{пом}$ и $Q_{ух}$ (К = 0,8);

$K_о$ — коэффициент, учитывающий одновременность работы однотипного оборудования (для столовых $K_о$ = 0,8, для ресторанов и кафе $K_о$ = 0,6);

$K_и$ — коэффициент использования оборудования (выражает продолжительность непрерывной работы оборудования в течение смены в пересчете на один рабочий час). Значения этого коэффициента отражены в табл. 20.9.

Тепловыделения от единицы *оборудования, обогреваемого паром*, принимают равным 1,3 кВт на 1 м² наружной неполированной поверхности, 0,49 кВт — полированной и 0,33 кВт — для поверхности, покрытой изоляцией.

Для *оборудования с электрическим обогревом* $Q_{об}^{эл}$, кВт, подсчитывается по формуле:

$$Q_{об}^{эл} = \sum N_{эл.н} \cdot K_и \cdot K_о, \qquad (20.22)$$

где $\sum N_{эл.н}$ — суммарная мощность всех электронагревателей данного оборудования, кВт.

Тепло, выделяемое электродвигателями механического оборудования $Q_{эл.дв.}$, кВт, определяют по формуле:

$$Q_{эл.дв.} = \sum N_{эл.дв.} \cdot K_и \cdot K_о, \qquad (20.23)$$

где $\sum N_{эл.дв.}$ — суммарная мощность всех электродвигателей механического оборудования, кВт.

Для перерабатывающих цехов с механическим оборудованием (волчки, куттеры) мясокомбинатов значения $K_и$ принимают равным 0,65.

Для предприятий общественного питания, оснащенных только электрическим тепловым оборудованием, значения $Q_{об.мех}$ принимают равным 10% от $Q_{об.теп}$.

Теплоприток от электрического освещения $Q_{осв}$, кВт, определяют по формуле:

$$Q_{осв} = N_{осв}, \qquad (20.24)$$

где $N_{осв}$ — установочная мощность осветительной аппаратуры, кВт.

При люминесцентном освещении светильники часто устанавливают в плоскости подвесного потолка. В этом случае величину $Q_{осв}$ принимают равной 60% от полного значения величины $Q_{осв}$.

Определение влагопритоков

Основным источником влагопритоков в предприятиях общественного питания являются остывающая пища, открытые поверхности кастрюль и т. д.

Влагопритоки от пищи ориентировочно принимают равным $W_2 = 20 \cdot 10^{-6}$ кг/с в расчете на одно посадочное место.

Таблица 20.10
Влаговыделения из кастрюль

Площадь зеркала испарения, м²	0,29	0,5	0,74
Количество испарившейся влаги, $W_м \cdot 10^{-6}$, кг/с	2,77	4,56	6,4

Количество испарившейся влаги из кастрюль отражено в табл. 20.10.

Влагоприток с наружным воздухом $W_{вз}$, кг/с, поступающим в помещение без предварительной тепловлажностной обработки, устанавливают по формуле:

$$W_{вз} = L_{вз} \cdot \rho \cdot (d_н - d_в) \cdot 10^{-3}, \quad (20.25)$$

где $d_н$, $d_в$ — влагосодержание наружного воздуха и воздуха помещения, г/кг.

Влагопритоки от людей $W_л$, кг/с, подсчитывают по формуле:

$$W_л = n \cdot w_{чел}, \quad (20.26)$$

где

$w_{чел}$ — влаговыделение 1 человека, кг/с;

n — количество людей в помещении.

Выбор параметров и количества воздуха, подаваемого в кондиционируемое помещение

Состояние воздуха в помещении вне зависимости от периода года неизменно.

Точка «В» соответствует состоянию воздуха, удаляемого из помещения, а точка «П» — состоянию воздуха, подаваемого в помещение (приточный воздух). Процесс «ПВ»-изменения состояния приточного воздуха в помещение в i—d-диаграмме изображается прямой линией, проходящей через точку «В» под углом, соответствующим величине тепло- и влажностного отношения $\varepsilon_п$:

$$\varepsilon_п = \frac{\sum Q_п}{\sum W} = \frac{i_в - i_п}{d_в - d_п}; \quad (20.27)$$

$$\varepsilon_п = \frac{Q_я + Q_{ск}}{G_{пр} \cdot \Delta d} = \frac{c_в \cdot \Delta t + r \cdot \Delta d}{\Delta d} = \frac{c_в \cdot \Delta t}{\Delta d} + r, \quad (20.28)$$

где

$\sum Q_п$ — суммарный приток полной теплоты, кВт;

$\sum Q_я$ — суммарный теплоприток явной (сухой) теплоты, кВт;
$\sum W$ — суммарный влагоприток, кг/с.

При определении теплопритоков $\sum Q$ следует учитывать характер тепловыделений: если теплопритоки от материалов, воздуха, людей определялись по полной теплоте (по разности теплосодержаний начальной и конечной), $Q_п$, то следует пользоваться выражением (20.27). Если при определении этих теплопритоков учитывалась только явная теплота $Q_я$, то следует использовать формулу (20.28).

Ориентировочные значения тепло- и влажностного отношения ε, кДж/кг, могут быть ориентировочно приняты на основе данных табл. 20.11.

Положение точки «П» определяется рабочей разностью температур $\Delta t_р$ приточного воздуха и воздуха помещения. Рабочая разность температур зависит от принятого способа распределения воздуха в помещении и высоты помещения.

Если приточные отверстия при подаче воздуха в рабочую зону производственных помещений предприятий общественного питания или торгового зала магазина расположены ниже 3 м, $\Delta t_р < 3$ °С, если выше, то $\Delta t_р$ увеличивают на 1 °С на каждый метр высоты помещения.

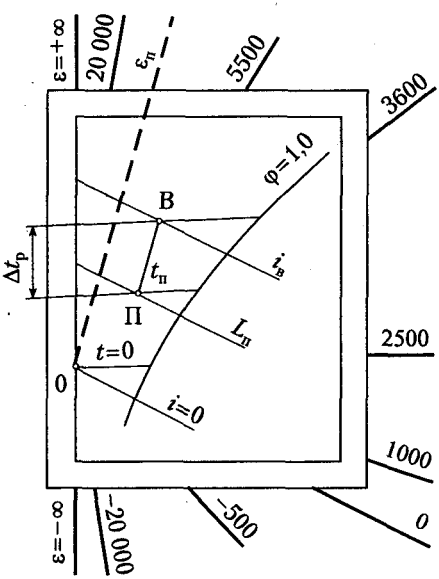


Рис. 20.1
Изменение состояние воздуха в кондиционере

Таблица 20.11

Значения тепло- и влажностного отношения ε

Вид помещения	Величина ε, кДж/кг
Предприятия торговли и общественного питания	8500–10000
Помещения для переработки мяса:	
охлажденного	10000–13000
парного	6000–7000
Камеры созревания сыров	8500–13000
Квартиры, гостиницы	15000–17000

Объемный расход приточного воздуха L, м^3/с, подаваемого в помещение при его кондиционировании, определяют из условия удаления теплопритоков, влагопритоков и других вредностей:

$$L = \frac{\sum Q_{\text{п}}}{\rho \cdot (i_{\text{в}} - i_{\text{п}})} = \frac{\sum Q_{\text{я}}}{\rho \cdot c \cdot \Delta t_{\text{р}}}, \qquad (20.30)$$

где

ρ — плотность воздуха при температуре $t = t_{\text{п}}$;

c — удельная теплоемкость воздуха при той же температуре.

20.4. Кондиционеры предприятий общественного питания и торговли

Основная масса предприятий общественного питания и торговли — это предприятия небольшой производственной мощности. К ним относят кафе, пельменные, закусочные и т. д. В торговом зале предприятий подобного типа важно обеспечить комфортные условия пребывания посетителей, поскольку это, как известно, увеличивает покупательскую активность посетителей и соответственно товарооборот предприятия.

Комфортные условия в этом случае достигаются установкой кондиционеров небольшой холодопроизводительности (3–10 кВт). Такие кондиционеры, по сути, являются не более чем охладителями воздуха, поскольку в них, как правило, отсутствует его полная обработка. Вместе с тем они выполняют две принципиально важные функции: в летнее время охлаждают и осушают воздух помещения, в переходный период его нагревают, работая по принципу теплового насоса, т. е. отнимая тепло от воздуха снаружи здания и выделяя его внутри помещения.

Кондиционеры небольшой холодопроизводительности выполняются в виде моноблока или в виде сплит-системы.

Моноблоки холодопроизводительностью от 2 до 10 кВт, как, например, оконные кондиционеры (рис. 20.2), просты в установке и управлении.

Они малошумные и обеспечивают в зависимости от модели кондиционера как охлаждение, так и обогрев. Кондиционеры снабжаются специальными фильтрами для очистки воздуха, пропитанными антибактериальным составом.

Недостатком оконных кондиционеров является то, что они затеняют световой проем, привязаны к нему. Достоинство моноблочных кондиционеров состоит в дешевизне и их заводской сборке, что гарантирует качество и надежность работы.

Оконные кондиционеры (моноблоки) просты в установке и управлении. Спектр моделей рассчитан на применение в помещениях площадью от 15 до 60 м^2. Некоторые моноблоки позволяют осуществить частичную вытяжную вентиляцию помещения. Моноблочные кондиционеры предназначены для небольших жилых домов и офисов.

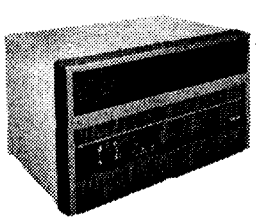


Рис. 20.2
Оконный кондиционер (моноблок)

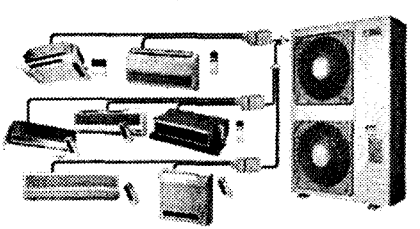


Рис. 20.3
Кондиционеры в виде сплит-систем

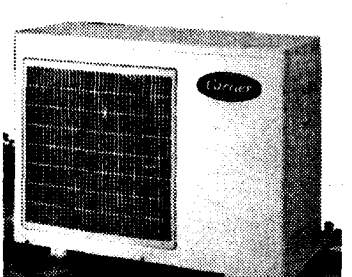


Рис. 20.4
Наружный блок кондиционера

Сплит-системы с внутренними блоками различной конфигурации широко используются в установках кондиционирования воздуха. Они состоят из двух частей (рис. 20.3).

Один или несколько компрессоров находятся в наружном блоке. Наружный блок (рис. 20.4) представляет собой компрессорно-конденсаторный агрегат.

Он устанавливается вне кондиционируемого помещения. Внутренний блок или блоки, представляющие собой воздухоохладители, монтируются непосредственно в помещении. Они прикрепляются к потолку (рис. 20.5), встраиваются в подвесной потолок (рис. 20.6–20.7), подвешиваются на стене или устанавливаются на полу вблизи стены.

Рис. 20.5
Потолочный внутренний блок

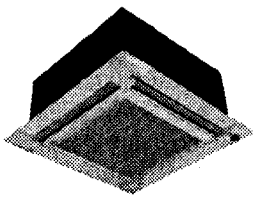


Рис. 20.6
Кондиционер кассетного типа

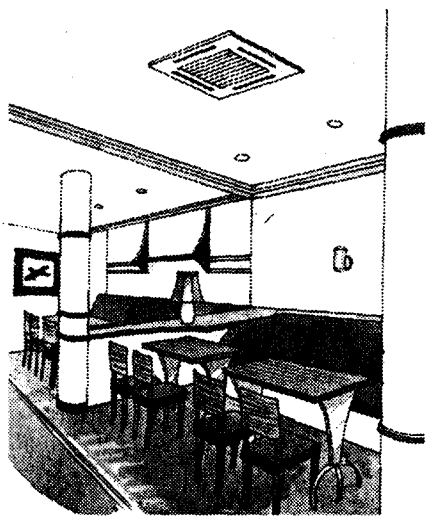


Рис. 20.7
Кассетный кондиционер в кафе

Один компрессор может охлаждать одно или два помещения. В двухблочной конструкции (рис. 20.3) с двумя компрессорами первый компрессор подключается к одному внутреннему блоку, который используется для одного помещения. Второй компрессор подключен к двум другим внутренним блокам, используемым для охлаждения второго и третьего помещения.

Достоинством сплит-систем является большая «гибкость» при установке. Шум компрессора не проникает в помещение, что обеспечивает идеальный комфорт. Кондиционеры оснащаются удобным пультом дистанционного управления. Система тройной фильтрации воздуха удаляет микрочастицы пыли.

Один кондиционер рассчитан на работу в помещении площадью от 10 до 75 м^2.

Потолочные сплит-системы устанавливаются под потолком. Они незаменимы для установки в кафе, магазинах, больших кабинетах. Оснащаются пультом дистанционного управления. Кондиционеры рассчитаны на работу в помещениях площадью от 30 до 180 м^2.

Сплит-системы кассетного типа имеют возможность для подсоединения приточной вентиляции.

Кондиционеры размещаются в подвесном потолке (рис. 20.7).

Их рекомендуют использовать в офисах, магазинах, бизнес-центрах, конференц-залах.

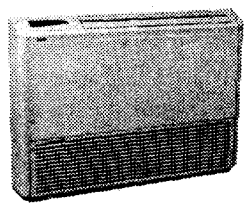


Рис. 20.8
Напольный кондиционер

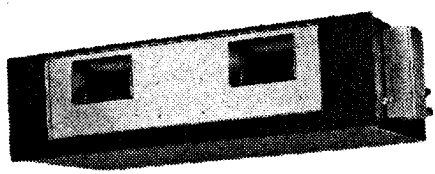


Рис. 20.9
Кондиционер канального типа

Кондиционеры канального типа (внутрипотолочного, скрытого типа) (рис. 20.9) рассчитаны на помещения площадью от 50 до 300 м².

Размещаются за подвесным потолком. Кондиционеры незаменимы при охлаждении воздуха в большом числе помещений малой площади.

20.5. Современные многозональные системы

20.5.1. Многозональные системы с изменяемым расходом холодильного агента

Кондиционеры сплит-систем предназначены для кондиционирования одного или нескольких помещений от одного наружного блока. Поэтому установка большого числа наружных блоков на фасаде здания нарушает его архитектуру.

Установка наружных блоков во дворе здания в ряде случаев ограничена допустимой длиной трубопроводов.

Многозональная система кондиционирования разработана для создания комфортных условий в помещениях здания с различными тепловыми нагрузками, изменяющимися в течение суток. Такие системы позволяют одному наружному блоку подсоединять до 16 внутренних блоков не только различной мощности, но и различного конструктивного исполнения (рис. 20.10).

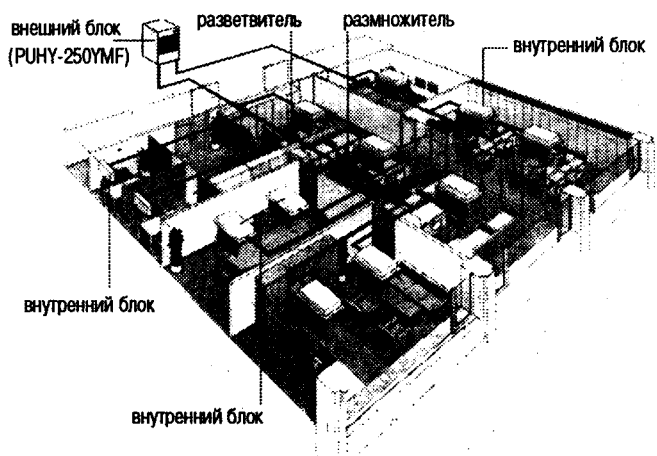


Рис. 20.10
Схема системы «Сити мульти Y» фирмы *Mitsubisi Electric*

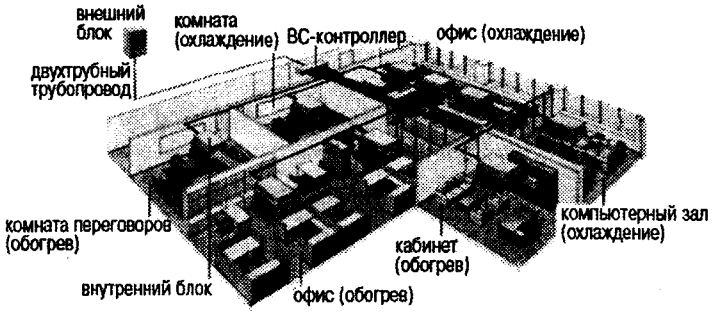


Рис. 20.11
Схема системы «Сити мульти R2» фирмы *Mitsubisi Electric*

Кроме того, блоки могут включаться и работать независимо друг от друга, причем часть из них в режиме охлаждения, часть — в режиме обогрева (рис. 20.11).

Внутренние блоки (до 16 разного типа и мощности), используемые в многозональной схеме, имеют электронный терморегулирующий вентиль, позволяющий регулировать расход холодильного агента через блок и таким образом менять мощность блока в зависимости от текущей нагрузки.

Компрессор внешнего блока имеет инвертор, позволяющий регулировать обороты компрессора и соответственно в широком диапазоне менять производительность компрессора.

Поскольку суммарная производительность внутренних блоков зависит от единовременности их работы, что является редким случаем, то производительность наружного блока не обязательно должна быть равна сумме производительностей внутренних блоков. При этих условиях затраты на электроэнергию могут быть существенно снижены.

Внутренние блоки подключаются либо при помощи обычных тройников, либо при помощи распределительного коллектора на 4 или 10 блоков. Могут применяться и комбинированные схемы.

В многоцелевых системах, например в системе R2 (рис. 20.11), внутренние блоки могут автоматически переходить с режима охлаждения на режим обогрева и обратно независимо друг от друга. При этом происходит «перекачивание» части тепла из одного помещения в другое, что позволяет разгрузить наружный блок и еще больше уменьшить энергетические затраты на работу системы.

Система R2 обеспечивает одновременные охлаждение и обогрев. Основным элементом системы R2 является BC-контроллер (рис. 20.11),

распределяющий хладагент между внутренними и наружным блоком, через который несколько внутренних блоков подключаются к наружному.

BC-контроллер имеет эффективный сепаратор, позволяющий разделить смесь жидкого и парообразного хладагента высокого давления, идущего от внешнего блока, на пар и жидкость высокого давления. Пар высокого давления поступает на блоки, работающие на обогрев, а жидкость высокого давления подается на блоки, работающие на охлаждение.

Применение сепаратора позволило выполнить многозональную систему по двухтрубной схеме, когда наружный блок и все внутренние блоки соединяются с BC-контроллером двумя трубами, а не тремя, как это делается в подобных системах иных фирм.

Полная длина трубопроводов может достигать 200 м; самый длинный участок трубопровода может составлять 100 м; перепад по высоте между BC-контроллером и внешним блоком может достигать 50 м.

20.6. Системы с чиллерами и фанкойлами

Системы с чиллерами и фанкойлами позволяют обеспечить независимое регулирование температуры одновременно в большом количестве помещений.

Чиллер представляет собой законченную холодильную машину, предназначенную для охлаждения хладоносителя, которыми могут быть вода или иные незамерзающие жидкости.

Фанкойл (кондиционер-доводчик) — это агрегат, устанавливаемый в помещении и включающий теплообменник с вентилятором, фильтр со встроенным или выносным пультом управления (рис. 20.12).

Охлаждение производится жидкостью, циркулирующей по системе трубопроводов от источника холода (чиллера) к фанкойлу.

Кроме фанкойлов потребителями холода могут быть теплообменники центрального кондиционера, а также любое технологическое оборудование, нуждающееся в холоде.

Воздух из помещения подается вентилятором на теплообменник фанкойла, в котором он охлаждается или нагревается.

В фанкойл может подаваться некоторое количество свежего воздуха от центрального кондиционера или приточной установки. В этом случае система с чиллерами и фанкойлами позволяет одновременно решать задачи вентиляции производственных или бытовых помещений.

Циркуляция жидкости от чиллера к фанкойлу обеспечивается насосной станцией.

Насосные станции представляют собой законченный агрегат, включающий циркуляционные насосы, расширительный бак, аккумулирующий бак, запорную аппаратуру и необходимую автоматику. Насосная станция может работать самостоятельно или управляться чиллером.

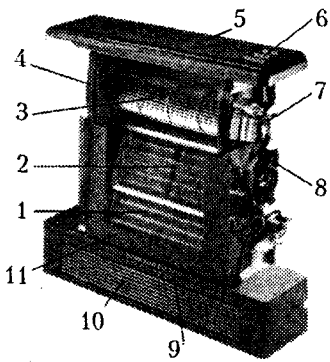


Рис. 20.12
Конструкция фанкойла

1 — теплообменник, 2 — электронагреватель, 3 — вентилятор, 4 — теплозвукоизоляция, 5 — выходная решетка, 6 — встроенная панель управления, 7 — электродвигатель, 8 — соединительная муфта, 9 — легкосъемный фильтр, 10 — входная решетка, 11 — поддон для дренажа

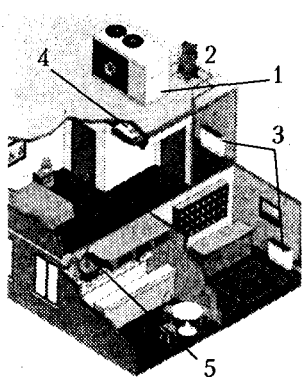


Рис. 20.13
Схема установки чиллера, фанкойлов

1 — чиллер с осевыми вентиляторами, 2 — насосная станция, 3 — фанкойл вертикального расположения, 4 — фанкойл горизонтальный бескорпусный, 5 — фанкойл горизонтальный с возможностью забора свежего воздуха

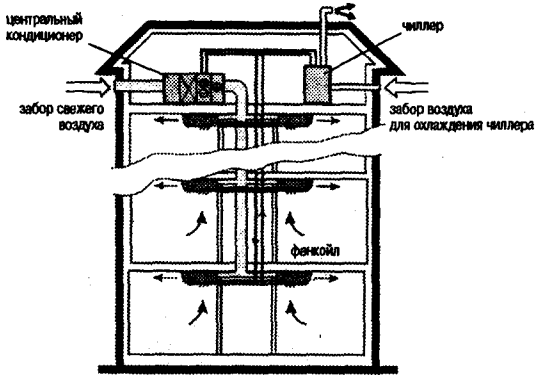


Рис. 20.14
Схема установки чиллера с центральным кондиционером

На рис. 20.13 представлена схема кондиционирования, включающая чиллер, фанкойлы и насосную станцию.

Чиллер 1 с воздушным охлаждением конденсатора установлен на крыше. Рядом расположена насосная станция 2. По системе трубопроводов охлажденная жидкость разводится по помещениям к фанкойлам 3, 4, 5. Данная схема обеспечивает только охлаждение воздуха в помещениях. Более сложная система использует возможности центрального кондиционера, что наряду с охлаждением воздуха в помещениях позволяет обеспечивать вентиляцию воздуха в этих помещениях (рис. 20.14).

20.7. Автомобильные кондиционеры

Любой современный автомобиль должен отвечать требованиям по комфорту и надежности. Автомобильный кондиционер — важный прибор, позволяющий водителю всегда чувствовать себя комфортно.

Первые кондиционеры для охлаждения воздуха разработаны американской фирмой *Carrier Transicold* специально для использования на автомобилях. С 1941 г. в США начали серийно оснащать автомобили кондиционерами. К началу 90-х гг. в США кондиционерами было укомплектовано 85% легковых автомобилей и 55% грузовиков.

Первый кондиционер, собранный в конце 50-х гг. из отечественных комплектующих, был установлен на семиместный правительственный лимузин «ЗИЛ-111-Г».

В 1976 г. кондиционерами начали оснащать карьерные самосвалы, «дальнобойные» грузовики и комбайны.

Современные автомобильные кондиционеры — это устройства, регулирующие температуру, чистоту и циркуляцию воздуха в салоне автомобиля.

Конструкции кондиционеров многообразны. Однако во всем, что касается подачи воздуха и его очистки (фильтры), кондиционеры разных лет производства примерно одинаковы. В основном они различаются типами холодильных машин.

На сегодняшний день наиболее употребительной холодильной машиной является компрессионная. Компрессионная холодильная машина пока остается непревзойденной по совокупности технических и потребительских параметров, особенно по соотношению «стоимость–эффективность». Поэтому усилия основных фирм-производителей кондиционеров направлены не столько на поиски новых принципов отбора тепла, сколько на совершенствование конструкций, работающих по упомянутому принципу, — более совершенная механика, более «умная» автоматика, модный дизайн, эргономичность, удобство обслуживания и т. д.

Автомобильный кондиционер состоит из тех же компонентов, что и любая холодильная машина. Привод компрессора (рис. 20.15, 20.16) осуществляется в большинстве своем от двигателя автомобиля посредством ременной передачи.

Регулирование температуры в салоне осуществляется при помощи специальной электромагнитной муфты, установленной на валу компрессора. На большинстве современных автомашин система кондицио-

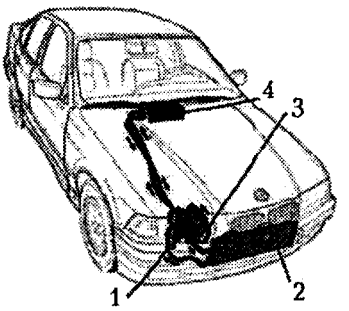


Рис. 20.15
Схема размещения кондиционера в легковом автомобиле марки ВАЗ
1 — конденсатор, 2 — компрессор, 3 — ресивер-осушитель, 4 — воздухоохладитель

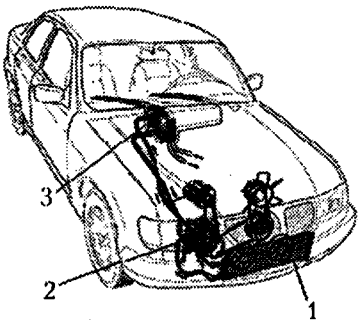


Рис. 20.16
Схема размещения кондиционера
в автомобилях иностранного производства
1 — конденсатор, 2 — компрессор, 3 — воздухохладитель

нирования управляется микропроцессорной системой «Климатконтроль», регулирующей расход воздуха, его нагрев или охлаждение в зависимости от температуры, контролируемой датчиками температуры, установленными в салоне и снаружи автомобиля.

Представленный на рис. 20.15 кондиционер (климатическая установка «Август») являются результатом совместной разработки японских и российских инженеров, создавших их надежными, рассчитанными на весь срок эксплуатации автомобиля. Автомобильные кондиционеры разработаны совместно с японской фирмой *Unicla*. Климатические установки «Август» предназначены для установки на автомобили: ВАЗ-21102, ВАЗ-21103, ВАЗ-21110, ВАЗ-21113, ВАЗ-21120 и их модификаций.

Климатическая установка «Август-23БС-2110-111(112)» имеет холодопроизводительность 5400 Вт. Максимальная мощность, отбираемая от двигателя, — 5 л. с. Увеличение расхода топлива при работе установки: при скорости движения 90 км/ч и температуре воздуха 40 °С — 0,6 л/100 км, при скорости движения 120 км/ч — 0,8 л/100 км. Городской режим соответствует увеличению расхода топлива — 1,0 л/100 км.

Точность поддержания температуры в салоне ±2 °С. Полный ресурс до замены кондиционера составляет 1 млн км (кроме натяжного ролика и приводного ремня).

В качестве холодильного агента используется хладон R134a. Конденсатор располагают перед основным радиатором. Испаритель находится у радиатора отопителя салона автомобиля.

Размещение элементов холодильной машины, базирующееся на определяющем принципе — принципе компактности конструкции, пред-

определило место размещения некоторых элементов холодильной машины. В частности, конденсатор кондиционера обычно размещают перед радиатором двигателя. Поэтому пыль и грязь прежде всего попадают на конденсатор, существенно ухудшая условия теплообмена.

Применение сальниковых компрессоров с приводом от двигателя автомобиля обусловливает все эксплуатационные особенности компрессоров подобного типа и присущие им недостатки, включая возможные потери масла и холодильного агента из холодильной машины.

Воздухоохладитель кондиционера в случае отсутствия фильтра (автомобили ВАЗ, ГАЗ) нуждается в постоянном контроле состояния, поскольку в отсутствие фильтра возможно попадание в него грязи, листьев от деревьев, тополиного пуха и т. д. На большинстве импортных автомобилей салонные фильтры являются обязательным атрибутом кондиционера.

Таким образом, кондиционер как сложная система требует периодического сервисного обслуживания, как правило, раз в году. Оно включает в себя постоянный контроль и диагностику на предмет проверки герметичности системы, состояния натяжения приводного ремня, проверку работы воздухоохладителя и т. д.

С этой целью следует регулярно удалять грязи и соли с теплообменной поверхности конденсатора, очищать испаритель специализированными средствами или установить перед ним фильтр.

Комплексное обслуживание и ремонт автомобильных кондиционеров осуществляют в специализированных мастерских, обеспеченных комплектным материалом и инструментами для ремонта кондиционеров различных фирм.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит суть кондиционирования?
2. Как изменяется состояние воздуха в кондиционере?
3. Каковы слагаемые теплового и влажностного баланса в кондиционере?
4. Какие типы кондиционеров существуют?
5. Чем отличается моноблочная система от сплит-системы?
6. Каковы конструктивные особенности автомобильных кондиционеров?
7. При каких условиях для кондиционирования используют системы «Сити мульти R2», системы с чиллерами и фанкойлами?

Глава 21
ХОЛОДИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Высокое качество скоропортящихся продуктов при их хранении, обработке и продаже может быть обеспечено, если в каждом звене холодильной цепи от производства до потребления выполняется технологическая дисциплина. Избежать изменений качества при транспортировке продуктов или при их продаже помогает специализированный холодильный транспорт.

Холодильный транспорт является составной частью в цепи товародвижения от производства продуктов до их потребления. Его подразделяют на водный, железнодорожный и автомобильный. Составной частью холодильного транспорта являются рефрижераторные контейнеры.

21.1. Водный холодильный транспорт

Рефрижераторные суда классифицируют по ряду основных признаков.

По эксплуатационному назначению суда, предназначенные для перевозки скоропортящейся продукции, подразделяют на рыбопромысловые рефрижераторные суда, специализированные рефрижераторные суда, например рефрижераторные контейнеровозы, транспортные рефрижераторные суда морского и речного исполнения, пригодные для внутренних и внешнеторговых перевозок продуктов,

По температурному режиму в трюмах различают низко- и высокотемпературные рефрижераторные суда. Низкотемпературные рефрижераторные суда предназначены для перевозки замороженных продуктов. Высокотемпературный режим обеспечивает перевозку охлажденных продуктов, преимущественно фруктов и овощей.

Для получения низких температур (до –45 °С) широко используются одноступенчатые холодильные установки с винтовыми компрессорами. Обычно для обслуживания холодильного хозяйства судна используют несколько холодильных установок, работающих на разные

температуры кипения холодильного агента. Холодильную установку с температурой кипения –42 °С преимущественно используют для замораживания рыбы в скороморозильных аппаратах. Для этой цели устанавливают два скороморозильных аппарата, расположенных по бортам судна.

Установка с температурой кипения –38 °С предназначена для поддержания в грузовых помещениях температуры воздуха равной –28 °С.

Установку с температурой кипения –32 °С используют для получения чешуйчатого льда.

Все установки работают по схеме одноступенчатого сжатия с непосредственным охлаждением. Наиболее употребительным холодильным агентом является R22.

Рыбопромысловые рефрижераторные суда подразделяют на добывающие (супертраулеры, большие и малые морозильные траулеры, тунцеловные суда), рыбоперерабатывающие и приемно-транспортные. Добывающие суда предназначены для вылова рыбы, ее замораживания, изготовления свежеохлажденной продукции, изготовления консервов и пресервов.

Обрабатывающие суда предназначены для приема рыбы, изготовления консервов и пресервов. Плавучие базы, входящие в состав обрабатывающих судов, обеспечивают рефрижераторные суда всеми видами снабжения.

Транспортные рефрижераторные суда предназначены преимущественно для приемки с добывающих судов рыбы, ее обработки и доставки продукции в базовые порты.

21.1.1. Системы охлаждения воздуха в трюмах

Для охлаждения воздуха в трюмах рефрижераторных судов применяют две основные системы — системы непосредственного охлаждения воздуха и системы с промежуточным хладоносителем (рассольная система). В качестве приборов охлаждения используют гладкотрубные батареи, панели и воздухоохладители.

Аммиачные системы непосредственного охлаждения с централизованной холодильной машиной не применяют. Правила Регистра запрещают применение аммиачных систем непосредственного охлаждения для грузовых помещений судов.

Системы с промежуточным хладоносителем используют батареи, равномерно распределенные по всем теплоизолированным поверхностям. В качестве хладоносителя в основном используется раствор хлористого кальция ($CaCl_2$).

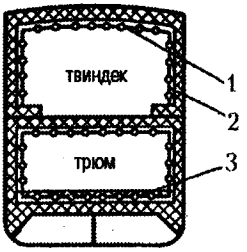


Рис. 21.1
Охлаждение трюма и твиндека при помощи панельной (экранной) системы охлаждения (один из возможных вариантов)
1 — потолочные батареи, 2 — бортовые и переборочные батареи, 3 — батареи днища

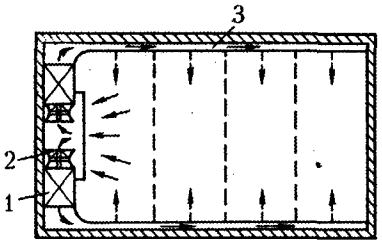


Рис. 21.2
Система охлаждения воздуха в трюме с бортовыми нагнетательными каналами
1 — воздухоохладитель, 2 — вентилятор, 3 — бортовой нагнетательный канал

Более совершенна панельная система охлаждения трюмов. Панели представляют собой листотрубные батареи, при помощи которых экранируются наружные теплоограждающие поверхности охлаждаемых помещений. Панели размещают таким образом, что они образуют охлаждаемый контур (рис. 21.1).

Расстояние между панелью и теплоизоляцией составляет в среднем 0,04 м. Образующееся воздушное пространство не сообщается с воздухом трюма. Это пространство играет роль дополнительной теплоизоляции, что позволяет уменьшить толщину теплоизоляции основного контура.

Панельная система работает недостаточно эффективно при наличии внутренних источников тепла в трюме. Поэтому ее используют преимущественно при транспортировке замороженной продукции.

Воздушное охлаждение применяют для грузов, сохраняемых при положительной температуре.

Воздушные системы отличаются в основном способом распределения воздуха в грузовом объеме. Наиболее просто обеспечивается равномерное распределение воздуха в объеме трюма посредством канальной системы воздухораспределения, в частности, например, при помощи бортовых каналов (рис. 21.2).

21.2. Железнодорожный холодильный транспорт

Вагоны, предназначенные для перевозки охлажденной и замороженной продукции, в зависимости от эксплуатационного назначения подразделяют на универсальные и специальные.

По способу охлаждения вагоны подразделяют на вагоны с машинным охлаждением и вагоны с охлаждением льдосоляной смесью. Последние в настоящее время практически не применяются.

По комплектации различают вагоны, образующие секции (12-вагонная секция, 5-вагонная секция), и автономные вагоны.

Все рефрижераторные вагоны имеют стандартные габаритные наружные размеры (длина — 21 м, ширина — 3,1 м). Размеры дверей должны обеспечивать работу в вагоне автопогрузчика, поэтому их ширина 2 м, высота — 1,43 м.

Все вагоны обеспечиваются системой централизованного энергоснабжения.

Автономный рефрижераторный вагон предназначен для транспортирования продуктов с небольших предприятий пищевой промышленности, с продовольственных баз. Вагон имеет две автономные энергетические и охладительно-отопительные установки. Установки расположены в двух машинных отделениях у торцевых переборок вагона (рис. 21.3).

Холодильная установка расположена в верхней части машинного отделения. Конденсатор имеет запас по площади поверхности теплообмена, что позволяет установке работать при температуре конденсации до 65 °С, т. е. при температуре наружного воздуха до 50 °С.

Запасы топлива достаточны для непрерывной работы установки в течение 8 сут.

5-вагонные рефрижераторные секции вне зависимости от завода-изготовителя имеют одинаковую схему размещения оборудования. В состав секции входят четыре грузовых вагона длиной 21 м с машинными отделениями по торцам вагона с охладительно-отопительным

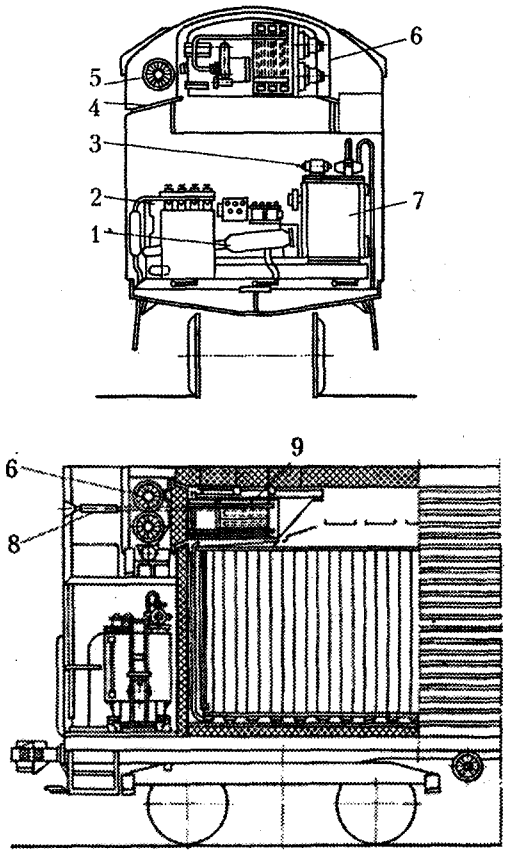


Рис. 21.3
Размещение оборудования в автономном рефрижераторе
1 — устройство для подогрева дизеля, 2 — дизель-генератор, 3 — топливный электронасос, 4 — сток для отвода дождевой воды, 5 — электровентилятор машинного отделения, 6 — холодильная установка, 7 — топливный бак, 8 — канал для подачи свежего воздуха, 9 — воздухоохладитель

оборудованием и один вспомогательный вагон длиной 17 м со служебными помещениями и дизель-электростанцией для централизованного энергоснабжения всех установок.

Общая длина секции составляет 85–101 м (в зависимости от завода-изготовителя). Грузовые секции полностью располагаются вдоль платформы стационарного холодильника.

12-вагонная секция состоит из 10 грузовых вагонов-холодильников и 2 вспомогательных вагонов. В одном вагоне размещены служебные помещения, дизель-электростанция, состоящая из 3 дизель-генераторов мощностью по 66,7 кВт и 1 вагона — машинного отделения.

Вспомогательные вагоны находятся внутри секции (по 10 вагонов с каждой стороны). При большой длине секции на холодильнике единовременно грузовые работы возможны только с одной из частей секции.

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

В каждом грузовом вагоне рассольная система, которая состоит из четырех оребренных батарей, которые размещены под потолком вагона. Между вагонами трубопроводы соединены гибкими шлангами.

Специализированные вагоны предназначены для перевозки вина, живой рыбы и т. д. Они представляют собой изотермические теплоизолированные цистерны. Вагон-термос для перевозки вина и живой рыбы имеет баки со льдом.

Толщина теплоизоляции определяется свойствами принятого материала.

21.3. Автомобильный холодильный транспорт

Автомобильный холодильный транспорт используют как для внутригородских, так и для междугородных (в том числе и международных) рейсов.

Междугородные перевозки выполняет автотранспорт большой грузоподъемности (от 5 до 120 т), длительность рейсов достигает нескольких суток, а протяженность — нескольких тысяч километров, причем двери охлаждаемого кузова на протяжении всей дороги остаются закрытыми. При такой степени автономности холодильная установка транспортного средства должна быть высоконадежной и многофункциональной, поэтому такие установки требуют применения более сложной схемы управления, чем стационарные холодильные установки такой же холодопроизводительности.

Для международных перевозок часто используются охлаждаемые контейнеры, преимуществом которых является автономность конструкции и простота выполнения транспортных операций.

Внутригородские (и внутриобластные) перевозки производятся в течение рабочего дня и сопровождаются частыми остановками продолжительностью 20–30 мин с открыванием дверей при разгрузке. Для этих перевозок используются автомобили малой и средней грузоподъ-

емности (соответственно 0,5–2,0 и 2,0–5,0 т). Они делятся на две основные группы: изотермические (с теплоизолированным кузовом, но без холодильной установки) и авторефрижераторы (с теплоизолированным кузовом и автономной холодильной установкой).

Кроме перечисленных групп транспортных средств выделяют промежуточные варианты конструкций рефрижераторов. В них источник холода является периодически возобновляемым. К ним относят автомобили с *азотной*, *сухоледной* и *зероторной* (аккумуляторной) системами охлаждения.

При изготовлении и эксплуатации холодильного транспорта должны соблюдаться технические требования, зафиксированные в Женевском «Соглашении по международным перевозкам скоропортящихся продуктов и специальному оборудованию, применяемому для таких перевозок». При перевозке охлажденных или замороженных грузов изотермическим автомобилем низкая температура в кузове поддерживается либо за счет холода, аккумулированного самим грузом, либо за счет загрузки непосредственно в кузов источника холода, например сухого льда (твердой углекислоты).

По способности создавать и поддерживать температуру внутри кузова рефрижераторы подразделяются на три класса: класс А — 0...+12 °С; класс В — –10...+12 °С; класс С — –20...+12 °С. Рефрижераторы класса В и С должны иметь усиленную теплоизоляцию.

У большинства рефрижераторов в зимнее время кузов может обогреваться за счет работы холодильной машины в режиме теплового насоса. В большинстве случаев ее компрессор имеет привод либо от двигателя автомобиля, либо от собственного двигателя. Существуют модификации рефрижераторов, оборудованные дополнительным компрессором, работающим от внешней электросети с напряжением 220 или 380 V, для работы во время стоянки или перед загрузкой.

21.3.1. Эксплуатационные особенности транспортных систем охлаждения

Машинные системы охлаждения

Наибольшее распространение получила механическая система охлаждения при помощи компрессора холодильной машины. Система не отличается от рассмотренных ранее холодильных машин. Особенности транспортной конструкции проявляются только в оформлении отдельных элементов холодильной машины. Это прежде всего касается конструкции энергоподвода и способа соединения энергетической установки с компрессором холодильной машины.

По роду привода компрессора различают следующие типы установок:

- с приводом от основного двигателя автомобиля через гидропередачу или непосредственно через специальную электрическую муфту;
- с приводом от автономного специального двигателя внутреннего сгорания;
- с электроприводом от дизель-генератора.

Тип привода зависит в основном от производительности холодильной установки, которая, в свою очередь, определяется грузоподъемностью автомобиля и заданным температурным режимом. Это же определяет и конструктивные особенности установки, ее компоновку и размещение.

В авторефрижераторах малой и средней грузоподъемности используют установки первого типа. В авторефрижераторах средней грузоподъемности применяют в основном установки второго типа, а для авторефрижераторов большой грузоподъемности применяют холодильные установки как второго, так и первого типа.

Недостаток гидропривода (рис. 21.4) состоит в том, что он ограничивает производительность холодильной установки, поэтому в большинстве случаев стремятся к самостоятельному приводу установки.

С этой целью моноблочную холодильную установку комплектуют, например, бензиновым двигателем, дизельным двигателем или двигателем, работающим на пропане. Одной из разновидностей привода компрессора, вентиляторов воздухоохладителя и конденсатора является привод через клиноременную передачу (рис. 21.5).

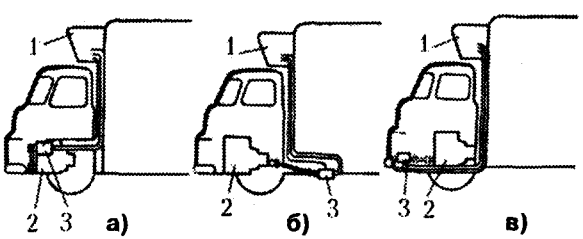


Рис. 21.4
Компоновка агрегатированных холодильных установок с гидроприводом:
а) гидропривод рядом с двигателем; б) гидропривод под кузовом;
в) гидропривод впереди двигателя
1 — холодильная установка, 2 — двигатель автомобиля,
3 — гидропривод

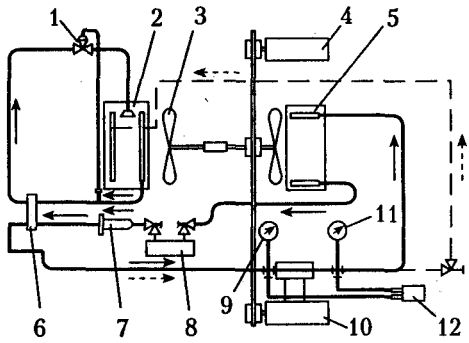


Рис. 21.5
Принципиальная схема холодильной установки

1 — ТРВ, 2 — воздухоохладитель, 3 — блок вентиляторов, 4 — бензиновый двигатель, 5 — конденсатор, 6 — теплообменник, 7 — фильтр, 8 — ресивер, 9, 11 — мановакуумметры, 10 — компрессор, 12 — реле давления

Недостатками существующих систем машинного охлаждения являются их сложность, высокие капитальные затраты на приобретение, установку холодильной машины и относительно медленный выход ее на технологически заданный температурный режим. Это обстоятельство обусловлено рядом причин.

При внутригородских перевозках в летний период теплоприток внутрь кузова через открытую дверь значительно превышает теплоприток через ограждения, поэтому большое значение приобретает скорость выхода холодильной машины на заданную температуру в кузове. При каждом открывании дверей для разгрузки товаров в течение нескольких минут температура воздуха в кузове практически сравнивается с наружной. Для снижения температуры воздуха в кузове до первоначального значения типовой холодильной машине требуется порядка часа. Если водитель в течение рабочего дня должен объехать 6–8 объектов торговли (торговых точек), то при этих условиях холодильная машина рефрижератора не сможет обеспечить стабильную температуру воздуха в кузове.

Для изменения такой ситуации кузов можно разделить на секции с несколькими дверями уменьшенных размеров или использовать в 2–3 раза более мощную холодильную машину. Однако это значительно удорожает рефрижератор, требует увеличения мощности на валу двигателя.

Эффективное охлаждение кузова автомобиля достигается при посредстве азотной или сухоледной системы охлаждения.

Азотная система

Азотная система основана на разбрызгивании жидкого азота через форсунки распылительного коллектора 3 (рис. 21.6) из специального теплоизолированного сосуда 1 непосредственно в кузов, который в результате этого охлаждается всего за 10 мин.

Охлаждение воздуха в кузове достигается за счет низкой температуры кипения жидкого азота при атмосферном давлении (–195,6 °С) при большой величине теплоты испарения (199,7 кДж/кг).

Температурный уровень воздуха в кузове рефрижератора обеспечивается посредством реле температуры 4, включающего и выключающего соленоидный вентиль 2.

Азотная система позволяет поддерживать температуру воздуха в охлаждаемом объеме с отклонением в ±1 °С.

Несмотря на отмеченные достоинства азотной системы, для практического применения таких рефрижераторов необходима сеть заправочных станций и специализированное оборудование для ежедневной заправки системы жидким азотом. Кроме того, содержание азота в кузове может достигать 99%, что требует дополнительного времени на проветривание перед входом в него людей.

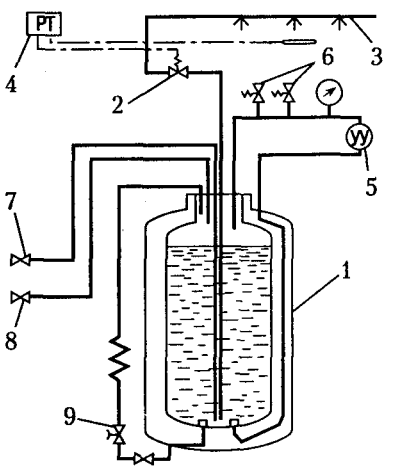


Рис. 21.6
Устройство подачи жидкого азота

1 — сосуд, 2 — вентиль подачи жидкого азота, 3 — распылительный коллектор, 4 — регулятор температуры, 5 — указатель уровня азота, 6 — предохранительные клапаны, 7 — вентиль заправки, 8 — вентиль сброса холодильного агента, 9 — регулятор давления

Сухоледная система

Сухоледная система охлаждения кузова более проста и имеет меньшую массу при практически равной с азотной системой холодопроизводительности. Техническое исполнение системы охлаждения воздуха разнообразно. Как правило, система представляет собой конструкцию, которая состоит из емкости, заполненной «сухим льдом», через которую вентилятором продувается воздух (рис. 21.7).

«Сухой лед» в виде гранул засыпается в металлическую емкость 2. Через эту емкость вентилятором 3 продувается воздух, который поступает в кузов. Регулирование температуры осуществляется посредством реле температуры 4, включая и выключая вентилятор 3. При открывании дверей концевой выключатель 5 отключает систему.

Эксплуатация таких систем показала, что время выхода кузова на температурный режим составляет 10–20 мин. Эффективность охлаждения воздуха в кузове обеспечивается низкой температурой сублимации «сухого льда» (–78,9 °С) при высоком значении теплоты сублимации (575 кДж/кг).

Длительность механизированной заправки рефрижератора «сухим льдом» — 7–10 мин.

Широкое внедрение таких систем сдерживается относительным дефицитом «сухого льда» и неясностью ближайших перспектив его производства с точки зрения влияния диоксида углерода на глобальное потепление атмосферы Земли. Кроме того, эксплуатация системы с расходуемым холодильным агентом обычно обходится дороже, чем циклличное машинное охлаждение.

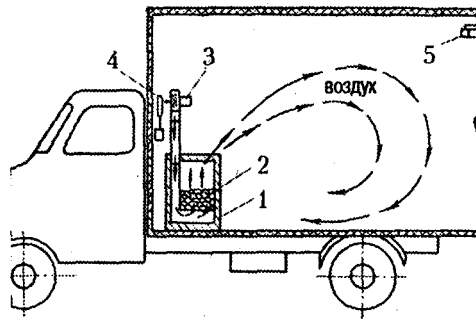


Рис. 21.7
Система охлаждения кузова сухим льдом

1 — изолированная емкость, 2 — короб с «сухим льдом»,
3 — вентилятор, 4 — регулятор температуры, 5 — выключатель системы

Таким образом, каждый вид автомобильного холодильного транспорта имеет свои преимущества, недостатки и особенности, поэтому его выбор должен основываться на технико-экономическом анализе ситуации.

Автомобильный транспорт — это транспорт широкого профиля. Помимо традиционных видов холодильного транспорта — крупно- и малотоннажных авторефрижераторов, торговых прицепов — получили распространение автомагазины, оснащенные холодильным оборудованием, автокафе-грили с холодильным оборудованием, автоаптеки с холодильным оборудованием на аккумуляторах холода и т. д.

В них в качестве транспортного холодильного оборудования используются холодильные витрины, шкафы, холодильные камеры и т. д., учитывающие специфику эксплуатации холодильного оборудования в транспортных условиях.

Малотоннажные рефрижераторы

Малотоннажные рефрижераторы предназначаются для перевозки охлажденной продукции, а также для развозки такой продукции в течение рабочего дня по ряду торговых точек.

Малотоннажные авторефрижераторы содержат следующие основные составляющие: *шасси, изотермический кузов, холодильное оборудование.*

В качестве шасси наиболее широко используется продукция автозаводов «ВАЗ», «ГАЗ» и «ЗИЛ», включая ВИС, ГАЗ-3302 «Газель» (рис. 21.8, 21.9) и ЗИЛ-5301 «Бычок». Типовые объемы кузовов на автомобилях типа ВИС, «Газель», «Бычок» составляют 2,8; 8–10; 14–24 м^3.

Выбор того либо иного шасси в условиях стоимостных ограничений всецело обусловлен требованиями заказчика по грузоподъемности. Для ГАЗ-3302 «Газель» эта величина составляет приближенно 1000 кг, а для автомобиля ЗИЛ-5301 «Бычок» эта же величина составляет 3000 кг.

В качестве изотермических кузовов используются кузова, изготовленные из сэндвич-панелей с пенополистирольной или пенополиуретановой теплоизоляцией толщиной 0,04–0,1 м.

Основным показателем качества изотермических свойств кузова является коэффициент теплопередачи, который должен быть не выше 0,4 Вт/(м^2 · °С).

Наиболее близкими к таким показателям являются пластиковые кузова из пятислойных сэндвич-панелей.

Конструкция кузова зависит от назначения рефрижератора. Если рефрижератор предназначен только для перевозки продовольствия из

одной торговой точки в другую, кузов содержит две задние распашные двери. Холодильная машина авторефрижератора ГАЗ-3302 «Газель» имеет привод от двигателя автомобиля. Авторефрижератор дополнительно оснащен стояночной секцией, т. е. холодильной машиной, которая на время погрузки или разгрузки авторефрижератора подключается к электрической сети торговой точки. Холодильное оборудование обеспечивает температуру воздуха в кузове от –20 до 5 °С.

В том случае, если транспортное средство предназначено для развозки замороженных продуктов, кузов обычно содержит боковые двери, количество которых составляет: 3–6 для автомобиля «Газель» и 4–8 для автомобиля типа «Бычок».

Температура воздуха в многодверном рефрижераторе «Газель» — –20...–10 °С — обеспечивается работой стояночной секции и посредством аккумуляторов холода.

Представителем холодильного транспорта небольшой грузоподъемности является рефрижератор на базе шасси ВАЗ (рис. 21.10):

Холодильная установка С-090 (*Termo King*) с приводом от двигателя автомобиля обеспечивает температуру воздуха в охлаждаемом объеме 0–5 °С.

Холодильное оборудование для малотоннажных рефрижераторов делится на две группы: холодильное оборудование со стандартной холодильной машиной, имеющей воздухоохладитель, и холодильное оборудование с аккумуляторами холода.

Рис. 21.8
Рефрижератор на базе шасси ГАЗ-3302 «Газель»

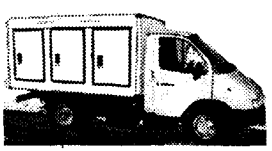


Рис. 21.9
Многодверный рефрижератор на базе шасси ГАЗ-3302 «Газель»

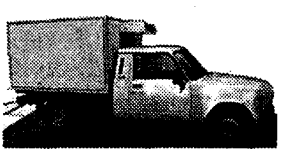


Рис. 21.10
Авторефрижератор ВАЗ-2105

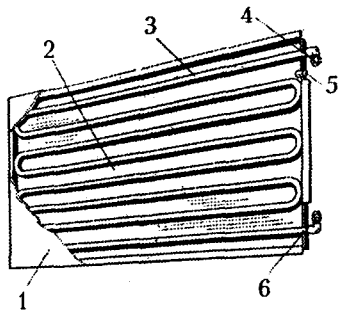


Рис. 21.11
Испаритель-аккумулятор
1 — наружный кожух, 2 — этектический раствор, 3 — змеевик испарителя, 4 — штуцер выходной, 5 — штуцер для вакуумирования, 6 — штуцер входной

В состав малотоннажного холодильного оборудования входят: компрессор, конденсатор, испаритель (воздухоохладитель) и блок управления. В ряде случаев возможна модификация холодильного оборудования с включением в состав установки так называемой стояночной секции, компрессор которой работает от напряжения 220 V.

В малотоннажных рефрижераторах работа компрессора осуществляется путем привода от двигателя автомобиля.

Блок управления позволяет осуществлять включение (выключение) компрессора при работающем двигателе, осуществляя контроль температуры в изотермическом кузове.

В зависимости от применяемой модели холодильного оборудования холодопроизводительность холодильной машины лежит в диапазоне от 2650 Вт (при температуре воздуха на входе в испаритель 0 °С) до 1480 Вт (при температуре воздуха на входе в испаритель –20 °С).

Авторефрижераторы с аккумуляторами холода *в качестве холодильного оборудования используют: холодильный агрегат, аккумуляторы холода, элементы контроля и управления.*

Аккумуляторы холода (рис. 21.11) представляют собой конструкцию, выполненную в виде плоского металлического корпуса с расположенным внутри него трубопроводом для прохождения хладагента. Внутри короба находится эвтектический раствор с требуемой температурой замерзания, например –30 °С. Холодильный агрегат и аккумулятор холода образуют единую холодильную систему.

Работа холодильного оборудования осуществляется следующим образом. На ночь холодильное оборудование рефрижератора подклю-

чается к сети переменного тока напряжением 220 V. В течение 8–10 ч осуществляется замораживание эвтектических растворов аккумуляторов. В испарителях-аккумуляторах холод запасается в виде ледяных образований. Этого обычно бывает достаточно, чтобы при развозке продовольствия и при 20–40 открываниях одной из дверей многодверного рефрижератора можно было обеспечить температуру внутри кузова на уровне –20...–15 °С.

После возвращения рефрижератора на базу рефрижератор вновь подключается для зарядки аккумуляторов холода к сети 220 V.

Рефрижератор с аккумуляторами холода имеет ряд особенностей и преимуществ по сравнению с рефрижераторами с воздухоохладителями:

- загрузка продуктов осуществляется не в теплый кузов, а в охлажденный до требуемой температуры, например –24...–22 °С;
- температура в кузове при открывании одной из многих боковых дверей падает незначительно;
- нет отбора мощности от двигателя автомобиля для работы холодильной установки, что положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках автомобиля и сроках службы автомобильного двигателя;
- повышенная ремонтопригодность рефрижератора с аккумуляторами холода по сравнению с воздухоохладителями.

Разновидностью авторефрижераторов являются автомагазины.

Автомагазины

Автомагазины (рис. 21.12), оснащенные холодильным оборудованием, предназначаются для проведения выездной торговли и продажи разнообразных продуктов. Автомагазины предназначены для продажи колбасных изделий, замороженных полуфабрикатов, пельменей, молока и молочных продуктов, разливного молока, свежего мяса, свежей и мороженой рыбы, кур, пива.

Автомагазины содержат следующие составляющие: шасси, торговый кузов, холодильное оборудование, электрооборудование, торговое оборудование.

Для осуществления торговли используются различные по характеристикам торговые кузова. Огромное многообразие торговых кузовов можно свести в три группы.

Первая группа. Это кузова с крашеной металлической обшивкой и с теплоизоляцией из пенопластовых плит толщиной 25–50 мм. Это са-

мые недорогие и простые в производстве кузова. Основной недостаток — подверженность коррозии и невысокие теплозащитные свойства.

Вторая группа. Это кузова из сэндвич-панелей с крашеной металлической теплоизоляцией из пенополиуритана. Они имеют хорошую теплоизоляцию фургона, но сохраняют основной недостаток — подверженность коррозии даже при использовании оцинкованного железа.

Третья группа. Это кузова, выполненные из пятислойных сэндвич-панелей с пластиковым внешним покрытием и пенополистирольной теплоизоляцией с алюминиевым обрамлением кузова. Они имеют высокую теплоизоляцию и обладают высокими эксплуатационными характеристиками из-за отсутствия коррозии.

В состав типового холодильного оборудования автомагазина входят холодильная витрина, холодильный шкаф, холодильная камера.

Стандартные витрины, шкафы и камеры, предназначенные для стационарных объектов, не могут быть использованы в автомагазинах, поскольку:

- не предназначались для эксплуатации в условиях многообразных динамических и вибрационных нагрузках;
- в автомагазинах наблюдается значительное превышение уровня температурных воздействий на холодильное оборудование, достигающее температур 35–45 °С, по сравнению с температурами помещений стационарных магазинов 25 °С;
- типоразмеры стационарного холодильного оборудования не вписываются в ограниченные размеры кузовов.

Кроме того, холодильное оборудование с конвективным движением воздуха в нем непригодно, так как в течение одного рабочего дня количество открываний, например двери шкафа, при интенсивной торговле доходит до 300–500.

Рис. 21.12
Автомагазин на базе шасси ГАЗ-3302 «Газель»

Все это определяет специфику комплекса холодильного оборудования для автомагазина.

В качестве холодильного оборудования используются холодильные агрегаты и элементы автоматики фирм *DANFOSS, Electrolux, Friga Bohn.* Качество и долговечность изделий достигаются тем, что в процессе производства используется высококачественная порошковая окраска элементов изделий, в витринах применяются высококачественная нержавеющая сталь, алюминиевые изделия и витринные стекла.

Все изделия имеют автоматическое удаление инея с поверхности испарителей, позволяющее своевременно удалять иней и восстановить нормальный процесс поддержания требуемого температурного режима в охлаждаемом объеме.

Электрооборудование автомагазинов предназначено для питания холодильного оборудования, освещения и работы торгового оборудования. Его основные параметры: напряжение 220 V, частота 50 Гц, мощность до 5 кВт.

Автомагазин содержит дополнительное торговое оборудование для осуществления торговли. К нему относятся: мойка, полки, разделочные столы, ниши для одежды, кассовые аппараты, весы.

Автокафе-гриль с холодильным оборудованием

Автокафе-гриль преимущественно выполняется на шасси автомобиля ГАЗ-3302 «Газель» либо на шасси прицепа. Автокафе оснащается электрическим либо газовым грилем для приготовления кур. Грили могут обеспечить приготовление от 12 до 66 кур.

Транспортное холодильное оборудование

Транспортное холодильное оборудование представлено следующими изделиями: холодильными витринами, холодильными шкафами, холодильными камерами. Основные технические характеристики отражены ниже.

Холодильные витрины предназначены для демонстрации продуктов при обеспечении работоспособности и эксплуатации их в составе автомобиля. Температура внутри витрин: –4...8 °С. Объемы витрин: 500–1000 л. Напряжение питания 220 V. Потребляемая электрическая мощность 400–600 Вт.

Холодильные шкафы предназначены для хранения ограниченного количества продуктов весом 160–300 кг при эксплуатации их в составе автомобиля. Температура воздуха внутри шкафа 0...4 °С. Объем хо-

лодильного шкафа 350–1200 л. Длина шкафа 1,9–3 м. Напряжение питания 220 V. Потребляемая электрическая мощность 400–600 Вт.

Холодильные камеры. Температура внутри камеры 0...+4 °С. Объемы холодильной камеры 2000–4000 л. Длина камеры 2–4 м. Напряжение питания 220 V. Потребляемая электрическая мощность 400–800 Вт.

Контрольные вопросы:

1. Какие виды холодильного транспорта обеспечивают единство непрерывной холодильной цепи продуктов от производства до потребления?
2. Какие системы охлаждения воздуха используются на рефрижераторных судах?
3. Какие типы железнодорожного транспорта используются для перевозки продуктов?
4. Какие системы охлаждения используют на автомобильном транспорте?
5. Каковы эксплуатационные достоинства и недостатки азотной и сухоледной систем охлаждения воздуха?
6. Какие типы малотоннажного холодильного транспорта используют для транспортировки и продажи продуктов?

Глава 22
ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

22.1. Технический уход и обслуживание

В современных условиях обслуживание холодильного оборудования предприятий общественного питания и торговли определяется спецификой предприятия и подходом к решению этой проблемы его руководством. Как правило, приобретение торгового холодильного оборудования в специализированных комплексных торговых фирмах обусловлено договорными условиями, в которых оговариваются условия транспортировки, монтажа, наладки, пуска и последующего обслуживания холодильного оборудования. При этом договорные условия определяют весь комплекс профилактических и ремонтных работ, связанных с последующим обслуживанием торгового холодильного оборудования.

При отсутствии договорных отношений, определяющих весь комплекс мероприятий по обслуживанию холодильного оборудования (как правило, это касается предприятий небольшой производственной мощности), они пользуются услугами специалистов по ремонту холодильного оборудования по мере того, как обнаруживаются неполадки в его эксплуатации. В этом случае технический уход за торговым холодильным оборудованием, как правило, осуществляет непосредственно персонал предприятия.

Закрепление холодильного оборудования за персоналом осуществляют с учетом рабочего места работника. Например, за продавцом мясного отдела закрепляют одну или две витрины, которые являются составной частью его рабочего места.

Персонал проходит технический инструктаж у руководителя предприятия. Персоналу вменяется в обязанность следить за правильной эксплуатацией, надлежащим санитарно-техническим состоянием оборудования.

Осуществляя технический инструктаж персонала предприятия по эксплуатации и обслуживанию холодильного оборудования, руководство предприятия или технический специалист обращают внимание на выполнение персоналом основных правил эксплуатации этого оборудования. Эти правила сводятся к следующему:

1. В холодильное оборудование запрещается загружать теплые продукты. Продукты можно помещать в холодильное оборудование лишь после того, как они будут охлаждены до комнатной температуры.
2. В холодильном оборудовании продукты следует укладывать в соответствии с техническими требованиями к эксплуатации холодильного оборудования. Продукты на полках следует размещать таким образом, чтобы обеспечивалась свободная циркуляция воздуха через решетки полок.
3. Не допускается размещать продукты вблизи стенок холодильного оборудования и поверхности испарителя, поскольку это может затруднить циркуляцию воздуха в охлаждаемом объеме.
4. Запрещается закрывать решетчатые полки бумагой, тканью, устанавливать подносы для кухонной посуды на полках холодильного оборудования.
5. Запрещается использовать неспециализированное холодильное оборудование для охлаждения или замораживания продуктов.

Кроме перечисленных требований, касающихся эксплуатации холодильного оборудования, следует выполнять комплекс мер, обеспечивающих надлежащую его работу.

Слой инея на поверхности испарителя не должен превышать 3–5 мм. Межреберное пространство испарителя должно быть свободно от инея. При увеличении толщины инея на поверхности испарителя более 5 мм должно обеспечиваться удаление инея с поверхности испарителя.

В соответствии с санитарными требованиями холодильное оборудование должно периодически протираться и мыться. После санитарной обработки холодильное оборудование должно быть просушено.

Работа холодильной машины должна протекать без обмерзания части компрессора, появления стуков в компрессоре, указывающих на возможную его работу влажным ходом.

Электродвигатель и пусковая аппаратура должны работать без гудения и искрения, характерного для отсутствия надлежащего электрического контакта в элементах аппаратуры.

К услугам технических специалистов по холодильному оборудованию руководство предприятия прибегает, если по наблюдениям персонала предприятия наблюдается нарушение температурного режима в охлаждаемом объеме, компрессор холодильного агрегата не работает или работает с недопустимым перегревом паров на сжатии или с высоким уровнем шума.

Персонал предприятия, эксплуатирующий холодильное оборудование, должен периодически проходить технический инструктаж. Инструктаж проводится руководством предприятия или специалистом по холодильному оборудованию, имеющим соответствующую квалификацию.

По всем типам холодильного оборудования должно быть обеспечено хранение технической документации. Документация хранится вместе с журналом технического обслуживания, в котором отражается выполненная работа специалиста (механика холодильного оборудования), его рекомендации в части эксплуатации оборудования.

Техническое обслуживание холодильного оборудования состоит в комплексе мероприятий, направленных на поддержание оборудования в состоянии постоянной работоспособности (контроль технического состояния, устранение мелких неисправностей, проверка и наладка режима).

Техническое обслуживание, текущий ремонт и устранение отказов холодильного оборудования осуществляются только специалистом (механиком) по ремонту холодильного оборудования.

Внешним осмотром холодильное оборудование проверяют на соответствие правилам безопасной эксплуатации. Обращается внимание на надежность крепления и отсутствие механических повреждений электрических проводов защитного заземления (зануления) от автоматического выключателя на электрощите оборудования до заземляющих клемм.

Проверяется комплекс оборудования, состояние внутренних поверхностей охлаждаемого объема, наличие ограждения холодильного агрегата. Осматриваются электроаппаратура, приборы автоматического регулирования холодопроизводительности холодильной машины, проверяется состояние испарителей, устройств удаления талой воды, уплотнительных устройств и профилей дверей холодильного оборудования.

Проверяется наличие или отсутствие следов масла на соединениях трубопроводов, свидетельствующих об утечке хладагента. Галоидной лампой или другими течеискателями проверяют герметичность всех соединений.

Водорегулирующий вентиль проверяют на работоспособность при пуске агрегата и на закрытие при остановке.

Проверяется режим работы холодильного оборудования на соответствие технологически заданному температурному режиму в охлаждаемом объеме.

Настройку реле низкого давления, обеспечивающего включение и выключение компрессора холодильной машины, проверяют подключением к штуцеру всасывающего вентиля мановакуумметра. По давлению кипения холодильного агента при включении и выключении компрессора судят о температуре кипения холодильного агента и соответственно о температуре воздуха в охлаждаемом объеме. Обращается внимание на равномерность обмерзания поверхности испарителя. Проверяется работа реле высокого давления.

После завершения работы механик, обслуживающий холодильное оборудование, осуществляет инструктаж персонала по обслуживанию этого оборудования.

Выполненная работа отражается в журнале технического обслуживания.

22.2. Основные показатели нормальной работы холодильной машины

В обязанности персонала, эксплуатирующего холодильное оборудование, руководством предприятия включается наблюдение за его надлежащей работой. Первые признаки отклонения в работе холодильного оборудования от технологически заданного температурного режима опираются прежде всего на визуальные наблюдения персонала. Персонал следит за состоянием и работой отдельных элементов холодильной машины и холодильного оборудования в целом.

Визуальными признаками нормального режима работы холодильной машины являются:

- равномерное распределение инея по поверхности испарителя, отсутствие инея на всасывающем трубопроводе компрессора (за исключением низкотемпературного холодильного оборудования, когда всасывающий трубопровод рядом с испарителем покрыт инеем);
- компрессор и электродвигатель работают в отсутствии вибрации и посторонних шумов;
- нет искрения и нагрева электрических проводов в местах их присоединения к компрессору и приборам автоматики;

- коэффициент рабочего времени компрессора не выходит за пределы, установленные для данного типа оборудования.

Работа торгового холодильного оборудования считается нормальной, если выполняется ряд требований. Они связаны прежде всего с обеспечением в оборудовании технологически заданной температуры воздуха.

Заданная температура воздуха в охлаждаемом объеме торгового холодильного оборудования обеспечивается цикличной работой холодильной машины, т. е. реализуется принцип остановки и пуска компрессора. Нормальное количество циклов в час для работы компрессора торгового холодильного оборудования должно составлять 5–6.

Температура конденсации в конденсаторах с воздушным охлаждением должна быть на 10–12 °С выше температуры воздуха, выходящего из конденсатора. Нагрев воздуха в конденсаторе составляет 4–5 °С.

В конденсаторах с водяным охлаждением закрытого типа температура конденсации выше средней температуры охлаждающей воды на 8–10 °С. Нагрев воды в водяных конденсаторах составляет 4–6 °С.

В холодильном оборудовании с ребристыми хладоновыми испарителями температура кипения холодильного агента в испарителе на 12–15 °С ниже температуры воздуха в охлаждаемом объеме. В холодильных витринах и домашних холодильниках разность температур достигает 20–25 °С.

В холодильном оборудовании с ребристыми аммиачными испарителями температура кипения холодильного агента на 8–12 °С ниже температуры воздуха в холодильной камере.

Температура кипения холодильного агента в испарителях с хладоносителем ниже средней температуры хладоносителя на 4–6 °С. В испарителе хладоноситель охлаждается на 2–4 °С.

Среди многих нарушений в работе холодильного оборудования, которые наблюдаются при его эксплуатации, выделяют следующие:

- нарушения электрооборудования. Они связаны в основном с неисправностью пусковой и защитной электрической аппаратуры;
- нарушения, связанные с состоянием холодильной машины и приборов автоматики. При частичной потере холодильного агента изменяется коэффициент рабочего времени компрессора, что приводит к повышению температуры воздуха в охлаждаемом объеме. При поломке капиллярной трубки ТРВ (терморегулирующего вентиля) в зависимости от прибора автоматики остановки и пуска компрессора компрессор останавливается или работает непрерывно;

- неисправность ВРВ (водорегулирующего клапана) приводит к перерасходу воды на конденсаторе или при отсутствии подачи воды на конденсатор к остановке компрессора.

Для увеличения срока эксплуатации холодильного оборудования оно должно периодически проходить планово-предупредительный ремонт (ППР). В планово-предупредительный ремонт входит работа по межремонтному техническому обслуживанию, которое заключается в надзоре со стороны специалистов (механиков) за состоянием оборудования.

Плановые ремонты принято подразделять на три вида: текущие, средние и капитальные. Текущие и средние ремонты осуществляются на месте эксплуатации холодильного оборудования. Капитальный ремонт выполняют на специализированных ремонтных комбинатах холодильного оборудования.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоят требованию к обслуживающему персоналу в части эксплуатации холодильного оборудования?
2. Каковы признаки нормальной работы холодильного оборудования?
3. Кто осуществляет текущий ремонт холодильного оборудования?

Глава 23

О ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБАХ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ХОЛОДА (в рамках информационного представления)

Проблема глобального потепления климата, влияние хладонов как возможной причины разрушения озонового слоя дали мощный толчок развитию исследований в области новых перспективных способов получения холода. Ряд публицистов[1] высказывают достаточно ортодоксальное мнение, что, несмотря на высокий холодильный коэффициент, у компрессионных систем нет будущего даже с учетом очевидного прогресса в области совершенствования компрессоров. Предполагается, что вслед за революцией в энергетике должна прийти революция в принципах получения холода.

В промышленных холодильных установках, возможно, основным источником холода станут идущие с поглощением теплоты эндотермические химические реакции, или электроволновые процессы (антипод СВЧ-печи). В этом смысле абсорбционные и адсорбционные машины отчасти рассматриваются как весьма далекий, но все же прообраз холодильной техники будущего.

В области малого холода ситуация более определенная. Здесь возможно расширение возможной сферы применения полупроводниковой техники и термоионных преобразователей. Развитие полупроводниковой холодильной техники привело к созданию компактных холодильников, прежде всего для холодильного транспорта. Технические устройства на основе термоионных преобразователей находятся в стадии разработки.

---

[1] *Семенюк В. А.* Термоэлектрическое охлаждение: состояние и перспективы // Холодильная техника и технология. 2000. Вып. 62; *Филин С. О.* Фреоны: быть или не быть? Щецинская политехника (Польша), Ж. «ХБ» № 5/2001.

23.1. Получение холода при помощи «холодильного чипа»

В 1998 г. в США запатентован так называемый холодильный чип. В основе его работы лежит принцип термоионного охлаждения, опирающийся на два изобретения XVIII и XIX вв., на первый взгляд совершенно не связанные друг с другом. Первое изобретение — это холодильная машина Уильяма Каллена, производящая холод за счет откачивания паров воды. Второе изобретение — вакуумный диод. Вместо традиционного рабочего вещества в виде атомно-молекулярных жидкостей (хладонов) в термоионном охладителе в качестве хладагента выступает «электронный газ».

Катод и анод, разделенные вакуумной прослойкой, — это аналоги испарителя и конденсатора холодильной машины. Если к электродам приложить напряжение, то электроны, «испаряющиеся» из катода, начинают переносить теплоту от охлаждаемого тела к аноду и, таким образом, наблюдается эффект охлаждения. Ширина зазора между электродами должна быть меньше длины свободного пробега электрона. В этом случае электрон преодолевает барьер, не теряя энергию, что обеспечивает высокую интенсивность охлаждения.

Обычный вакуумный диод использовать для охлаждения нельзя. Расстояние между катодом и анодом здесь порядка тысяч микрон, и материалы, из которых сделаны электроды, переносить на такие расстояния поток электронов при комнатной температуре не в состоянии.

Современные достижения микроэлектроники позволяют создать микросхему, включающую как анод с катодом с минимальным зазором между ними (около одного микрона), так и внешнюю структуру охлаждающего устройства, обеспечивающую хороший тепловой контакт с объектом охлаждения. Это и есть *cool chip* — «холодильный кристалл», или, выражаясь компьютерным языком, «холодильный чип». Переход холодильной техники к таким кристаллам по своему значению сопоставим с переходом от ламповых транзисторов к интегральным микросхемам.

История термоионного охлаждения насчитывает всего несколько лет, но уже полна своего внутреннего драматизма. Впервые идея термоионного охлаждения была высказана в 1994 г. американским физиком профессором Д. Маханом. Раскрывая физический механизм данного явления, он пришел к выводу, что «такого не может быть, потому что такого не может быть никогда». В природе не существовало веществ, которые легко бы отдавали электроны при комнатных темпера-

турах. Однако в том же году пессимизм в отношении перспектив термоионного охлаждения пропал. На XIII международной конференции по термоэлектричеству речь зашла о получении полупроводниковых материалов с желаемой работой выхода. К настоящему времени группы исследователей в Европе, США и Японии уже получили композиции полупроводниковых материалов, работа выхода которых вполне приемлема для целей термоионного охлаждения. Число публикаций по этим исследованиям стремительно растет.

Своим собственным путем пошли английские исследователи, синтезируя органические микроциклические соединения с малой работой выхода.

Определенный вклад в исследования полупроводниковых материалов внесли и украинские ученые из Физико-химического института АН Украины, которые давно занимаются исследованием аналогичных веществ. Замешанная на экономической выгоде конкуренция двух названных направлений в получении материалов для термоионного охладителя придает дополнительную интригу и динамику исследованиям.

Конкретные технические детали и готовность отдельных этапов работ фирмами на настоящий момент не разглашаются по соображениям сохранения коммерческой тайны. Предполагалось, что промышленный образец термоионного охладителя может появиться в конце 2000 г. Согласно теоретическим оценкам, энергетическая эффективность этого типа охладителей ожидалась в 1,5–2,5 раза выше, чем у компрессионных систем.

Предполагается, что охлаждающее устройство (испаритель) домашнего холодильника объемом 200 дм^3 на холодильных чипах должно состоять из 25 кристаллов, каждый из которых обеспечит холодопроизводительность около 3 Вт/см^2.

До настоящего времени привлекательная идея «холодильных чипов» не получила практической реализации, однако способ перспективен. Если появится возможность обеспечить посредством «холодильных чипов» высокую холодопроизводительность, можно предположить, что он найдет широкое практическое применение.

ПРИЛОЖЕНИЕ[1]

Метод интерполяции для оценки величин A и μ тел стандартной стереометрической формы

Значения величин A_1, A_2, A_3 и μ_1, μ_2, μ_3 (данные табл. 3.1, 3.2 приложения) находятся по величине Bi методом интерполяции.

Пример 1

$Bi = 0{,}24$. Установить коэффициент ряда Фурье A_1 по данным табл. 3.2.

Последовательность решения:

1. Находится разность величин $Bi = 0{,}2$ и $Bi = 0{,}4$ (0,4–0,2 = 0,2).
2. Находится разность значений A_1 при величинах $Bi = 0{,}4$ и $Bi = 0{,}2$ (1,116–1,059 = 0,057) (данные табл. 3.2).
3. Находится разность Bi между ближайшим расчетным и табличным значением (0,24–0,2 = 0,04).
4. Составляется пропорция:

$$\frac{0{,}2}{0{,}04} = \frac{0{,}057}{x};\ x = \frac{0{,}04 \cdot 0{,}057}{0{,}2} = 0{,}0114.$$

5. Находится значение величины A_1 при заданном значении величины $Bi = 0{,}24$:

$$A_1 = 1{,}059 + 0{,}0114 = 1{,}0704.$$

Значение величины μ_1 находится аналогично.

Пример 2

$Bi = 0{,}24$. Установить корень характеристического уравнения μ_1 по данным табл. 3.2.

---

[1] Нумерация таблиц и рисунков приложения соответствует нумерации глав учебника. Например, табл. 3.1 является первой таблицей приложения, связанной с содержанием материала гл. 3.

Последовательность решения:

1. Находится разность величин $Bi = 0{,}2$ и $Bi = 0{,}4$ (0,4–0,2 = 0,2).
2. Находится разность значений μ_1 при величинах $Bi = 0{,}4$ и $Bi = 0{,}2$ (1,053–0,759 = 0,294).
3. Находится разность значений Bi между ближайшим расчетным и табличным (0,24–0,2 = 0,04).
4. Составляется пропорция:

$$\frac{0{,}2}{0{,}04} = \frac{0{,}294}{x};\ x = \frac{0{,}04 \cdot 0{,}294}{0{,}2} = 0{,}0588.$$

5. Находится значение величины μ_1 при заданном значении величины $Bi = 0{,}24$

$$\mu_1 = 0{,}759 + 0{,}0588 = 0{,}8178.$$

Примечание:

Достоверность расчета длительности охлаждения («решение прямой задачи») зависит от точности оценки величин A_1 и μ_1. Для инженерных расчетов рекомендуется оперировать величинами A_1 и μ_1 с числом знаков после запятой не менее двух.

Таблица 3.1

Данные для продукта, форма которого подобна пластине

Bi	A_1	μ_1	A_2	μ_2	A_3	μ_2
0	1	0	0	3,14	0	6,28
0,004	1	0,063	–0,0008	3,14	0,0002	6,28
0,008	1	0,089	–0,0012	3,14	0,0003	6,29
0,02	1	0,141	–0,004	3,15	0,001	6,29
0,06	1,01	0,243	–0,012	3,16	0,003	6,29
0,1	1,02	0,311	–0,02	3,17	0,005	6,30
0,3	1,05	0,52	–0,056	3,23	0,015	6,33
0,5	1,07	0,65	–0,087	3,29	0,024	6,36
1	1,12	0,86	–0,152	3,43	0,047	6,44
2	1,18	1,08	–0,237	3,64	0,085	6,58
3	1,21	1,19	–0,288	3,81	0,115	6,7
4	1,23	1,26	–0,322	3,94	0,14	6,81

Окончание табл. 3.1

Bi	A_1	μ_1	A_2	μ_2	A_3	μ_2
5	1,24	1,31	–0,344	4,03	0,159	6,91
7	1,25	1,38	–0,372	4,18	0,186	7,06
10	1,26	1,43	–0,393	4,31	0,2	7,23
100	1,27	1,56	–0,424	4,67	0,254	7,78
∝	1,27	1,57	–0,424	4,71	0,254	7,85

Таблица 3.2

Данные для продукта, форма которого подобна форме шара

Bi	A_1	μ_1	A_2	μ_2	A_3	μ_2
0	1	0	0	4,49	0	7,73
0,005	1	0,122	–0,0023	4,495	0,001	7,726
0,02	1,006	0,245	–0,009	4,498	0,005	7,728
0,04	1,01	0,345	–0,018	4,502	0,01	7,73
0,06	1,018	0,422	–0,027	4,507	0,016	7,73
0,08	1,024	0,486	–0,036	4,511	0,021	7,736
0,1	1,03	0,542	–0,045	4,516	0,026	7,738
0,2	1,059	0,759	–0,089	4,538	0,052	7,75
0,4	1,116	1,053	–0,178	4,582	0,104	7,78
0,5	1,14	1,17	–0,22	4,6	0,13	7,79
1	1,27	1,57	–0,42	4,71	0,25	7,85
2	1,5	2,03	–0,77	4,91	0,49	7,98
3	1,62	2,29	–1,03	5,09	0,7	8,09
4	1,72	2,46	–1,23	5,23	0,88	8,21
5	1,79	2,57	–1,35	5,35	1,04	8,3
7	1,87	2,72	–1,57	5,54	1,28	8,47
10	1,93	2,84	–1,74	5,72	1,51	8,66
100	2	3,11	–2	6,22	1,99	9,33
∝	2	3,14	–2	6,28	2	9,42

i–d-диаграмма влажного воздуха

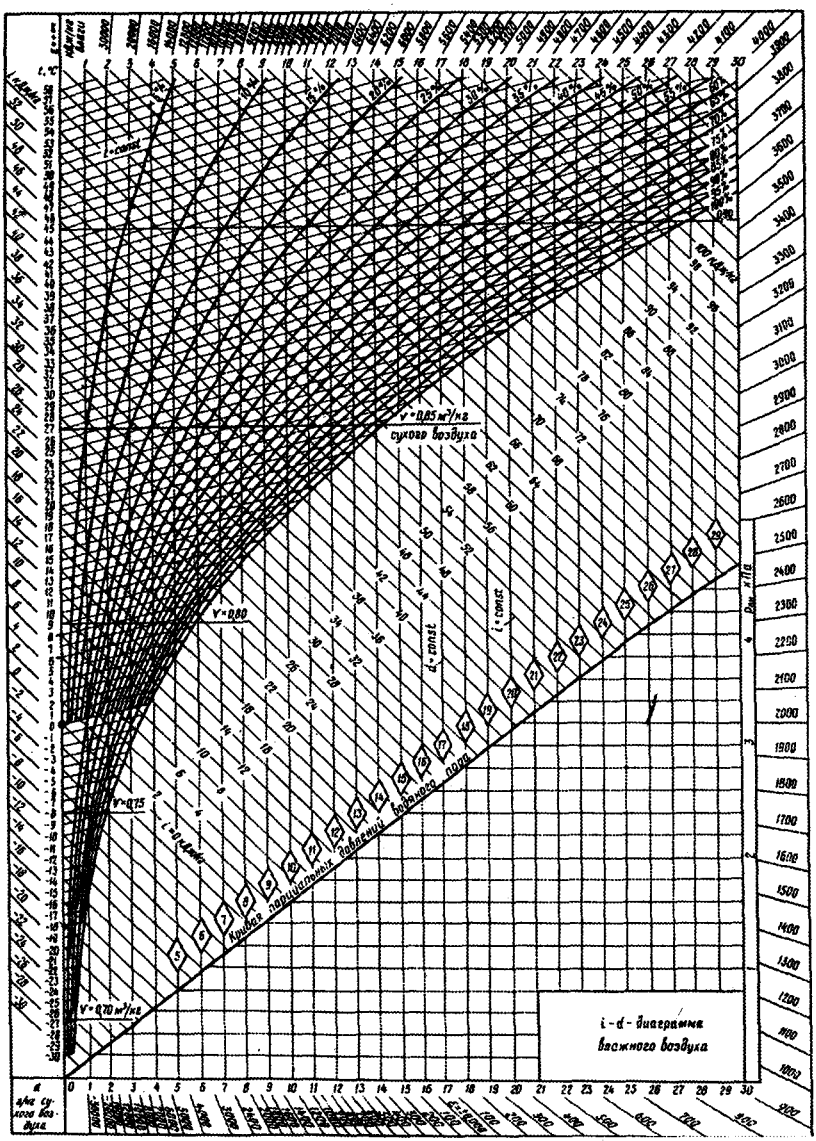


Рис. 3.1
i–d-диаграмма
влажного воздуха

Порядок пользования номограммами

Определяется избыточная температура центра $\theta_{(0,\tau)}$ или поверхности $\theta_{(R,\tau)}$ продукта. Устанавливается величина *Bi*. Находится величина *Fo*, и из нее устанавливается длительность охлаждения продукта τ, *с*. Порядок нахождения расчетных величин отражен на номограмме 3.2 и 3.3.

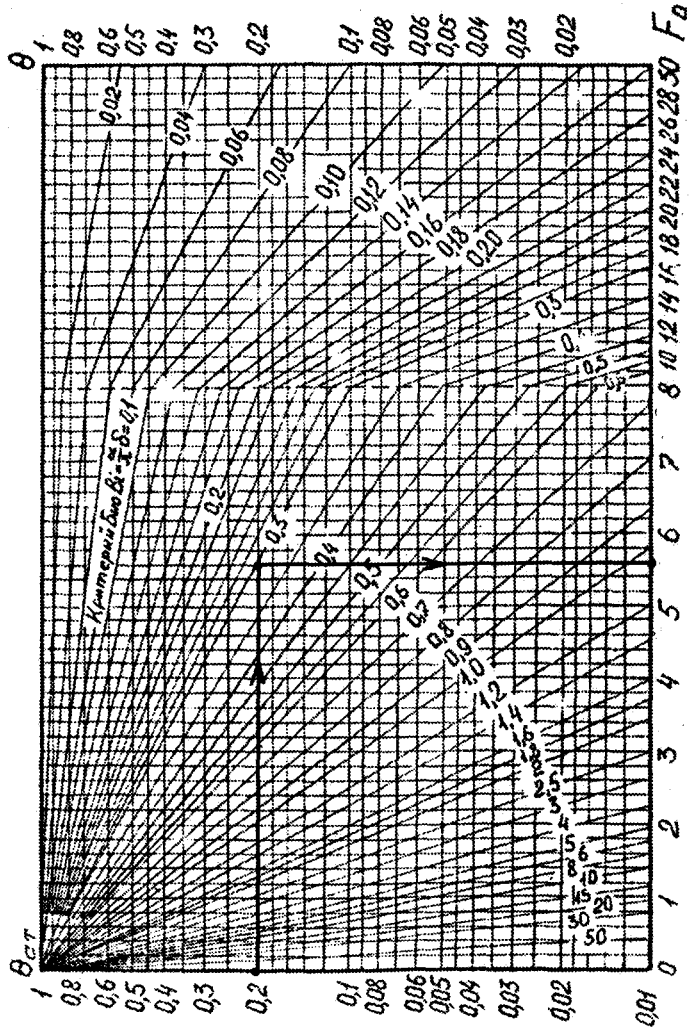


Рис. 3.2
Номограмма для оценки температуры поверхности плоскопараллельной пластины бесконечной длины

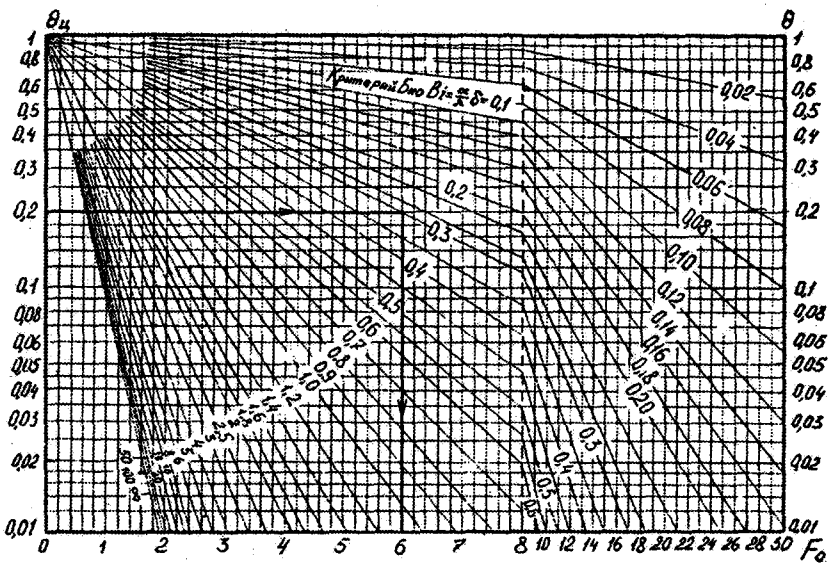


Рис. 3.3
Номограмма для оценки температуры в центре плоскопараллельной пластины бесконечной длины

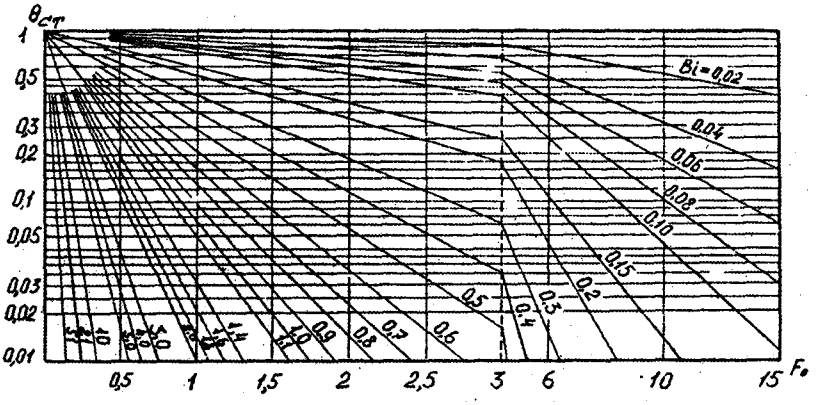


Рис. 3.4
Номограмма для оценки температуры на поверхности шара

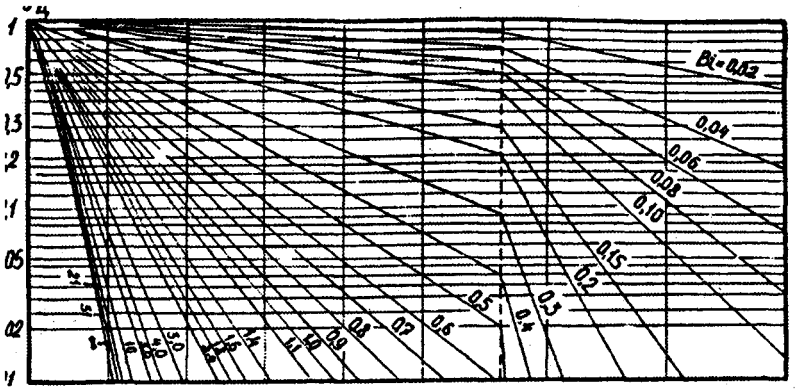


Рис. 3.5
Номограмма для оценки температуры в центре шара

Исходные данные для оценки коэффициентов *P* и *K* в формуле (4.23)

Для бесконечной плоскопараллельной пластины (плиты) толщиной b при одностороннем отводе тепла принимают $P = 1$ и $K = 0{,}5$; при двустороннем отводе тепла $P = 0{,}5$ и $K = 0{,}125$.

Для прямоугольной плиты неограниченной длины шириной b и толщиной δ при отводе тепла от четырех граней и $\beta = b/\delta$ значения коэффициентов отражены в табл. 4.1.

Таблица 4.1
Значения коэффициентов для плиты неограниченной длины

β	*P*	*K*
1,00	0,2500	0,0625
1,25	0,2778	0,0738
1,50	0,3000	0,0812
1,75	0,3182	0,0868
2,00	0,3333	0,0907
2,50	0,3571	0,0967

β	*P*	*K*
3,00	0,3750	0,1009
4,0	0,4000	0,1063
5,0	0,4167	0,1097
6,0	0,4286	0,1122
∝	0,5000	0,1250

При $\beta = 1$ (блок квадратного сечения) значения коэффициентов $P = 0{,}25$ и $K = 0{,}0625$ те же, что и для замораживания цилиндра бесконечной длины, если $D_ц = \delta$.

Для прямоугольной плиты ограниченной длины l при $\beta_1 = l/\delta$ и $\beta_2 = b/\delta$ и отводе тепла от всех 6 граней (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Значения коэффициентов для плиты ограниченной длины

β_1	β_2	P	K
1,0	1,0	0,1667	0,0417
1,5	1,0	0,1875	0,0491
	1,5	0,2143	0,0604
	1,5	0,2308	0,0656
	2,0	0,2500	0,0719
2,5	1,0	0,2083	0,0545
	2,0	0,2632	0,0751
	2,5	0,2778	0,0792
3,0	1,0	0,2142	0,0558
	2,0	0,02727	0,0776
	3,0	0,3000	0,0849
3,5	1,0	0,2186	0,0567
	3,5	0,3181	0,0893
4,0	1,0	0,2222	0,0574
	2,0	0,2857	0,0808
	3,0	0,3156	0,0887
	4,0	0,3333	0,0929
4,5	1,0	0,2250	0,0580
	3,0	0,3215	0,0902
	4,5	0,3460	0,0959
5,0	1,0	0,2272	0,0584
	2,0	0,2941	0,0827
	5,0	0,3570	0,0982
6,0	1,0	0,2308	0,0592
	2,0	0,3000	0,0839
	4,5	0,3602	0,0990
	6,0	0,3750	0,1020
8,0	1,0	0,2353	0,0599
	2,0	0,3077	0,0851
	4,0	0,3200	0,1012
	8,0	0,4000	0,1051
10	1,0	0,2381	0,0604
	2,0	0,3125	0,0865
	5,0	0,3846	0,1037
	10,0	0,4167	0,1101
∞	∞	0,5000	0,1250

При $\beta_1 = 1$ и $\beta_2 = 1$ (блок кубической формы) значения коэффициентов $P = 0{,}1667$ и $K = 0{,}00417$ — те же, что и для шара $D_ш = \delta$.

Режимы холодильного хранения скоропортящихся продуктов на холодильниках предприятий торговли и общественного питания

Таблица 5.1

Продукты	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Сроки хранения, сут.	Норма нагрузки на единицу площади, кг/м^2
Мясо:				
охлажденное	0	80	3	100–120
мороженое	–12	85	4	120–140
Субпродукты:				
охлажденные	0	80	1	120–140
мороженые	–3	90	4	160–180
Птица:				
охлажденная	0	80	2	120–140
мороженая	–12	90	5	160–180
Дичь мороженая	–3	90	3	160–180
Рыба:				
свежая	–1	95	3	180–200
мороженая	–3	95	4	200–220
соленая	3	90	5	260–300
Молоко	2	–	0,5	120–160
Простокваша, кефир	2	85	1	120–160
Сметана, творог	2	85	2	120–160
Масло:				
сливочное	2	85	3	160–200
топленое	2	85	10	180–220
Маргарин	2	85	5	160–200
Сыры	2	85	5	220–260
Яйца	2	85	5	200–220
Гастрономические товары	0	80	5	120–140

Окончание табл. 5.1

Продукты	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Сроки хранения, сут.	Норма нагрузки на единицу площади, кг/м²
Фрукты, ягоды, зелень	6	90	2	80–100
Квашения, соления, маринады	0	90	–	160–240
Винно-водочные изделия	6	–	10	170–220
Пиво, вода	6	–	2	170–220
Полуфабрикаты мясные и рыбные	0	90	1	80–100
Полуфабрикаты овощные	2	85	1	100–120
Кондитерские изделия	6	80	5	80–100
Консервы	6	75	–	220–260
Замороженные готовые кулинарные изделия	–18	95	10	220–260
Замороженные фрукты и ягоды	–18	95	10	220–260
Пищевые отходы	0	85	0,5	160–200

Таблица 5.2

Сроки холодильного хранения некоторых мясных продуктов в зависимости от температуры

Вид продукта	Сроки хранения в месяцах при температуре, °С							
	неупакованных				упакованных			
	–12	–15	–18	–25	–12	–15	–18	–25
Куры, индейки	5	7	10	12	8	10	12	14
Цыплята, индюшата, дичь	4	6	8	11	8	10	12	14

Окончание табл. 5.2

Вид продукта	Сроки хранения в месяцах при температуре, °С							
	неупакованных				упакованных			
	–12	–15	–18	–25	–12	–15	–18	–25
Гуси, утки	4	5	7	11	6	8	10	12
Гусята, утята	3	4	6	10	6	8	10	12
Говядина в полутушах и четвертинах	8		12	18				
Свинина в полутушах	3		6	12				
Баранина в полутушах	6		10	12				

Таблица 5.3

Рекомендуемые режимы и продолжительность холодильного хранения некоторых плодов и овощей (подборка Н. А. Моисеевой и И. Л. Волкинда)

Плоды и овощи	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Срок хранения в соответствии со свойствами продукта
Абрикосы	–0,5	90	До 1 мес.
Айва	0	90	2 мес.
Апельсины: желтые недозрелые	 +3…+4 +5…+6	 85–90 85–90	 До 5 мес. До 5 мес.
Бананы: зеленые зрелые	 +14…+16 +13...+14	 85–90 85–90	 10–20 дней 5–10 дней
Виноград	–2…0	85–90	1–6 мес.
Гранаты	–2…–1	90	2–3 мес.
Груши: летние зимние	 –0,5 +1…+2	 90 90	 До 1 мес. 4–5 мес.
Дыни	–1…0	85–90	2–3 мес.

Окончание табл. 5.3

Плоды и овощи	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Срок хранения в соответствии со свойствами продукта
Яблоки:			
летние	+1…+3	85–90	До 1 мес.
зимние	–2…0	85–90	5–8
Арбузы	+2…+3	85–90	До 2
Баклажаны	+7…+10	85–90	До 10 дней
Зеленый горошек	–0,5…0	85–90	1–3 недели
Зеленые овощи (салат, шпинат, лук)	0	90–95	5–10 дней
Кабачки	0…+4	85–90	До 2 мес.
Капуста белокочанная:			
ранняя	0…+0,5	85–90	До 1 мес.
поздняя	–1…+0,5	85–90	6–8 мес.
Картофель:			
ранний	+3…+4	85–90	2 недели
поздний	3…4	85–90	4–8 мес.
Лук репчатый	–2	70–75	4–8 мес.
Морковь	–0,5…0	90–95	4–6 мес.
Патиссоны	0	90–95	2–4 мес.
Перец стручковый:			
острый	+7…+10	85–90	1 мес.
сладкий	0…+1	85–90	8–10 дней
Петрушка	0…+1	85–90	1–2 мес.
Редис	0	90–95	3 недели
Свекла	0	90–95	3–5 мес.
Томаты:			
зеленые	+11…+13	85–90	3–4 недели
бурые	+1…+2	85–90	До 1 мес.
красные	0	90–95	До 2 недель
Тыква	+10…+13	70–75	2–6 мес.
Хрен	–1…0	90–95	До 10 мес.
Чеснок	–1,5…0	70–75	6–7 мес.

Рекомендации по замене холодильных агентов

Данные в табл. 8.1–8.3 представлены фирмами — производителями холодильных агентов. Дополнительно к сведениям, представленным фирмами, использованы данные немецкого стандарта DIN 8960 «Хладагенты: требования и обозначения».

Сокращения, принятые в табл. 8.1–8.3

- ODP — показатель разрушения озонового слоя относительно фтортрихлорметана (R11);
- GWP_{100} — потенциал глобального потепления относительно двуокиси углерода на расчетный период 100 лет.

Таблица 8.1

Хладагенты, рекомендуемые для замены хладона R12

Обозначение	Состав (массовое содержание, %)	ODP	GWP_{100}	Рекомендуемое масло	$t_{кип}$, °С (1 бар)	$t_{кип1}$, °С (1 бар)
R134a	CF_3CH_2F	0	1300	POE	–26	–
R401A*[1]	R22/R152A/124 (53/13/34)	0,037	1100	M/A[2], A, POE	–33,0	–26,7
R409B*	R22/R152A/124 (61/11/28)	0,040	1200	M/A[2], A, POE	–34,6	–28,6
R409A*	R22/R152A/124 (53/13/34)	0,048	1460	M/A, A, POE	–34,5	–27,4
R409B*	R22/R152A/124 (53/13/34)	0,048	1400	M/A, A, POE	–35,6	–27,8
R413A	R134a/218/600a (88/9/3)	0	1800	M, A, M/A, PAO, POE	–35	–28,1
R290/R600a	R290/R600a	0	3	M, A, M/A, PAO, POE	В зависимости от соотношения	
R600a	$CH(CH_3)_3$ (изобутан)			M, A, M/A, PAO, POE	–11,9	–

Примечания к табл. 8.1:

[1] Срок применения хладагентов, отмеченных звездочкой (*), ограничен.

[2] Не менее 50% алкилбензола.

Таблица 8.2

Хладагенты, рекомендуемые для замены хладона R22

Обозначение	Состав (массовое содержание, %)	ODP	GWP_{100}	Рекомендуемое масло	$t_{кип}$, °C (1 бар)	$t_{кип1}$, °C (1 бар)
R404A	R125/143a/134a (44/52/4)	0	3800	POE	–46,4	–45,7
R507	R125/143a (50/50)	0	3800	POE	–46,5	–46,5
R410A	R32/125 (60/40)	0	1900	POE	–51,6	–51,5
R407A	R32/125/134a (20/40/20)	0	1900	POE	–45,5	–38,9
R407C	R32/125/134a (23/25/52)	0	1600	M/A, A, POE	–43,6	–36,4
Isceon 59	R125/134/600a (46/50/4)	0	2120	M, A, M/A, PAO, POE	–42,1	–
R290	$CH_3CH_2CH_3$ (пропан)	0	3	M, A, M/A, PAO, POE	–42,1	–
R717	NH_3 (аммиак)	0	0	M, PAO (PAG)	–33	–

Таблица 8.3

Хладагенты, рекомендуемые для замены хладона R502

Обозначение	Состав (массовое содержание, %)	ODP	GWP_{100}	Рекомендуемое масло	$t_{кип}$, °C (1 бар)	$t_{кип1}$, °C (1 бар)
R402A*[1]	R125/290/22 (60/2/38)	0,021	2600	M/A, A, (POE)	–48,9	–46,9
R402B*	R125/290/22 (38/2/60)	0,033	2200	M/A, A, (POE)	–47,1	–44,9
R403A*	R22/218/290 (75/50/5)	0,041	2700	M/A, A, (POE)	–50	–
R403B*	R22/218/290 (56/39/5)	0,031	3700	M/A, A, (POE)	–50,2	–49

Окончание табл. 8.3

Обозначение	Состав (массовое содержание, %)	ODP	GWP_{100}	Рекомендуемое масло	$t_{кип}$, °С (1 бар)	$t_{кип}$, °С (1 бар)
R404A	R125/143a/134a (44/52/4)	0	3800	POE	–46,4	–45,7
R407A	R32/125/134a (20/40/40)	0	1900		–45,5	–38,9
R407B	R32/125/134a (10/70/20)	0	2600	POE	–47,3	–42,9
R410A	R32/125 (60/40)	0	1900	POE	–51,6	–51,5
R507	R125/143a (50/50)	0	3800	POE	–46,5	–46,5
R408A*	R22/125/143a (47/7/46)	0,026	3100	M/A, A, (POE)	–44,4	–43,4
FX40 (*Elf Atochem*)[2]		0			–48	–47,8
R290	$CH_3CH_2CH_3$ (пропан)	0	3	M, A, M/A, PAO, POE	–42,1	–
R717	NH_3 (аммиак)	0	0	M, PAO, (PAG)	–33	–

Примечания к табл. 8.3:

[1] Срок применения хладагентов, отмеченных звездочкой (*), ограничен.

[2] Более не производится.

Рекомендуемые масла для холодильных агентов

- A – алкилбензольное масло (синтетическое);
- A/M – алкилбензольное и минеральное масло (полусинтетическое);
- PAG – полиалкиленгликолевое масло;
- PAO – полиальфаолефиновое масло (синтетическое);
- M – минеральное масло;
- POE – полиэфирное масло.

Таблица 8.4

Свойства некоторых отечественных масел

Свойства	Марка масла			
	ХА-30	ХФ12–16	ХФ22–24	ХС-40
Вязкость кинематическая при 50 °С, $мм^2/с$	28–32	≥16	24,5–28,4	37–42
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,05	0,02	0,04	0,02
Зольность сульфатная, %, не более	0,004	–	–	0,02
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	185	174	130	200
Температура застывания, °С, не выше	–38	–42	–55	–45
Температура хлопьеобразования в растворе хладона R12, °С, не выше	–40	–50		–55
Стабильность против окисления, не более				
Осадок, % (массовая доля)	0,02	0,005	–	–
Кислотное число, мгКОН/г	0,5	0,04	–	–
Коррозия: на пластинах из меди на пластинах из стали	Выдерживает Отсутствует	Выдерживает –	Выдерживает –	Выдерживает Отсутствует

Рекомендации по замене холодильных агрегатов

С 2000 г. вместо холодильных агрегатов **ФАК-0,7** холодильные агрегаты ВС 800(2), ВС 800 1(2), P12TN, ВСэ 800(2)2М и ВСэ 800(2) с отделителем жидкости;

- вместо **ФАК-1,1** холодильные агрегаты ВС 1000(2), ВС 1000 1(2), ВСэ 1250(2) и ВСэ 1250(2) с ОЖ;
- вместо **ФАК-1,5** холодильные агрегаты ВС 1600(2), ВС 1600 1(2), ВСэ 1600(2)

с перечисленными в табл. 10.1 техническими характеристиками.

Таблица 10.1

Рекомендации по замене холодильных агрегатов

Снятые с производства холодильные агрегаты	Марка холодильных агрегатов, выпускаемых на замену	Холодопроизводительность при $t_0 = 15$ °С, Вт	Напряжение, V	Хладон	Габаритные размеры, мм
ФАК-0,7	ВС 800 1(2) P12TN	800	220	R22	440 × 380 × 255
	ВС 800(2)	840	380		520 × 405 × 300
	ВСэ 800(2) 2М	840	380		565 × 400 × 375
	ВСэ 800(2) с ОЖ	840	380		565 × 400 × 375
ФАК-1,1	ВС 1000(2)	1080	380		520 × 405 × 310
	ВС 1000 1(2)	1080	220		520 × 405 × 310
	ВСэ 1250(2) 2М	1310	380		585 × 400 × 390
	ВСэ 1250(2) с ОЖ	1310	380		585 × 400 × 390
ФАК-1,5	ВС 1600 1(2)	1680	220		785 × 560 × 400
	ВС 1600(2)	1680	380		785 × 560 × 400
	ВСэ 1600(2)	1600	380		785 × 560 × 400

Примечание к табл. 10.1:

ВС — холодильный агрегат со встроенным электродвигателем; ВСэ — холодильный агрегат с экранированным электродвигателем; ОЖ — отделитель жидкости.

Диаграммы состояния холодильных агентов

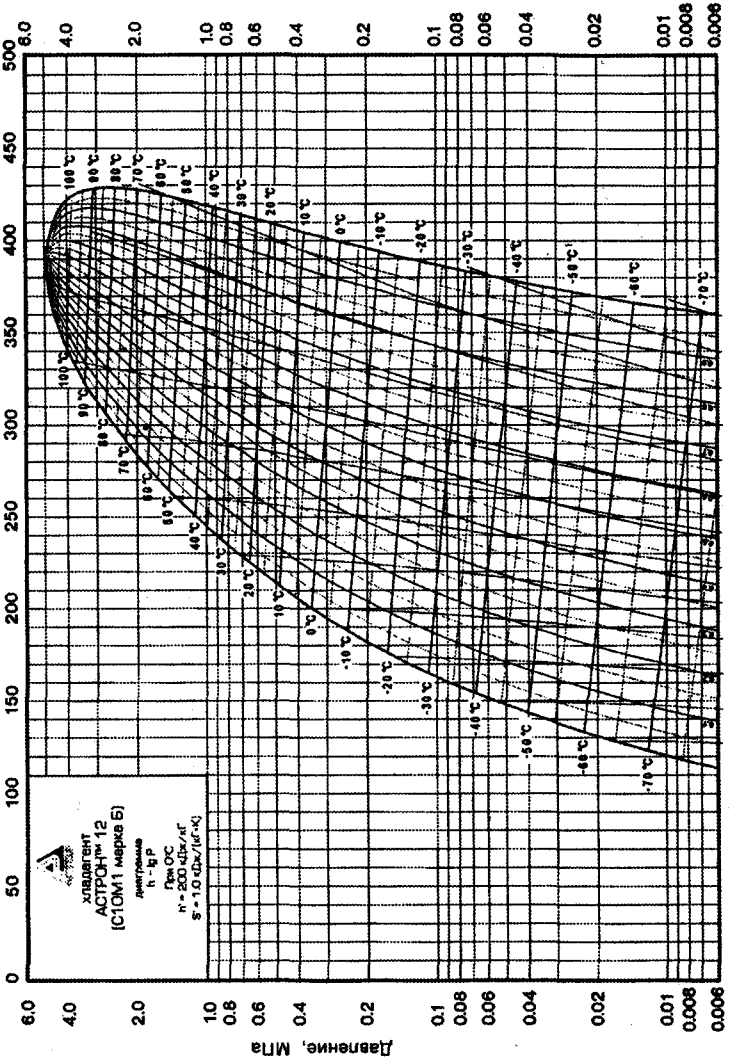


Рис. 8.1
Диаграмма состояния холодильного агента C10M1

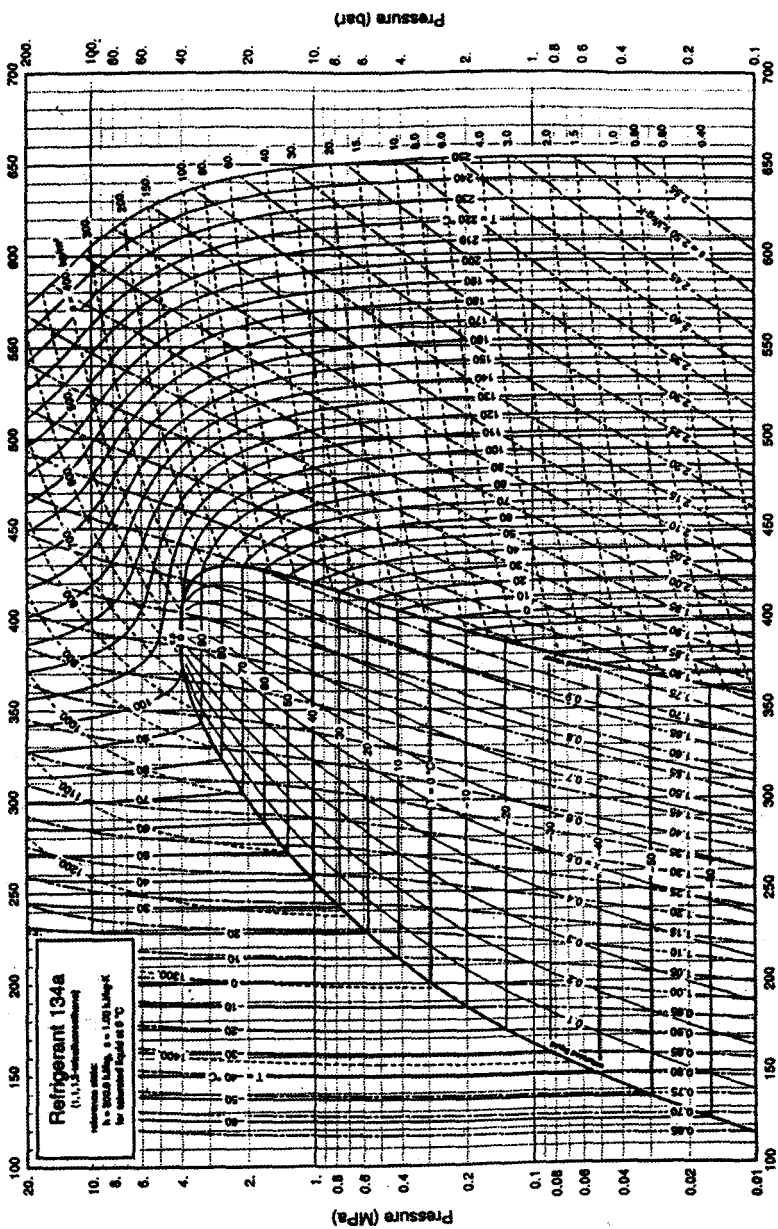


Рис. 8.2

Диаграмма LgP-i холодильного агента R134a

Моноблочные холодильные машины MAZ, BAZ

Таблица 12.1

Моноблочные холодильные машины MAZ

Моноблоки, подвесной вариант								
модель	температура воздуха в камере, °С						напряжение, фаза	стоимость, у. е.
	–5 °С		0 °С		5 °С			
	объем, м³	холодопроизводительность, кВт	объем, м³	холодопроизводительность, кВт	объем, м³	холодопроизводительность, кВт		
MAZ 105 G	6,7	0,94	8,3	1,08	10	1,24	220~1 50	1047
MAZ 107 G	7,7	1,03	9,8	1,26	13	1,46	220~1 50	1125
MAZ 110 G	10	1,2	12	1,4	16	1,7	220~1 50	1150
MAZ 212 G	18	1,8	22	2,2	27	2,7	380~3 50	1530
MAZ 315 G	30	2,7	39	3,3	49	3,9	380~3 50	2141
MAZ 320 G	41	3,4	51	4,1	62	4,8	380~3 50	2178
Моноблок, потолочный монтаж								
MSB 135 NG	34	3,4	44	4,1	54	4,7	380~3 50	2195

Внимание! При выборе моноблока следует помнить, что указанная холодопроизводительность соответствует минимальному объему камеры. Это значит, что, например, холодильный агрегат MAZ 105 G может обеспечить температуру воздуха в камере –5 °С, если объем камеры 6,7 м³, в камере объемом 8,3 м³ температуру 0 °С и в камере объемом 10 м³ температуру +5 °С.

Таблица 12.2

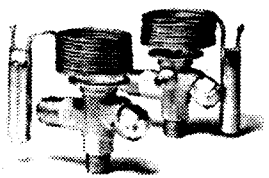
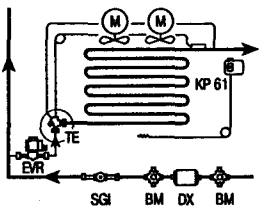
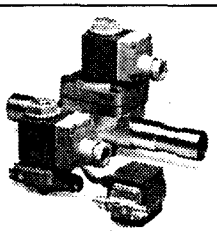
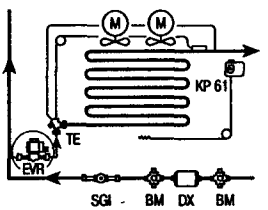
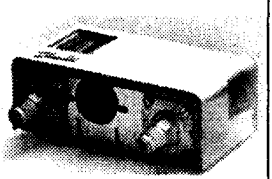
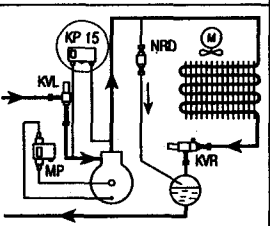
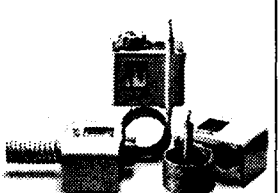
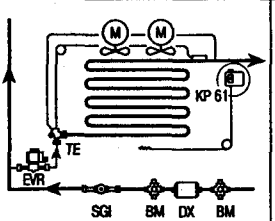
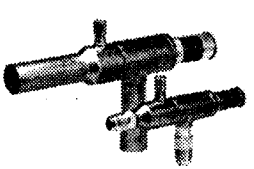
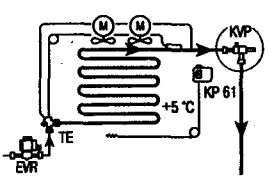
Моноблочные холодильные машины BAZ

Модель	Температура воздуха в камере, °С						Напряжение, фаза	Стоимость, у. е.
	–15° С		–18° С		–22° С			
	объем, м³	холодопроизводительность, кВт	объем, м³	холодопроизводительность, кВт	объем, м³	холодопроизводительность, кВт		
BAZ 112 G	7,4	1,09	6,3	0,99	4,7	0,84	220~1 50	1329
BAZ 117 G	14	1,59	9,6	1,28	7,4	1,09	380~3 50	1398
BAZ 117 F	14	1,59	9,7	1,29	6,3	0,99	220~1 50	1398
BAZ 220 G	24	2,2	17	1,8	13	1,5	380~3 50	1675
MAZ 330 G	52	3,6	38	3,0	27	2,4	380~3 50	2375

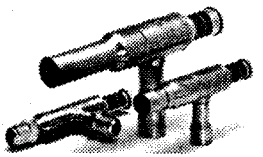
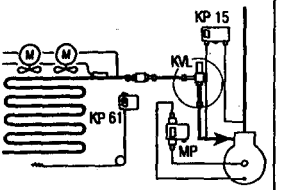
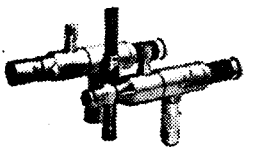
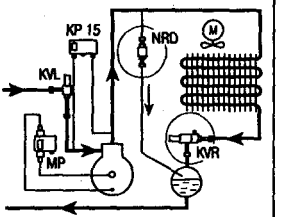
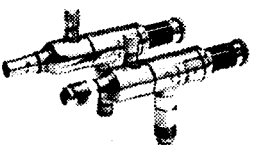
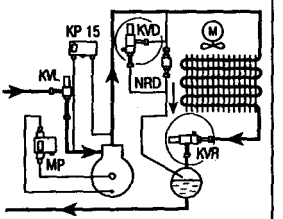
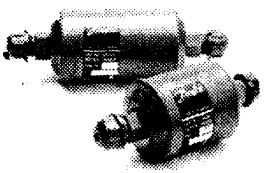
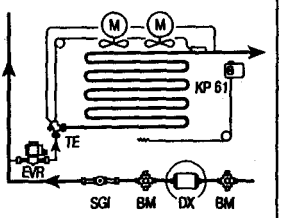
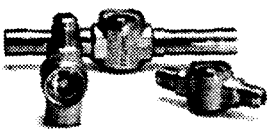
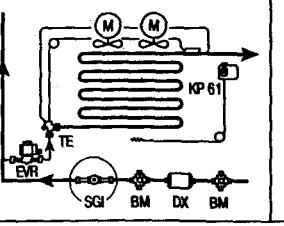
Приборы автоматики холодильной машины

Таблица 14.1

Приборы автоматики холодильной машины фирмы *Danfoss*

		TE — терморегулирующий вентиль с внутренним и внешним выравниванием давления
		EVR — соленоидный вентиль
		KP 15 — двухблочное реле давление
		Термостаты KP 61 для регулирования температуры воздуха *в охлаждаемом объеме*
		KVP — регулятор давления холодильного агента в испарителе

Окончание табл. 14.1

		KVL — регулятор давления в картере компрессора, предотвращает работу компрессора при высоком пусковом давлении
		KVR — регулятор давления в конденсации, поддерживает постоянное давление в конденсаторе (вентиль постоянного давления)
		KVD — регулятор давления в ресивере. Применяют вместе с регулятором KVR. Может быть использован вместо регулятора NRD (обратного клапана)
		DX — фильтр-осушитель
		SGI — смотровое стекло. Обеспечивает контроль за потоком холодильного агента

Холодильные камеры

Таблица 15.1

Модульные холодильные камеры[1]

Глубина, (L), мм	Ширина, (B), мм						
	2550	3150	3750	4350	4950	5550	6150
	V, м^3						
1950	8,6	10,8	13,0	15,1	17,3	19,4	21,6
2550	11,5	14,4	17,3	20,2	23,0	25,9	28,8
3150	14,4	18,0	21,6	25,2	28,8	32,4	36,0
3750	17,3	21,6	25,6	30,2	34,6	38,9	43,2
4350	20,2	25,2	30,2	35,3	40,3	45,4	50,4
4950	23,0	28,8	34,6	40,3	46,1	51,8	57,3
5550	25,9	32,4	38,9	45,4	51,8	58,3	64,8
6150	28,8	36,0	43,2	50,4	57,6	64,8	72,0
6750	31,7	39,6	47,5	55,4	63,4	71,3	79,2
7350	34,6	43,2	51,8	60,5	69,1	77,8	86,4

Примечание к табл. 15.1:

[1] Толщина панелей S = 75 мм; высота холодильной камеры H = 2150 мм (выпускаются панели высотой 2550, 3150 мм).

Таблица 15.2

Холодильные камеры объемом до 23 м^3

Камера	Габариты, мм	Наружный объем, м^3	Цена без холодильных агрегатов, у. е.	Холодильный агрегат (до –25 °С)	Цена, у. е.
КХ-4	1360 × 1960 × 2200	5,86	1042	BAZ-112	2742
КХ-8	1960 × 2560 × 2200	11,0	1460	BAZ-117	3330
КХ-11	2560 × 2560 × 2200	14,4	1684	BAZ-117	3564
КХ-14	2560 × 2560 × 2720	17,8	1932	BAZ-220	4332
КХ-18	2560 × 3160 × 2720	22,0	2197	BAZ-220	4597
КХ-20	2560 × 3460 × 2720	24,0	2347	BAZ-220	4747
КХ-23	2560 × 3760 × 2720	26,2	2463	BAZ-220	4863

Таблица 15.3
Холодильные камеры объемом свыше 23 м³

Камера	Габариты, мм	Цена без х/а, у. е.	Холодильный агрегат	Цена с х/а, у. е.
КХ-25	2560 × 4360 × 2720	2661	BAZ-220	4983
КХ-29	2560 × 4960 × 2720	2947	BAZ-220	6447
КХ-33	2560 × 5560 × 2720	3265	BAZ-220/ BAZ-330	8065/ 6765
КХ-36	2560 × 6160 × 2720	3647	BAZ-220/ BAZ-330	8447/ 7147
КХ-42	3600 × 4960 × 2720	3750	BAZ-220	8550
КХ-57	4800 × 4960 × 2720	4385	BAZ-220/ BAS-235N	11585/ 11585
КХ-72	6000 × 4960 × 2720	5156	BAS-235N	12355
КХ-86	7200 × 4960 × 2720	5930	BAS-235N	13130
КХ-101	8400 × 4960 × 2720	6740	BAS-235T	14740
КХ-116	9600 × 4960 × 2720	7511	BAS-235	18011
КХ-130	10800 × 4960 × 2720	8282	BAS-235	18782
КХ-145	12000 × 4960 × 2720	9047	BAS-235N	23447
КХ-160	13200 × 4960 × 2720	9821	BAS-235N	24221
КХ-175	14400 × 4960 × 2720	10592	BAS-235N	24992
КХ-190	15600 × 4960 × 2720	11366	BAS-235N	25766
КХ-204	16800 × 4960 × 2720	12137	BAS-235T	28137
КХ-219	18000 × 4960 × 2720	12911	BAS-235T	28911
КХ-233	19200 × 4960 × 2720	13678	BAS-235N/ BAS-235T	37678
КХ-249	20400 × 4960 × 2720	14447	BAS-235N/ BAS-235T (3 шт.)	38447
КХ-278	22800 × 4960 × 2720	16033	BAS-235T	
КХ-293	24000 × 4960 × 2720	16763	BAS-235T	
КХ-307	25200 × 4960 × 2720	17533	BAS-235T	
КХ-322	26400 × 4960 × 2720	18308	BAS-235T	

Таблица 15.4

Сборные холодильные камеры производства СП «Совиталпродмаш»

	Наименование	Объем камеры, м^3	Габариты, мм	Агрегат	Цена, у. е.
Холодильные среднетемпературные камеры для температуры +5 °С	КХС-4	4	1360 × 1960 × × 2200	MAZ-10531 G	1047
	КХС-8	8	1960 × 2560 × × 2200		
	КХС-11	11	2560 × 2560 × × 2200	MAZ-10731 G	1125
	КХС-14	14		MAZ-11031 G	1150
	КХС-18	18	3160 × 2560 × × 2720	MAZ-21231 G	1530
Холодильные низкотемпературные камеры для температуры –18 °С	КХН-4	4	1400 × 2000 × × 2240	BAZ 11231 G	1329
	КХН-8	8	2000 × 2600 × × 2240	BAZ 11731 G	1398
	КХН-11	11	2600 × 2600 × × 2240	BAZ 22031 G	1675
	КХН-14	14	2600 × 2600 × × 2760		
	КХН-18	18	3200 × 2600 × × 2760		

Таблица 15.5

Типы и емкости контейнеров

Тип контейнера	Размеры, мм			Полезный объем, м^3
	высота	ширина	длина	
IA (40-футовый контейнер)	2435	2435	12190 (39993 фута)	72,2
IB	»	»	9125	54,1
IC (20-футовый контейнер)	»	»	60559 (19865 футов)	35,9
ID	»	»	2990	17,7
IE	»	»	1965	11,65
IF	»	»	2460	14,6

Примечание к табл. 15.5: 1 фут = 0,3048 м.

Таблица 15.6

Сборно-разборные холодильные камеры с агрегатами «Technoblock»

Холодильная камера на базе контейнера	Полезный объем контейнера, м³	Температурный режим, °С	Марка холодильного агрегата	Напряжение сети, V/Гц	Потребляемая мощность, кВт
20-футового	18	0...+5	ACM202	380/50	1
		–15...–12			2,2
		–22...–18	ACM400		3,1
40-футового	40	0...+5	ACM200		2
		–15...–12	ACM400		3,1

Условия хранения и физические характеристики пищевых продуктов

Таблица 18.1

Условия хранения и физические характеристики пищевых продуктов

Продукт	Температура в камере, °С	Относительная влажность воздуха в камере, %	Наибольшая температура замораживания, °С	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)		Удельная теплота, кДж/(кг · сут.)	
				при температуре выше точки замораживания	при температуре ниже точки замораживания	замораживания, $q_{зам}$	дыхания, $q_{дых}$
Мясо, мясные продукты							
Шпик, грудинка, корейка:							
свежие	–4...+1	85	–2	1,53	–	68	
замороженные	–18	90–95	–	–	1,1	–	
Бифштекс:							
свежий	–1...0	88–92	–2	3,2	–	231	
замороженный	–18	90–95	–	–	1,67	–	

Продолжение табл. 18.1

Продукт	Температура в камере, °С	Относительная влажность воздуха в камере, %	Наибольшая температура замораживания, °С	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)		Удельная теплота, кДж/(кг · сут.)	
				при температуре выше точки замораживания	при температуре ниже точки замораживания	замораживания, $q_{зам}$	дыхания, $q_{дых}$
Баранина:							
свежая	–1...0	85–90	–2	3,0	–	216	
замороженная	–18	90–95	–2	–	1,86	–	
Свиной жир	+7	90–95	–	2,09	1,42	210	
Печень замороженная	–18	90–95	–2	–	–	–	
Свинина:							
свежая	0...+1	85–90	–	2,13	–	128	
замороженная	–18	90–95	–	–	1,3	–	
Кролик:							
свежий	0...+1	90–95	–2,7	3,1	–	228	
замороженный	–18	90–95	–	–	1,67	–	
Колбаса	0...+1	85–90	–2	3,72	2,34	216	
Телятина:							
свежая	0...+1	0–95	–2	3,08	–	223	
замороженная	–18	90–95	–	–	1,67	–	
Птица и яйцепродукты							
Птица:							
свежая	0	85–90	–2,7	–3,3	–	246	
замороженная	–18	90–95	–	–	1,76	–	
Яйца:							
вареные	–2...0	85–90	–2,2	3,05	–	220	
свежие		0	–2,2	–	1,76	240	
Овощи							
Свекла	0	95	–1	3,77	1,92	293	3,1
Капуста:							
красная	0	90–95	–0,8	3,68	1,93	284	
белокочанная	0	90–95	–0,9	3,94	1,97	307	
цветная	0	90–95	–0,8	3,89	1,97	307	

Продолжение табл. 18.1

Продукт	Температура в камере, °С	Относительная влажность воздуха в камере, %	Наибольшая температура замораживания, °С	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)		Удельная теплота, кДж/(кг · сут.)	
				при температуре выше точки замораживания	при температуре ниже точки замораживания	замораживания, $q_{зам}$	дыхания, $q_{дых}$
Сельдерей	0	90–95	–0,5	3,98	2,0	314	
Огурцы	+7...+10	90–95	–0,5	4,06	2,05	319	
Чеснок	0	65–70	–0,8	2,89	1,67	207	
Лук репчатый	0	90–95	–0,7	3,68	1,93	293	
Салат	0	95	0,1	4,02	2,0	316	
Лук зеленый	0	65–70	–0,8	3,77	1,93	288	
Горох свежий	0	90–95	–0,6	3,31	1,76	246	
Перец	+7...+10	90–95	–0,7	3,94	1,97	307	
Картофель:							
ранний	+10...+13	90	–0,6	3,56	1,84	270	
поздний	+3...+10	90	–0,6	3,43	1,8	258	
Ревень	0	95	–0,9	4,02	2,0	312	
Шпинат	0	90–95	–0,3	3,94	2,0	307	
Томаты:							
неспелые	+13...+21	85–90	–0,5	3,98	2,0	312	
спелые	+7...+10	85–90	–0,5	3,94	2,0	312	
Бахчевые							
Тыква	+2...+4	85–90	–1,1	3,89	2,0	307	
Дыня	+7...+10	85–90	–0,9	3,94	2,0	307	
Фрукты, ягоды, грибы							
Яблоки	–1...+3	90	–1,5	3,64	1,88	281	
Абрикосы	–0,6...0	90	–1,0	3,68	1,92	284	
Бананы	+13...+15	90	–0,8	3,35	1,76	251	
Вишня	–0,6...0	90–95	–1,8	3,64	1,88	280	

Продолжение табл. 18.1

Продукт	Температура в камере, °С	Относительная влажность воздуха в камере, %	Наибольшая температура замораживания, °С	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)		Удельная теплота, кДж/(кг · сут.)	
				при температуре выше точки замораживания	при температуре ниже точки замораживания	замораживания, $q_{зам}$	дыхания, $q_{дых}$
Брусника	+2...+4	90–95	–0,8	3,77	1,93	288	
Смородина	–0,6...0	90–95	–1	3,68	1,84	280	
Крыжовник	–0,5...0	90–95	–1,1	3,77	1,93	293	
Виноград	–1...0	85–90	–2,2	3,60	1,84	270	
Персики	–0,5...0	90	–0,9	3,77	1,92	288	1,34
Груши	–1,7...–1	90–95	–1,5	3,60	1,88	274	0,93
Ананасы спелые	+7,2	85–90	–1,1	3,68	1,88	283	–
Слива	–0,5...0	90–95	–0,8	3,68	1,88	274	0,64
Маслины свежие	+7...+10	85–90	–1,5	3,35	1,76	251	1,0
Гранаты	0	90	–3,0	–		–	–
Малина	–0,5...0	90–95	–0,6	3,56	1,86	284	5,47
Земляника	–0,5...0	90–95	–0,8	3,85	1,76	300	3,78
Шампиньоны	0	90	–0,9	3,89	1,97	302	7,2
Цитрусовые							
Грейпфрут	+10...+16	85–90	–1,1	3,81	1,93	293	–
Лимоны	+14...+16	86–88	–1,4	3,81	1,93	295	4,24
Апельсины	0...+9	85–90	–0,8	3,77	1,92	288	1,68
Мандарины	0...+3	90–95	–1,0	3,77	1,93	290	–
Рыба и морепродукты							
Рыба:							
свежая	+0,6...+2	90–95	–2,2	3,26	1,74	245	–
копченая	+4...+10	50–60	–2,2	2,93	1,63	213	–
соленая	–2...–1	75–9	–2	3,18	1,72	232	–
замороженная	–18	90–95	–2,2,	1,74		245	–

Окончание табл. 18.1

Продукт	Температура в камере, °С	Относительная влажность воздуха в камере, %	Наибольшая температура замораживания, °С	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)		Удельная теплота, кДж/(кг · сут.)	
				при температуре выше точки замораживания	при температуре ниже точки замораживания	замораживания, $q_{зам}$	дыхания, $q_{дых}$
Молочные продукты							
Масло:							
свежее	0...+4	80–85	–5,6	1,38	1,05	53	–
замороженное	–18	70–85	–5,6	1,38	1,05	53	–
Сыр	–2...–1	65–70	–1,7	2,1	1,3	126	–
Сливки	–18	–	–	3,27	1,76	242	–
Мороженое	–18	–	–	2,93	1,63	207	–
Молоко:							
пастеризованное	0,6	–	–0,6	3,77	2,51	290	–
сгущенное	+4	–	–	1,75		93	–
цельное	+7...+13			0,92		9,3	–
Прочие продукты							
Пиво	+12	–	–2,2	3,85		300	–
Хлеб	–18	–	–	2,93	1,42	115	–
Мед	Ниже 10	–	–	1,46	1,1	60	–
Лед пищевой	–4	80	0	1,29			–
Маргарин	+2	60–70	–	1,34	1,05	51	–

Физические свойства сухого воздуха

Таблица 18.2

Физические свойства сухого воздуха

Температура, t, °С	Плотность, ρ, кг/м^3	Удельная теплоемкость, c_p, кДж/(кг · К)	Теплопроводность, $\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м · К)	Температуропроводность, $a \cdot 10^6$, м^2/с	Кинематическая вязкость, $\nu \cdot 10^6$, м^2/с	Коэффициент вязкости, $\mu \cdot 10^6$, $H \cdot$ с/м^2	Число Прандтля
–50	1,584	1,013	2,04	12,7	9,23	14,6	0,728
–40	1,515	1,013	2,12	13,8	10,04	15,2	0,728
–30	1,453	1,013	2,20	14,9	10,80	15,7	0,723
–20	1,395	1,009	2,28	16,2	12,79	16,2	0,716
–10	1,342	1,009	2,36	17,4	12,43	16,7	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	13,28	17,2	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	14,16	17,6	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	15,06	18,1	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	16,00	18,6	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	16,96	19,1	0,699

Таблица 18.3

Коэффициент теплопередачи наружных стен и покрытий

Среднегодовая температура наружного воздуха	Коэффициент теплопередачи K, Вт/(м^2 · К) при внутренней температуре воздуха холодильной камеры, °С			
	–15...–10	–4	0	+4
0 °С и ниже:				
наружные стены	0,34	0,41	0,47	0,47
покрытия	0,29	0,35	0,41	0,41
+1...+8 °С:				
наружные стены	0,29	0,35	0,4	0,47
покрытия	0,26	0,29	0,35	0,35
+9 °С и выше:				
наружные стены	0,23	0,27	0,3	0,34
покрытия	0,21	0,24	0,29	0,29

Примечания к табл. 18.3:

Коэффициент теплопередачи чердачных перекрытий увеличивают на 10%.

При применении панельной системы охлаждения коэффициент теплопередачи увеличивают на 20%.

Таблица 18.4

Коэффициент теплопередачи внутренних стен, перегородок и междуэтажных перекрытий

Температура воздуха более теплого помещения, °С	Коэффициент теплопередачи K, Вт/(м^2 · К) при внутренней температуре более холодного помещения, °С				
	–15	–10	–4	0	+4
–15	0,58	0,52	0,41	0,35	0,35
–10	0,52	0,58	0,52	0,47	0,41
–4	0,41	0,52	0,58	0,52	0,47
0	0,35	0,47	0,52	0,58	0,58
4	0,35	0,41	0,47	0,52	0,58
12	0,28	0,35	0,41	0,47	0,58
18	0,26	0,29	0,35	0,41	0,58

Примечание к табл. 18.4:

Коэффициенты теплопередачи принимают при влажности помещений менее 85%. При большей влажности осуществляют проверочный расчет на конденсацию влаги с теплой стороны стенки.

Таблица 18.5

Коэффициент теплопередачи для стен камер, граничащих с тамбурами, вестибюлями, коридорами

Температура воздуха холодильной камеры, °С	Коэффициент теплопередачи K, Вт/(м^2 · К) стен со смежными помещениями, °С	
	сообщающихся с наружным воздухом	не сообщающихся с наружным воздухом
–18...–20	0,28	0,41
–15...–10	0,33	0,47
–4	0,35	0,52
0	0,41	0,58
+4	0,47	0,58

ГЛОССАРИЙ[1]

1. *Абсорбент* — вещество, способное поглощать некоторые другие вещества (называемые абсорбатами) или жидкой или газообразной среды, с которой оно находится в контакте.
2. *Абсорбер* — элемент абсорбционной холодильной машины, в котором абсорбируются пары хладагентов.
3. *Абсорбционная (или адсорбционная) холодильная система* — система, в которой выработка холода осуществляется в результате испарения хладагента; абсорбер (адсорбер) поглощает пары хладагента, которые впоследствии выделяются из него при нагреве с повышением парциального давления и затем под этим давлением конденсируются при охлаждении.
4. *Автономная система* — система, полностью изготовленная, заряженная, испытанная на заводе и/или в приспособленном помещении, которая собирается и транспортируется в виде одной или нескольких секций и в которой части, не содержащие хладагент, соединяются на месте, кроме блока управления.
5. *Азеотропный* — термин, употребляемый для обозначения смеси жидкостей, жидкая и газовая фазы которой в условиях термодинамического равновесия имеют один и тот же состав. Температура кипения смеси постоянна.
6. *Батарея из труб, змеевик,* — одна из частей холодильной системы, состоящая из изогнутых или прямых труб, прочно смонтированных и служащих теплообменником (испарителем или конденсатором).

---

[1] Основой глоссария является ГОСТ Р 12.2.142-99 (ИСО 5149-93) Системы холодильные холодопроизводительностью свыше 3,0 кВт.

7. *Вестибюль* — холл или коридор больших размеров, который служит в качестве зала ожидания.
8. *Вихревая труба* — устройство, используемое для производства холода на основе эффекта Ранка.
9. *Воздухоохладитель* — теплообменник, предназначенный для понижения температуры проходящего через него воздуха.
10. *Герметичный холодильный компрессор* — агрегат, в котором компрессор и электродвигатель герметично встроены внутри одного кожуха и не имеют выходящего наружу вала с сальниковым уплотнением. Электродвигатель работает в среде хладагента.
11. *Жидкостной ресивер* — емкость, постоянно связанная с системой входящим и выходящим трубопроводами и предназначенная для хранения жидкого хладагента.
12. *Замкнутый (или циклический) процесс* — последовательность изменений состояний системы, в ходе которой эта система возвращается в начальное состояние.
13. *Замораживание быстрое* — замораживание, осуществляемое таким образом, чтобы быстро пройти зону максимальной кристаллизации, и заканчивается, только когда средняя температура продукта достигнет –18 °С.
14. *Замораживание медленное* — замораживание, осуществляемое таким образом, чтобы не возникали условия для быстрого замораживания.
15. *Запорное устройство* — устройство, позволяющее прервать поток хладагента.
16. *Испаритель* — часть оборудования холодильной системы, в которой жидкий хладагент испаряется, чтобы произвести охлаждение.
17. *Испаритель кожухотрубный* — испаритель, образованный пучком труб, оба конца которых закреплены в трубных досках, заключенных в кожух, закрытый, в свою очередь, одной или двумя крышками либо не закрытый; одна из этих жидкостей протекает по трубам, другая — в пространстве между трубами и кожухом.
18. *Испаритель сухой (или с перегревом)* — испаритель, в котором хладагент протекает в одном направлении, от входа к выходу, и полностью испаряется.
19. *Источник холода* — в обычном смысле: вещество или среда, поглощающие тепло; в термодинамическом смысле: тело с более низкой, чем окружающая среда, температурой.

20. *Коллектор* — трубчатый или канальный элемент холодильной системы, к которому подсоединяется несколько других трубных или канальных элементов.
21. *Компрессор* — устройство, позволяющее механически повышать давление хладагента.
22. *Компрессор объемного действия* — компрессор, в котором повышение давления и перемещения пара хладагента происходят при изменении внутреннего объема рабочей камеры сжатия.
23. *Компрессорно-испарительный агрегат* — агрегат, в состав которого входят один или несколько компрессоров и другое, как правило, унифицированное для различных холодильных систем штатное оборудование, в том числе один или несколько испарителей и, возможно, ресивера.
24. *Компрессорно-конденсаторный агрегат* — агрегат, в состав которого входят один или несколько компрессоров и другое, как правило, унифицированное для различных холодильных систем штатное оборудование, в том числе один или несколько конденсаторов и, возможно, ресивера.
25. *Компрессорный агрегат* — агрегат, в состав которого входят компрессор и другое, как правило, унифицированное для различных холодильных систем дополнительное энергетическое и штатное оборудование, но без конденсатора и ресивера.
26. *Конденсатор* — теплообменник, в котором хладагент после сжатия при соответствующем давлении конденсируется, отдавая тепло хладагента внешней охлаждающей среде.
27. *Коридор* — коридор для прохода людей.
28. *Лицо, имеющее допуск к работе,* — работник, официально назначенный для надежного выполнения специфической работы, имеющий достаточный профессиональный опыт и знания для безопасного осуществления этой работы.
29. *Максимальное рабочее давление (МРД)* — избыточное давление, величина которого не должна быть превышена во время работы или остановки холодильной системы, при этом не учитываются пределы функционирования устройства ограничения давления.
30. *Манометрическое (избыточное)* давление — разность между абсолютным давлением в системе и атмосферным давлением на месте эксплуатации.
31. *Машинное отделение* — помещение, предназначенное для размещения основного оборудования холодильной системы с учетом

обеспечения безопасности, которое не является таковым, если в нем размещены только конденсаторы, испарители или трубопроводы.

32. *Моноблочная система* — автономная холодильная система, собранная и прошедшая испытания на месте изготовления и не требующая при монтаже соединения частей, содержащих хладагент. Моноблочная система может включать в себя переходники и отсечные вентили, смонтированные на заводе.
33. *Оборудование холодильной системы* — оборудование холодильной системы, включающее все или часть следующих устройств: компрессор, конденсатор, испаритель, парогенератор, абсорбер (адсорбер), ресивер, соединительный трубопровод.
34. *Общий внутренний объем* — объем, определяемый внутренними размерами камеры без учета сокращения его расположенными внутри элементами.
35. *Отделитель жидкости* — резервуар, находящийся на всасывающем трубопроводе пароконденсионной холодильной машины для предотвращения попадания жидкого хладагента в компрессор.
36. *Охлаждение* — снижение температуры продукта, не приводящее к изменению агрегатного состояния.
37. *Паяное соединение* — газонепроницаемое соединение металлических деталей, полученное пайкой с использованием припоев, имеющих температуру плавления от 200 до 450 °С. Это не относится к плавким пробкам, используемым для сброса давления, превышающего допустимое.
38. *Переключающее устройство* — трубопроводный вентиль, контролирующий два защитных устройства и выполненный таким образом, чтобы одно из этих устройств могло быть выключенным из работы (при одновременной работе другого).
39. *Плавкая пробка* — теплозащитный предохранитель, содержащий материал, который плавится при заданной температуре.
40. *Полезный внутренний объем* — объем, определяемый внутренними размерами камеры с учетом сокращения его расположенными внутри элементами.
41. *Предохранительный клапан* — приводимый в действие давлением нормально закрытый при помощи пружины или других средств клапан, предназначенный для автоматического понижения давления в случае превышения допустимого значения. Кроме того, он предназначен для последующего автоматического перекры-

тия потока хладагента при понижении его давления ниже установленного значения.

42. *Реле давления (устройство ограничения давления)* — прибор, приводимый в действие давлением (например, реле высокого давления), предназначенный для остановки работы узла, создающего давление, и позволяющий дать сигнал тревоги. Это устройство не может повлиять на изменение давления при остановке машины.
43. *Сварное соединение* — газонепроницаемое соединение металлических деталей, находящихся в пластичном или расплавленном состоянии.
44. *Сосуды, работающие под давлением,* — любая часть холодильной системы, содержащая холодильный агент, за исключением:
    - компрессоров;
    - насосов;
    - составных частей изолированной абсорбционной системы;
    - испарителей, у которых каждая содержащая хладагент секция имеет объем не более 15 л;
    - теплообменных змеевиков и секций;
    - трубопроводов, клапанов, соединений и фланцев;
    - регулирующих устройств;
    - коллекторов и других составных частей с внутренним диаметром не более 152 мм и полезным внутренним объемом не более 100 л.
45. *Сторона высокого* давления — часть холодильной системы, функционирующая при давлении, приблизительно равном давлению конденсации.
46. *Сторона низкого давления* — часть холодильной системы, функционирующая под давлением, приблизительно равным давлению испарения.
47. *Сублимационная сушка* — процедура обезвоживания какого-либо вещества путем замораживания с последующей сублимацией образующегося при этом льда.
48. *Трубопроводы* — трубы и канальное устройство, предназначенные для соединения между собой различных частей холодильной системы.
49. *Устройство сброса давления* — предохранительный клапан или разрывная мембрана, предназначенные для автоматического снижения давления в случае превышения допустимого значения.

50. *Хладоноситель* — любая жидкость, используемая для передачи тепла без изменения ее агрегатного состояния.
51. *Холодильная система* — совокупность содержащих хладагент и сообщающихся между собой частей, образующих один закрытый холодильный контур для циркуляции хладагента с целью подвода и отвода тепла.
52. *Холодильная установка* — агрегаты, узлы и другие составные части холодильной системы и вся аппаратура, необходимая для их функционирования.
53. *Холодильный агент* (*хладагент*) — используемая в холодильной системе рабочая среда, которая поглощает теплоту при низких значениях температуры и давления и выделяет теплоту при более высоких значениях температуры и давления. Этот процесс сопровождается изменением агрегатного состояния рабочей среды.
54. *Шлюз* (*тепловая завеса*) — изолированное помещение с отдельными дверями для входа и выхода, позволяющими переходить из одного помещения в другое без нарушения их изоляции друг от друга.

ЛИТЕРАТУРА[1]

1. Аналитическое исследование технологических процессов обработки мяса холодом. — М.: ЦНИИТЭИ, 1970.
2. *Ананьев В. А., Балуева Л. Н., Гальперин А. Д., Городов А. К., Еремин М. Ю., Звягинцева С. М., Мурашко В. П., Седых И. В.* Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика: Учебное пособие. — М.: Евроклимат, изд-во Арина, 2000.
3. *Бобков В. А.* Производство и применение льда. — М.: Пищевая промышленность, 1977.
4. *Вейнберг Б. С., Вайн Л. Н.* Бытовые компрессионные холодильники. — М.: Пищевая промышленность, 1974.
5. *Гельперин Н. И., Носов Г. А.* Основы техники кристаллизации расплавов. — М.: Химия, 1975.
6. *Гинзбург А. С., Громов М. А., Красовская Г. И.* Теплофизические характеристики пищевых продуктов. — М.: Пищевая промышленность, 1980.
7. *Гинзбург А. С., Савина И. М.* Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.

[1] В перечне литературы представлен справочный материал, учебники и учебные пособия. Сведения, представленные в литературе, нашли отражение в учебнике по курсу «Ходильная техника и технология».

Для самостоятельной работы над курсом «Холодильная техника и технология» рекомендуется использовать информацию, представленную в журналах: «Холодильная техника», «Общественное питание», «Известия вузов», «Пищевая технология», «Торговое оборудование», «Bull of IIR» (International institute of refrigeration), «Journal of Food Science» (USA), «Food Research», «Journal of Food Science and Technology» и в других научных и информационных изданиях.

8. *Головкин Н. А.* Холодильная технология пищевых продуктов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
9. *Голянд М. М., Малеванный Б. Н.* Холодильное технологическое оборудование. — М.: Пищевая промышленность, 1977.
10. ГОСТ Р 12.2.142-99, (ИСО 5149-93), Системы холодильные холодопроизводительностью свыше 3,0 кВт. Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 24 ноября 1999 г. № 428-ст.
11. *Данилов А. М.* Холодильная технология пищевых продуктов: Учебное пособие. — Киев: Вища школа, 1974.
12. *Доссат Р. Д.* Основы холодильной техники / Под ред. Л. Г. Каплана. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
13. *Зеликовский И. Х., Каплан Л. Г.* Малые холодильные машины и установки: Справочник. — М.: Пищевая промышленность, 1979.
14. *Зеликовский И. Х., Каплан Л. Г.* Малые холодильные машины и установки: Справочник. — М.: Агропромиздат, 1989.
15. *Кондратьев Г. М.* Регулярный тепловой режим. — М.: Гостехтеориздат, 1954.
16. *Кузовлев В. А.* Техническая термодинамика и основы теплопередачи: Учебник / Под ред. Л. Р. Стоцкого. — М.: Высшая школа, 1975.
17. *Курылев Е. С., Герасимов Н. А.* Холодильные установки. — Л.: Машиностроение; Ленинградское отделение, 1980.
18. *Куцакова В. Е., Филиппов В. И., Фролов С. В.* Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы): Учебное пособие. — СПб.: СПбГАХПТ, 1996.
19. *Лепаев Д. А.* Справочная книга механика по ремонту холодильников. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.
20. *Ловачев Л. Н., Волков М. А., Церевитинов О. Б.* Снижение потерь продовольственных товаров при хранении. — М.: Экономика, 1980.
21. *Лыков А. В.* Теория теплопроводности. — М.: Высшая школа, 1967.
22. *Лэнгли Б. К.* Холодильная техника и кондиционирование воздуха / Под ред. Л. Г. Каплана. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.
23. *Любов Б. Я.* Теория кристаллизации в больших объемах. — М.: Наука, 1975.
24. *Мазуренко А. Г., Федоров В. Г.* Замораживание пищевых продуктов в блоках. — М.: ВО «Агропромиздат», 1988.

25. *Макашвили Г. А.* Методы биологической стабилизации плодов в процессе хранения. — М.: Экономика, 1975.
26. *Маке В., Эккерт Г.-Ю., Кошпен Ж.-Л.* Учебник по холодильной технике. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998.
27. *Метлицкий Л. В.* Основы биохимии плодов и овощей. — М.: Экономика, 1976.
28. *Мещеряков Ф. Е.* Основы холодильной техники и холодильной технологии. — М.: Пищевая промышленность, 1975.
29. *Михайлов Ф. С.* Отопление и вентиляция: Учебное пособие. — М.: Издат. лит-ры по строительству, 1972.
30. Оборудование предприятий торговли и общественного питания: Учебник / Под ред. проф. В. А. Гуляева. — М.: ИНФРА-М, 2002.
31. *Оленев Ю. А., Зубатова Н. Д.* Производство мороженого. — М.: Пищевая промышленность, 1977.
32. *Пап Л.* Концентрирование вымораживанием. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.
33. *Пивоваров В. И., Платонов В. М.* Организация производства полуфабрикатов в общественном питании. — М.: Высшая школа, 1990.
34. Рекомендации по проектированию холодильных установок пищевых производств малых объемов / Под ред. проф. Л. С. Тимофеевского. — Санкт-Петербург—Владивосток: Международная академия холода, 1996.
35. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха /Под ред. Н. Н. Павлова, Ю. И. Шиллера. — М.: Стройиздат, 1992.
36. *Стрельцов А. Н., Шишов В. В.* Холодильное оборудование предприятий торговли и общественного питания: Учебник для нач. проф. образования. — М.: ПрофОбрИздат, 2002.
37. Сублимационная сушка пищевых продуктов растительного происхождения / Под ред. В. Г. Поповского. — М.: Пищевая промышленность, 1975.
38. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин: Учебное пособие / Под ред. проф. Н. Н. Кошкина. — Л.: Машиностроение (Ленингр. отд.), 1976.
39. *Ужанский В. С.* Автоматизация холодильных машин и установок. — М.: Пищевая промышленность, 1973.

40. *Улейский Н. Т., Улейская Р. И.* Холодильное оборудование: Учебное пособие. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2000.
41. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов: Учебное пособие / Под ред. проф. Э. И. Каухчешвили. — М.: Агропромиздат, 1985.
42. Холодильная техника: Учебник / Под ред. проф. В. Ф. Лебедева. — М.: Агропромиздат, 1986.
43. Холодильная техника и технология: Учебник / Под ред. А. В. Руцкого. — М.: ИНФРА-М, 2000.
44. Холодильные машины / Под ред. проф. Л. С. Тимофеевского. — СПб.: Политехника, 1997.
45. Холодильные установки: Учебник / Под ред. проф. И. Г. Чумака. — М.: ВО Агропромиздат, 1991.
46. *Цветков Ю. Н., Бурцев С. И.* Кондиционирование воздуха: Учебное пособие. — ЛТИХП, 1986.
47. *Чижов Г. Б.* Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов. — М.: Пищевая промышленность, 1971.
48. *Чумак И. Г., Чепурненко В. П., Чуклин С. Г.* Холодильные установки. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.
49. *Шавра В. М., Барулина И. Д., Поварчук М. М.* Холодильный транспорт. — М.: Пищевая промышленность, 1981.
50. *Шепелев А. Ф., Печенежская И. А., Гисин В. И.* Торгово-технологическое оборудование: Учебное пособие. — М.: ПРИОР, 2001.
51. *Явнель Б. К.* Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. — М.: Агропромиздат, 1989.

О. А. Цуранов, А. Г. Крысин

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

Под ред. проф. В. А. Гуляева

Главный редактор	*Е. Строганова*
Заведующий редакцией	*И. Андреева*
Руководитель проекта	*Т. Середова*
Выпускающий редактор	*Е. Маслова*
Редактор	*С. Севелев*
Художественный редактор	*К. Радзевич*
Корректоры	*М. Одинокова, Н. Сулейманова*
Верстка	*В. Сергеев*

Лицензия ИД № 06195 от 01.11.01.

ООО «Лидер», 194044, Санкт-Петербург, пр. Б. Сампсониевский, 29а.

Налоговая льгота – общероссийский классификатор продукции ОК 005-9: том 2; 95 3005 – литература учебная.

Подписано в печать 04.06.04. Формат 60×90/16. Усл. п. л. 28. Тираж 4000. Заказ № 996.

Отпечатано с готовых диапозитивов в ООО «Типография Правда 1906». 195299, С.-Петербург, Киришская ул., 2.

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ ПИТЕР®
WWW.PITER.COM

СПЕЦИАЛИСТАМ КНИЖНОГО БИЗНЕСА!

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА ИЗДАТЕЛЬСКОГО ДОМА «ПИТЕР»

предлагают эксклюзивный ассортимент компьютерной, медицинской, психологической, экономической и популярной литературы

РОССИЯ

Москва м. «Калужская», ул. Бутлерова, д. 17б, офис 207, 240; тел./факс (095) 777-54-67; e-mail: sales@piter.msk.ru

Санкт-Петербург м. «Выборгская», Б. Сампсониевский пр., д. 29а; тел. (812) 103-73-73, факс (812) 103-73-83; e-mail: sales@piter.com

Воронеж ул. 25 января, д. 4; тел. (0732) 27-18-86; e-mail: piter-vrn@vmail.ru; piterv@comch.ru

Екатеринбург ул. 8 Марта, д. 267б; тел./факс (343) 225-39-94, 225-40-20; e-mail: piter-ural@r66.ru

Нижний Новгород ул. Премудрова, д. 31а; тел. (8312) 58-50-15, 58-50-25; e-mail: piter@infonet.nnov.ru

Новосибирск ул. Немировича-Данченко, д. 104, офис 502; тел/факс (3832) 54-13-09, 47-92-93, 11-27-18, 11-93-18; e-mail: piter-sib@risp.ru

Ростов-на-Дону ул. Калитвинская, д. 17в; тел. (8632) 95-36-31, (8632) 95-36-32; e-mail: jupiter@rost.ru

Самара ул. Новосадовая, д. 4; тел. (8462)37-06-07; e-mail: piter-volga@sama.ru

УКРАИНА

Харьков ул. Суздальские ряды, д. 12, офис 10–11, т. (057) 712-27-05, 712-40-88; e-mail: piter@tender.kharkov.ua

Киев пр. Красных Казаков, д. 6, корп. 1; тел./факс (044) 490-35-68, 490-35-69; e-mail: office@piter-press.kiev.ua

БЕЛАРУСЬ

Минск ул. Бобруйская д., 21, офис 3; тел./факс (37517) 226-19-53; e-mail: piter@mail.by

МОЛДОВА

Кишинев «Ауратип-Питер»; ул. Митрополит Варлаам, 65, офис 345; тел. (3732) 22-69-52, факс (3732) 27-24-82; e-mail: lili@auratip.mldnet.com

---

Ищем зарубежных партнеров или посредников, имеющих выход на зарубежный рынок.
Телефон для связи: **(812) 103-73-73.**
E-mail: grigorjan@piter.com

Издательский дом «Питер» приглашает к сотрудничеству авторов.
Обращайтесь по телефонам: **Санкт-Петербург – (812) 327-13-11, Москва – (095) 777-54-67.**

Заказ книг для вузов и библиотек: (812) 103-73-73.
Специальное предложение – e-mail: kozin@piter.com