Антонио Бриганти

РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК И УСТАНОВОК ДЛЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

МОСКВА
ЕВРОКЛИМАТ
2004

УДК 621.56/.59 (072)
ББК 31.392
Б 87

Бриганти Антонио
Руководство по техническому обслуживанию холодильных установок и установок для кондиционирования воздуха: Перевод с итальянского / Под редакцией Гальперина А. Д. — М.: Евроклимат, 2004. — 312 с.: ил. — (Библиотека климатехника).

В книге дается описание современных методик эксплуатации и технического обслуживания холодильных установок и установок кондиционирования воздуха, обнаружению и устранению возникающих неполадок.

Подробно рассмотрены устройство и принципы работы компрессоров различного типа и многих других узлов. Описаны процессы протекающие в холодильных машинах.

Книга «Руководство по техническому обслуживанию холодильных установок и установок для кондиционирования воздуха» предназначена для инженеров по эксплуатации, технических специалистов, проектировщиков холодильных систем и студентов профильных вузов.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может воспроизводиться либо распространяться ни в какой форме — в виде фотокопий, микрофильмов, либо другим способом, без письменного разрешения издателя.

Copertina di Alessandra Loiodice
Stampa: Latitotipo, Settimo Milanese (MI)
Finito di stampare nel mese di marzo 2000

© 2000 Tecniche Nuove, via Ciro Menotti 14, 20129 Milano
Redazione: tel. 02 7570254 — 02 7570257, fax 02 7570255,
e-mail: libri@tecnet.it
Vendite: tel. 02 7570251 — 02 7570252, fax 02 7570373,
e-mail: vendite-libri@tecnet.it
http://www.tecnet.it

© ЕВРОКЛИМАТ, 2004 г.

ISBN 5-89520-046-X

ББК 31.392

ПРЕДИСЛОВИЕ

Уважаемые читатели!

С развитием климатического рынка, в России все явственнее стал ощущаться дефицит специальной литературы. Особенно не хватает книг, в которых кроме теории излагались бы практические вопросы — подробное рассмотрение современного оборудования, описание возможностей его применения.

Одна из стратегических задач, которые ставит перед собой компания ЕВРОКЛИМАТ — восполнить дефицит специальной литературы. Первые шаги в этом направлении были сделаны пять лет назад, когда вышла первая книга из столь популярной ныне серии "Библиотека климатехника" — "Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика".

Книга Антонио Бриганти "Руководство по техническому обслуживанию холодильных установок и установок кондиционирования воздуха" — уже пятое по счету издание в серии "Библиотека климатехника".

Выбор темы технического обслуживания для очередного издания в серии "Библиотека климатехника" не случаен. Именно от того, насколько качественно проводится техническое обслуживание, во многом зависит срок службы оборудования. Поэтому так важен выпуск книг, излагающих самые современные методики в области проведения сервисных работ.

Совместно с итальянскими коллегами мы подготовили данное руководство, в котором изложены самые современные методики в области проведения сервисных работ. Эта книга, по сути, первое издание, столь полно отразившее круг теоретических и практических проблем в области технического обслуживания.

Автор, в сотрудничестве с ведущими производителями климатической техники, систематизировал огромный опыт работы современных компаний, выработав ряд эффективных рекомендаций по эксплуатации, профилактике, обслуживанию и наладке оборудования.

Уверен, что новая книга компании ЕВРОКЛИМАТ окажется интересной и полезной не только для профессионалов — инженерам по эксплуатации, техническим специалистам, но и, несомненно, найдет практическое применение в вузах - в качестве учебного пособия.

Мы ждем ваши отзывы по адресу: 105082, Москва, Рубцовская наб., д. 3, компания ЕВРОКЛИМАТ. Именно рекомендации и мнения наших читателей помогают формировать дальнейшие направления серии.

Генеральный директор
компании ЕВРОКЛИМАТ
Горовой Г. Ю.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

В связи со стремительным ростом развития климатического производства, повышаются и требования к техническому обслуживанию оборудования. Решения инженерных задач, связанных с монтажом, эксплуатацией и ремонтом холодильных установок и систем кондиционирования требуют высокого уровня подготовки технических специалистов.

Книга "Руководство по техническому обслуживанию холодильных установок и установок кондиционирования воздуха", отвечает на многие вопросы в области проведения сервисных работ по климатическому оборудованию.

В книге дается описание современных методик по эксплуатации, техническому обслуживанию, профилактике оборудования, обнаружению и устранению возникающих неполадок.

Подробно рассмотрены устройство и принципы работы холодильных компрессоров как поршневого типа, так и винтовых, центробежных и спиральных "Scroll" компрессоров. Рассмотрены конструкции таких важных элементов, требующих наибольшего внимания обслуживающего персонала, как клапаны, сальниковые уплотнители вала, система смазки, и многих других узлов. Представлены сведения по основным аппаратам холодильных машин — испарителям и конденсаторам, рассмотрены принципы теплообмена в этих элементах, и даны практические рекомендации по температурному напору в различных условиях эксплуатации.

Практическую ценность имеют рекомендации по работе и настройке терморегулирующих вентилей в зависимости от режима работы и реальных условий эксплуатации.

Особого внимания заслуживает раздел, посвященный эксплуатации холодильных агентов. В этой части книги подробно рассматриваются вопросы сбора, регенерации и переработки холодильных агентов, а также замена агента R22 на современные альтернативные хладагенты.

Мы уверены, что издание "Руководство по техническому обслуживанию холодильных установок и установок кондиционирования воздуха" будет востребовано инженерами по эксплуатации, техническими специалистами, проектировщиками климатических и холодильных систем и студентами профильных вузов.

Гальперин А. Д.

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Основы планирования ведения технического обслуживания 12
Срок эксплуатации оборудования 13
Разделение установки на блоки в целях ведения технического обслуживания 14
Цели технического обслуживания 14
Надежность 14
Безопасность 16
Эффективность 16
Ресурс 16
Измерения в ходе технического обслуживания 17
Температура и относительная влажность в помещениях 17
Скорость движения воздуха 18
Измерение расходов воздуха 18
Давление в каналах 20
Потребление электроэнергии двигателями 21
Скорость вращения вентиляторов 21
Прочие измерения 21
Основные причины выхода из строя оборудования 22
Глава 2. Технические зоны 24
Теплоцентраль 25
Котельная 25
Резервуары для мазута 27
Холодильная установка 28
Машинные помещения 28
Внешние технические зоны 29
Вес различных частей оборудования 31
Зоны доступа и антропометрические ограничения 31
Глава 3. Документация по эксплуатации и техническому обслуживанию оборудования 34
Структура документации 35
Перечень документации 35
Чрезвычайные ситуации 35
Эксплуатация 36
Техническое обслуживание 36
Результаты испытаний 36
Глава 4. Профилактика неисправностей в холодильных установках 38
Соотношение давлений 39
Определение соотношения давлений 39
Меднение основных рабочих органов 39
Износ и поломки 40
Значения соотношения давлений 41
Влияние температуры 41
Частые запуски 41
Ошибки при установке термостата на участке подачи воздуха 42
Ошибки при пониженной разнице температур между включением и отключением установки 42
Неверная эксплуатация установки 43
Гидравлические удары при запуске 43
Проверка уровня масла 44
Недостаточное количество смазки 44
Давление при недостаточном количестве масла 45
Низкая температура окружающей среды 46
Наличие влаги и загрязнения в контуре 46

Недостаточный перегрев хладагента при всасывании 46
Образование кислоты 47
Недостаточное охлаждение компрессора 47
Повышенная температура хладагента на линии нагнетания 47
Теплообменники с нагревом воды на линии перегретого газа 48
Направление вращения компрессора 48
Функционирование трехфазного электродвигателя в режиме однофазного 48
Профилактика утечек холодильного агента 49
Проверка трубок теплообменников 49
Электронная диагностика 50
Неисправности, вызванные неполадками в системе электропитания 50
Дисбаланс электропитания на фазе 51
Проверка дисбаланса электропитания по фазам 52
Дисбаланс силы тока 53
Рекомендации по проведению измерений в системе электропитания 53
Глава 5. Обнаружение неисправностей в холодильных установках 54
Визуальный контроль и связанные с ним меры 55
Проведение измерений 57
Глава 6. Меры по усовершенствованию и ремонту на холодильных установках 64
Очистка контуров 65
Влажность в контурах 65
Удаление влажности адсорбцией 66
Значение смотрового стекла 67
Температура и влажность в фильтрах 68
Создание разряжения в контуре 68
Тройная эвакуация 70
Нарушение разряжения 70
Продувка и проверка надежности работы контура 71
Очистка контура после сгорания одного из компрессоров 71
Проблемы смазки 72
Разбавление масла 73
Холодильные линии 74
Отстойники и вертикальные участки 75
Балансировка контура 75
Миграция холодильного агента 75
Проблемы, связанные с работой компрессора 76
Резюме 76
Затопление установок 77
Глава 7. Эксплуатация холодильных установок 78
Утечка холодильного агента 79
Засорение фильтра-осушителя 80
Загрязнение установки 80
Снижение эффективности работы компрессора 81
Соленоидные клапаны 81
Клапаны термостатического расширения (ТРВ) 81
Неполадки, связанные с работой термостатов и реле давления 82
Электровентиляторы 82
Наличие воздуха в холодильных контурах 82
Загрязнение конденсаторов 82
Регулировка холодильного агента в контурах 82
Холодный запуск и подогреватель картера 83
Регулировка давления конденсации 85
Регулировка подачи воздуха 85

Установка компрессорно-конденсаторных блоков внутри 86
Изменение емкости конденсатора методом затопления 86
Удаление наледи с внешних батарей 87
Удаление наледи горячим газом 87
Удаление наледи электричеством 89
Управление циклом удаления наледи 89
Функционирование при высоких внешних температурах 90
Разница температур 91
Охлаждение электродвигателей 91
Влияние соотношения давлений 93
Подгорание масла 93
Глава 8. Эксплуатация низкотемпературных холодильных установок 94
Функционирование при низких температурах и опасность перегрева 95
Установки для низких температур 97
Установки для средних температур 99
Снижение потребления электроэнергии в низкотемпературных установках 100
Клапаны регулирования перегрева компрессора 101
Жидкостно-газовые теплообменники на участке всасывания 102
Проблемы эксплуатации установок с рекуперацией тепла 102
Возврат тепла от конденсатора 102
Двухступенчатые компрессоры 103
Переохлаждение жидкости 104
Элементы системы безопасности 105
Терморегулирующий вентиль расширения промежуточной стадии 105
Установки с промежуточным хладоносителем 106
Глава 9. Эксплуатация и рабочие режимы поршневых компрессоров 107
Реальное функционирование компрессоров 108
Давление/температура на участке всасывания 109
Давление на нагнетании 109
Температура на конечной фазе компрессии 109
Типы поршневых компрессоров 110
Цикл сжатие-расширение 112
Герметичный компрессор 113
Одноступенчатый полугерметичный компрессор 114
Запуск компрессоров 116
Охлаждение двигателя 117
Регулировка холодильной мощности 118
Параллельные полугерметичные компрессоры 119
Линии выравнивания давления 119
Подача и независимая регулировка масла 119
Всасывающий коллектор 120
Коллектор подачи 121
Открытый компрессор 121
Глава 10. Эксплуатация и рабочие режимы компрессоров scroll 123
Механические и рабочие характеристики 125
Трехразмерная адаптация 125
Отсутствие износа и повышение ресурса 126
Условия запуска 126
Механическая надежность 127
Смазка 127
Холодильные показатели и показатели потребления энергии 129
Функционирование в режиме кондиционирования 130
Функционирование в режиме теплового насоса 130

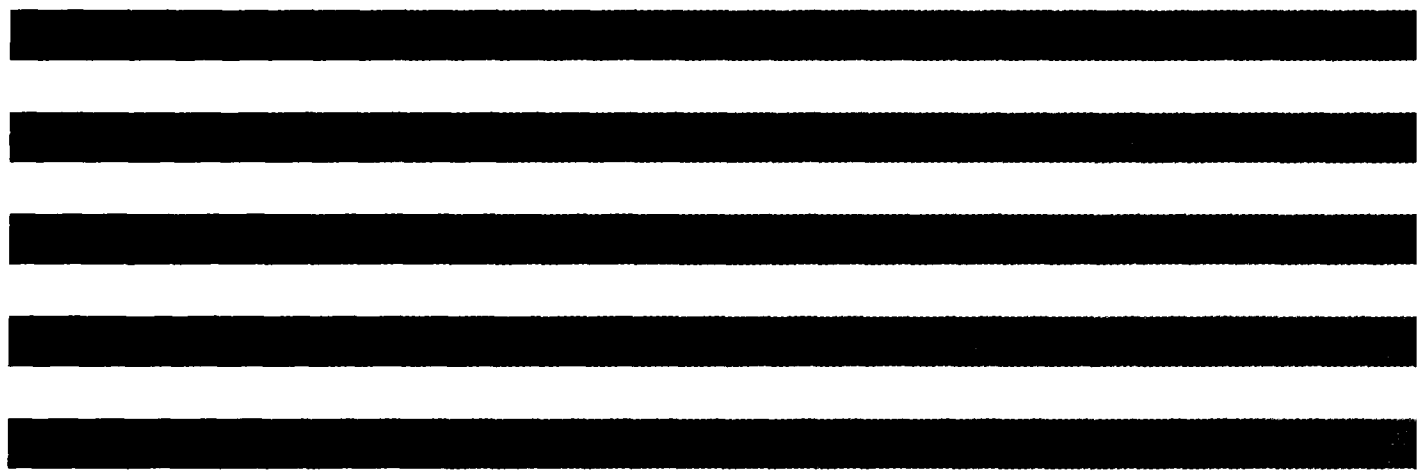
Параллельные компрессоры 132
Компрессоры типа «Тандем» 132
Эксплуатация компрессоров scroll 133
Действия при запуске 133
Кратковременные сбои напряжения в сети 134
Действия для остановки работы 134
Подсоединения электропитания 134
Распайка компонентов установки 135
Глава 11. Эксплуатация и рабочие режимы винтовых и центробежных компрессоров 136
Компрессоры с двойным винтом 137
Всасывание, сжатие, выпуск 139
Смазка, уплотнение, охлаждение 140
Рабочие режимы 141
Регулировка холодильной мощности 141
Одновинтовые компрессоры 144
Всасывание, сжатие, выпуск 145
Смазка, уплотнение, охлаждение 145
Регулировка холодильной мощности 146
Механические характеристики 146
Соединения запараллеленных винтовых компрессоров 146
Эксплуатация винтовых компрессоров 148
Циркуляция масла 148
Охлаждение масла 150
Перегрев всасываемого газа и переохлаждение жидкости 152
Заправка холодильного агента 152
Техническое обслуживание винтовых компрессоров 152
Центробежные компрессоры 152
Работа насоса 157
Техническое обслуживание 157
Глава 12. Использование смазочных масел 159
Рабочие характеристики масел 160
Смешиваемость масел с холодильными агентами 162
Полиэстерные масла 164
Гигроскопичность 164
Растворимость 166
Генерация шумов в компрессоре 166
Замена минерального масла полиэстерным 166
Действия по замене масла 167
Взятие проб масла 168
Глава 13. Рабочие режимы испарителей и батарей охлаждения 169
Пластинчатые паяные испарители 171
Испарители с двойным холодильным контуром 172
Установка 172
Эксплуатация и техническое обслуживание 174
Кожухотрубные испарители 176
Испарители типа «труба в трубе» 177
Затопленные испарители 177
Факторы, влияющие на функционирование испарителей 178
Общий коэффициент теплообмена 178
Потеря давления 179
Эксплуатация 179
Испарительные батареи прямого расширения 180
Конструкция 181

Эксплуатация ... 183
Батареи на охлажденной воде ... 183
Коэффициент обвода (bypass) ... 185
Глава 14. Терморегулирующие вентили ... 187
Автоматические барорегулирующие вентили ... 188
Терморегулирующие вентили (ТРВ) ... 188
Перегрев газа на выходе ... 191
Производительность ... 191
Функционирование при изменении нагрузки ... 193
Производительность распределителя ... 193
Калибровка перегрева ... 194
Техническое обслуживание и монтаж ... 195
Глава 15. Рабочие режимы конденсаторов ... 198
Процесс конденсации ... 199
Снятие перегрева ... 199
Конденсация ... 199
Переохлаждение ... 199
Общий объем перерабатываемого тепла ... 200
Типы конденсаторов ... 201
Конденсаторы с водяным охлаждением ... 201
Конденсаторы с пучком трубок ... 201
Конденсаторы с паяными пластинами из нержавеющей стали ... 202
Конденсаторы типа «труба в трубе» ... 203
Коэффициент загрязнения ... 204
Циркуляция в системе гидравлики (количество прохождений воды) ... 206
Потери напора воды ... 206
Конуры охлаждения с использованием градирен ... 207
Конденсаторы с воздушным охлаждением ... 208
Батарея ... 208
Вентилятор ... 209
Регулировка давления конденсации ... 210
Регулировка потока воздуха ... 210
Регулировка контура холодильного агента ... 211
Установка ... 212
Испарительные конденсаторы ... 214
Рабочие режимы ... 215
Регулировка давления конденсации ... 215
Установка ... 216
Глава 16. Эксплуатация холодильных агентов ... 217
Азеотропные и зеотропные агенты ... 218
Поведение смесей ... 219
Холодильные агенты, заменяющие R-22 ... 220
Меры по эксплуатации ... 221
Сбор, регенерация и переработка холодильных агентов ... 222
Сбор холодильного агента ... 223
Регенерация холодильного агента ... 225
Переработка холодильного агента ... 225
Обнаружение утечек холодильного агента ... 226
Стационарное мониторинговое оборудование ... 229
Переносные обнаружители утечек ... 230
Глава 17. Переналадка имеющегося холодильного оборудования ... 232
Конверсия оборудования ... 233
Сохранение холодильного агента ... 234

Замена оборудования 235
Выбор правильных решений 236
Глава 18. Техническое обслуживание оборудования 237
Меры по техническому обслуживанию 242
Проверка забора внешнего воздуха 242
Изменение настройки термостата 242
Оптимизированный запуск оборудования 242
Периодическое функционирование вентилятора 243
Регулировка термостата контура горячей воды 243
Меры по доводке 243
Установка клапанов вблизи решеток забора внешнего воздуха 243
Доводка выпускных клапанов и клапанов забора внешнего воздуха 243
Изоляция воздуховодов 243
Герметичность воздуховодов 244
Чистка теплообменников 244
Чистка воздушных контуров 247
Чистка воздуховодов 249
Меры гигиены в рабочих помещениях 251
Чистка установок обработки воздуха 252
Вынос конденсата из батареи охлаждения 253
Неудовлетворительный выбор параметров батареи 253
Загрязнение батареи 254
Неравномерность распределения скорости потока воздуха 254
Общие меры по чистке 254
Очистка градирен и испарительных конденсаторов 255
Легионелла и болезнь легионеров 256
Эксплуатация градирен 257
Система привода вентилятора 258
Техническое обслуживание воздушных фильтров 260
Меры профилактики 260
Утилизация фильтров 261
Глава 19. Системы гидравлики и линии вывода конденсата 262
Техническое обслуживание и ремонт систем гидравлики 263
Измерение расхода жидкости 264
Обнаружение мест утечек воды из труб 267
Защита от замерзания воды 267
Обработка воды градирни 268
Стандартные показатели качества воды 269
Типичные меры контроля качества воды 269
Вода контура охлаждения 269
Охлажденная вода 269
Линии вывода конденсата 270
Несоответствие требованиям эксплуатации параметров накопителя 270
Накопители с наклонным дном 272
Проверка функционирования накопителей 273
Проверка функционирования сифона водостока 273
Глава 20. Абсорбционные агрегаты на бромиде лития 275
Рабочие циклы 276
Абсорбционный агрегат простого действия (базовый цикл) 276
Абсорбционный агрегат двойного действия 277
Вода охлаждения 278
Функционирование в режиме разряжения 281
Бромид лития 281

Эксплуатация 281
Контроль рабочих показателей 282
Метод установки рабочих показателей 282
Техническое обслуживание 283
Проверка разряжения 284
Процедура сброса 285
Метод считывания показателей манометра 285
Техническое обслуживание насоса сброса 286
Сброс холодильного агента 287
Проверка раствора бромида лития 287
Проверка топливного оборудования 287
Проверка температуры воды в системе охлаждения 287
Переработка воды градирни 287
Глава 21. Компьютерная система для технического обслуживания: программы CMMS 289
Сбор данных 291
Явные и скрытые затраты 293
Подсчет экономии 293
Глава 22. Мероприятия по охране труда 294
Меры индивидуальной безопасности 296
Подъем оборудования 297
Складирование и эксплуатация баллонов с холодильным агентом 297
Жидкие холодильные агенты 299
Сварка и кислородно-ацетиленовая резка 300
Использование инструментов 301
Проверка герметичности и давления 302
Меры по техническому обслуживанию холодильных установок и установок кондиционирования воздуха 304
Общие меры предосторожности 304
Установки переработки воды 304
Компрессоры холодильной установки 305
Теплообменники 305
Центробежные холодильные агрегаты 306
Схема электропитания и меры по регулировке 306
Трансмиссии 307
Турбины 308
Абсорбционные холодильные группы 308
Воздушные контуры и меры по регулировке 309
Библиография 310

ГЛАВА 1



Основы планирования ведения технического обслуживания

Срок эксплуатации оборудования 13
Разделение установки на блоки в целях ведения технического обслуживания 14
Цели технического обслуживания 14
Надежность 14
Безопасность 16
Эффективность 16
Ресурс 16
Измерения в ходе технического обслуживания 17
Температура и относительная влажность в помещениях 17
Скорость движения воздуха 18
Измерение расходов воздуха 18
Давление в каналах 20
Потребление электроэнергии двигателями 21
Скорость вращения вентиляторов 21
Прочие измерения 21
Основные причины выхода из строя оборудования 22

Стоимость и сложность установок HVAC&R (*Heating Ventilating Air Conditioning & Refrigeration*) для производственных и иных помещений, а также их важная роль обусловили необходимость обеспечения планирования и высокого профессионального уровня их технического обслуживания.

Цели планирования технического обслуживания разнообразны, но в основном сводятся к достижению следующих задач:

— обеспечение надежности функционирования оборудования и предупреждение его поломок;
— поддержание на высоком уровне энергетического КПД;
— обеспечение предусмотренного ресурса и по возможности его увеличение.

Организация ASHRAE (*American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers*) рекомендует осуществлять планирование технического обслуживания в двух направлениях:

1) достижение поставленных целей;
2) имеющиеся средства по минимизации времени простоя и времени на устранение неисправности.

В отношении планирования технического обслуживания можно выделить три основных уровня мероприятий:

1) профилактическое техническое обслуживание, обеспечивающее надежность, безопасность, эффективность и длительный ресурс установки;
2) корректив ное техническое обслуживание, предусматривающее действия, необходимые для предупреждения причин возникновения возможных поломок;
3) предсказательное техническое обслуживание, являющееся разновидностью корректив ного, предполагает изучение данных статистики по конкретным направлениям, например, мониторинг вибраций и шумов, визуальный контроль и пр.

Срок эксплуатации оборудования

При разработке плана ведения технического обслуживания нельзя не учитывать рабочий ресурс установки, а при наличии уже действующего оборудования — срока его эксплуатации и характера ранее производившихся работ.

Таблица 1.1. Средний оценочный рабочий ресурс (в годах) основных компонентов системы HVAC&R.

Кондиционер split для жилых помещений	15	Батареи теплообменников	
Автономный кондиционер на воде	15	– на воде, прямого расширения, на паре	20
Тепловой насос воздух-воздух для жилых домов	15	– электрические	15
Тепловой насос воздух-воздух для производства	15	Поршневые компрессоры	20
Тепловой насос вода-воздух для производства	19	Холодильные группы	
Кондиционер roof-top	15	– поршневые	20
Котел с трубами для воды	24	– центробежные	23
Котел с трубами для дыма	25	– адсорбционные	23
Топка	21	Градирни	
Генератор горячего воздуха на газе или мазуте	18	– из оцинкованной стали	20
Термоконвектор на газу или электрический	13	– из дерева	20
Термоконвектор на горячей воде или паре	25	– из керамики	34
Радиатор на горячей воде или паре	20	Воздушные конденсаторы	20
Воздухораспределительные терминалы		Испарительные конденсаторы	20
– воздуховоды, решетки и калибровочные кулисы	27	Изоляция	
– кассеты VAV и смесители	11	– прокладки	24
Воздуховоды	30	– инжектируемая	20
Клапаны	20	Насосы	
– уплотнения	9	– на станине	20
Вентиляторы		– циркуляционные (монтируемые на трубах)	10
– центробежные	25	Регуляторы	
– осевые	20	– пневматические	20
– винтовые	15	– электрические	6
– заборники на крыше	20	– электронные	15
Электродвигатели	18	Приводы	
– статоры двигателей	17	– пневматические	20

Источник: ASHRAE, исследования, проведенные организацией TC 1 8 (Акалин 1978). С поправками TC 1.8 от 1986 г.

В таблице 1.1 показана средняя продолжительность рабочего ресурса установок, рассматриваемых организацией ASHRAE: абстрагируясь от рассмотрения конкретных позиций, можно сказать, что разумным периодом эксплуатации установки является период в 20–30 лет в зависимости от качества изделия.

При эксплуатации новой установки эта таблица помогает довольно точно оценить рабочий ресурс компонентов, учесть их износ, предусмотреть возникновение неисправностей, выбрать правильные решения и оценить стоимость работ по техническому обслуживанию. При эксплуатации уже имеющегося оборудования труднее оценить степень износа установки при имевшем место неудовлетворительном техническом обслуживании и вызванном этим ускоренным износом его компонентов. Необходимо произвести осмотр установки для определения условий и показателей ее функционирования, после чего можно оценить возможно ожидаемый рабочий ресурс.

Разделение установки на блоки в целях ведения технического обслуживания

1. Холодильная машина или котел с насосными группами и баками охлажденной воды (если имеются).
2. Центральный блок обработки и регулировки воздуха или автономный кондиционер типа «Roof-Top», размещенный снаружи.
3. Сеть воздуховодов от блока обработки воздуха (или автономного кондиционера) до воздухораспределителей и решеток для забора наружного воздуха.
4. Гидравлический контур (если имеется) между холодильной машиной (или котлом) и приточными установками и блоками обработки воздуха.
5. Внешние вентиляционные установки (если имеются).
6. Контур хладагента для соединения внешних и внутренних блоков или компрессорно-конденсаторных блоков с блоками испарителей, если речь идет о холодильных машинах.

Цели технического обслуживания

В Италии правовые нормы, регулирующие ведение технического обслуживания, соотносятся с основными нормами UNI и подразделяются на следующие группы:
— общие принципы;
— договорная база;
— недвижимое имущество.

Список основных нормативов приводится в таблице 1.2.

Техническое обслуживание должно обеспечить выполнение условий, перечисленных ниже.

Надежность

Под *надежностью* понимается удовлетворение следующих реквизитов:
— постоянство функционирования в нормальных и критических рабочих режимах;
— постоянство функционирования при изменениях нагрузки;
— запуск по команде после кратких или продолжительных остановок работы;
— своевременная активация систем обеспечения безопасности труда и тревоги на установке (например: клапаны огнезадерживающие, sprinkler, датчики наличия дыма, вентиляторы дымоудаления и пр.).

Указанные условия эксплуатации подразумевают весьма различные режимы работы оборудования. Например, в установках с переменным расходом воздуха внешние вентиляторы и распределители постоянно подвержены рабочим режимам, которые невозможно контролировать обычными методами мониторинга. В отношении распределителей техническое обслуживание может производиться только на основе статистических данных. Действительно, чтобы оценить их состояние и рабочие характеристики, необходимо произвести их демонтаж и осмотр. Похожая ситуация с огнезадерживающими клапанами или с клапанами дымоудаления. И напротив, в отношении вентиляторов имеется возможность визуально оценить состояние различных компонентов.

Таблица 1.2. Нормативы UNI по техническому обслуживанию оборудования.

Общие положения	
UNI 10147 Техническое обслуживание. Терминология	Расширяет терминологическое содержание норматива UNI 9910, относящегося к надежности и качеству обслуживания.
UNI 10224 Основные принципы ведения технического обслуживания	Указывает, как организовать и производить техническое обслуживание в условиях производства.
UNI 10366 Критерии проектирования технического обслуживания	Дополняет норматив UNI 10224 рекомендациями об организации политики технического обслуживания (профилактического, предсказательного, периодического, при выходе оборудования из строя и пр.) для оптимизации общих показателей затрат.
UNI10388 Индексы технического обслуживания	Предлагает к применению некоторые простые соотношения данных, значение которых может быть полезным для определения с помощью соответствующего банка данных наилучшего плана действий в каждом конкретном случае.
UNI 10584 Информационные системы для технического обслуживания	Описывает особенности системы информационной поддержки для сбора данных, необходимых для организации и проведения правильного технического обслуживания.
UNI 10749 (части с 1 по 6) Руководство по работе с материалами для технического обслуживания	После вступительной части норматив указывает критерии классификации, кодирования, унификации и информационной поддержки при выборе, оперативном управлении, получении, контроле и проверке, пользовании материалами, необходимыми для технического обслуживания.
UNI 10652 Оценка состояния имущества	Дополняет норматив UNI 10388 рядом дополнительных сведений для оценки состояния «устаревания» имущества.
Договорная база	
UNI 10144 Классификация услуг по техническому обслуживанию.	Предлагает методологию по определению вида услуг и связанных с ними работ. Предприятие, предоставляющее соответствующие услуги, может быть классифицировано по настоящему нормативу в зависимости от типа, специализации, метода и области проведения услуг по техническому обслуживанию.
UNI 10145 Определение факторов оценки предприятий поставщиков услуг по техническому обслуживанию.	Предлагает ориентировки по определению того, в какой степени потребности пользователя могут быть удовлетворены предприятием, предоставляющим услуги по техническому обслуживанию, которое в свою очередь может уточнить собственные возможности.
UNI 10146 Критерии составления договора на предоставление услуг по техническому обслуживанию.	Рассматривает необходимые этапы выработки договора и указывает положения, которые должны учитываться для его более полного составления.
UNI 10148 Ведение договора по техническому обслуживанию.	Определяет действия, позволяющие обеспечить соблюдение согласованных положений. Соответственно, связан с нормативом UNI 10146, дополняя его на этапе работы по договору.
UNI 10449 Разрешение на вид работ.	Дополняет норматив UNI 10148, объясняя, как оформить и использовать подобное «разрешение», уточняет, как обеспечить безопасность труда, и связанную с этим ответственность лиц.
UNI Услуги общего характера.	Следует рассматривать вместе с нормативом UNI 10146.
Вопросы недвижимости	
UNI 10604 Критерии планирования, управления и контроля по осуществлению технического обслуживания объектов недвижимости	Техническому обслуживанию здесь отводится роль определения степени износа и обеспечения возможной корректировки требований.

Источник: Unione & Certificazione, февраль 1999 г.

Безопасность

Нормативы *безопасности труда* содержатся в деиствующих законах и законодательных актах. Уже действующие установки должны быть приведены в соответствие с недавно принятыми законами.

Существует три уровня обеспечения безопасности труда, которые можно учитывать при составлении плана технического обслуживания.

1. Меры обеспечения безопасности, предусмотренные в оборудовании при проектировке и изготовлении, в том числе с точки зрения их учета при последующих мероприятиях по техническому обслуживанию. Речь идет о рекомендациях и законодательных нормативах (например, касающихся электрооборудования, резервуаров под давлением, технических газов и пр.), к которым следует добавить меры, предусмотренные в рамках ведения последующего технического обслуживания. Оборудование должно предусматривать возможность проведения нормальных работ по техническому обслуживанию без возникновения угрозы для безопасности персонала. В нем, например, должны быть предусмотрены дверцы доступа к воздухоканалам и вентиляционным агрегатам и дверцы в подвесном потолке для доступа к воздуховодам и распределителям, конструкция должна предусматривать демонтаж и монтаж деталей, в отношении которых производится техническое обслуживание.
2. Меры безопасности труда в отношении персонала, обслуживающего нормальную работу установки. Они включают в себя меры по электрозаземлению воздуховодов и компонентов установки, электропроводку машин и их регулировку, выполненные с соблюдением нормативов ЕЭС, а также иные меры, предусмотренные законами и техническими нормативами.
3. Меры безопасности и охраны труда специалистов по техническому обслуживанию, исключающие возможность получения травм при проведении работ, нанесения ущерба третьим лицам или предметам. Эти меры находятся в тесной взаимосвязи с мерами, перечисленными в предыдущем пункте, и зависят от имеющихся производственных площадей, качества производимых работ и пр.

Эффективность

Установка должна функционировать с максимальной *эффективностью*, предусмотренной проектом и рабочими характеристиками машин на всех режимах работы. Одним из основных условий эффективного функционирования установки является ее энергетическая эффективность, поскольку важно снижать затраты на электроэнергию и негативное воздействие технических отходов на окружающую среду как прямых, так и являющихся продуктом функционирования котлов (CO_2), т. е. вторичных относительно потребляемой энергии.

На сегодняшний день современные методы руководства производственными процессами BAS (Building Automation System) предоставляют широкие возможности по оптимизации условий функционирования оборудования, а также составления базы данных об имевших место поломках и причинах, повлекших за собой их возникновение.

Ресурс

При надлежащем техническом обслуживании удается обеспечить *ресурс* различных компонентов установки примерно равный показателям, приведенным в таблице 1.1.

В отношении статичных рабочих органов (распределители, воздуховоды и пр.) рабочий ресурс следует понимать как устойчивость к коррозии и износу, сохранение устойчивости к воздействию воздуха в допустимых пределах, сохранение изоляционных свойств, показателей вибрации и шума в допустимых пределах и т. д.

Для подвижных элементов (холодильные группы, насосы, вентиляторы и пр.) ресурс определяется по сохранению рабочих характеристик в пределах допустимых нормативов надежности, безопасности и эффективности.

Для определения ресурса статических рабочих органов применяется главным образом визуальный контроль. В отношении работы машин требуется производить контроль шума и производимой вибрации, замерять потребляемую энергомощность, скорость вращения и пр.

Измерения в ходе технического обслуживания

В ходе осуществления плана текущего технического обслуживания установки HVAC&R основными могут считаться следующие компоненты:
— температура и относительная влажность воздуха в помещении;
— скорость движения воздуха в помещении;
— расход воздуха по помещениям;
— давление в воздуховодах;
— электроэнергия, потребляемая двигателями вентиляторов, насосов, компрессоров и пр.;
— скорость вращения вентиляторов.

В дальнейшем в случае принятия чрезвычайных мер по техническому обслуживанию могут быть необходимы и другие действия; здесь мы ограничиваемся лишь наиболее часто встречающимися мерами

Для текущих работ необходимы следующие часто используемые инструменты: термометры, психрометр, анемометр, угловой манометр для измерения давления в воздуховодах с использованием трубок Пито, тахометр для измерения скорости вращения вентиляторов, токоизмерительные клещи, вольтметр/омметр, обнаружитель утечки холодильного агента, блок манометров и баллонов для дозаправки холодильного агента, приспособления для удаления холодильного агента и баллоны для его сбора. Все инструменты должны быть хорошего качества, а электронные инструменты — правильно откалиброваны.

Температура и относительная влажность в помещениях

Психрометр позволяет определять температуру при сухой колбе термометра (с. к.) и при влажной колбе термометра (в. к.), обеспечивая возможность определить уровень относительной влажности с использованием психометрической диаграммы и соответствующих таблиц, поставляемых изготовителем инструмента.

Имеются в распоряжении как жидкостные, так и электронные инструменты (рисунок 1.1); в отношении последних может оказаться необходимым производить периодическую калибровку.

С недавнего времени появились различные модели термометров на инфракрасных лучах, некоторые с лазерным наведением, для определения температуры на удаленных участках (рисунок 1.2). Температура в помещении обычно измеряется в его центре на высоте 1,5 м от пола.

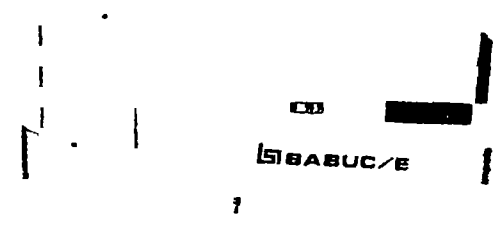


Рисунок 1.1. Электронный психрометр для измерения температуры при сухой колбе и при влажной колбе с записывающим устройством.

Рисунок 1.2. Термометр на инфракрасных лучах, позволяющий измерять температуру на расстоянии от объекта с лазерным наведением. Изображенная на рисунке модель термометра позволяет измерять температуры от −32 до 540°C.

Скорость движения воздуха

При измерении скорости движения воздуха, поступающего из распределителей, а также при определении различных направлений движения воздуха, или же, наоборот, определении состояния покоя воздушных масс, имеющиеся инструменты (анемометры) позволяют достигать высокой точности измерения в интервале от 0 до 3 м/с при замерах в помещении (рисунок 1.3). Они бывают двух типов: с горячей нитью и с крыльчаткой; последний тип может быть полностью механическим или с электронным контуром обработки данных и дисплеем. Некоторые модели рассчитаны только на проведение измерений, другие же позволяют производить запись полученных данных с последующей распечаткой. Замеры должны производиться внутри интересуемого помещения также на высоте 1,5 м от пола. В холлах и в очень больших помещениях необходимо производить несколько замеров, в том числе на различной высоте для определения наличия возможных аномалий.

Измерение расходов воздуха

Используемые инструменты имеют те же характеристики, что и те, которые описаны в предыдущем параграфе Они позволяют определить количество воздуха, поступающего через патрубки, распределители, решетки и пр.; однако, имеются также приборы для постоянного монтажа в воздуховодах, позволяющие производить постоянный мониторинг в выбранных местах воздушного контура. Переносные инструменты должны помещаться в места прохождения воображаемой сетки над сечением воздуховода, на уровне которого необходимо произвести замер пропускной способности; расстояние между такими местами должно быть примерно 150 мм. Таким образом (рисунки 1.4, 1.5 и 1.6) определяется средняя скорость V_m (в м/с).

Зная площадь сечения воздуховода A (в м^2), можно рассчитать расход воздуха Q (в м^3/час) по следующей формуле:

$$Q = V_m \cdot A \cdot 3600$$

Может возникнуть необходимость изменить показатели скорости, считываемые измерительным инструментом в зависимости от высоты над уровнем моря, температуры воздуха и его относительной влажности; это можно сделать посредством использования соответствующих таблиц, поставляемых изготовителем инструмента.



Рисунок 1.3. Электронный анемометр для измерения скорости движения воздуха.

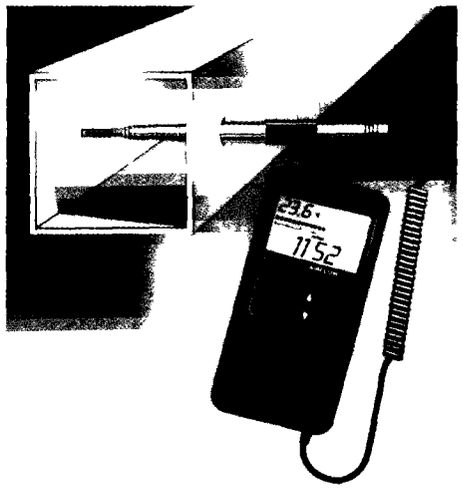


Рисунок 1.4. Пример измерения скорости движения воздуха в воздуховоде.

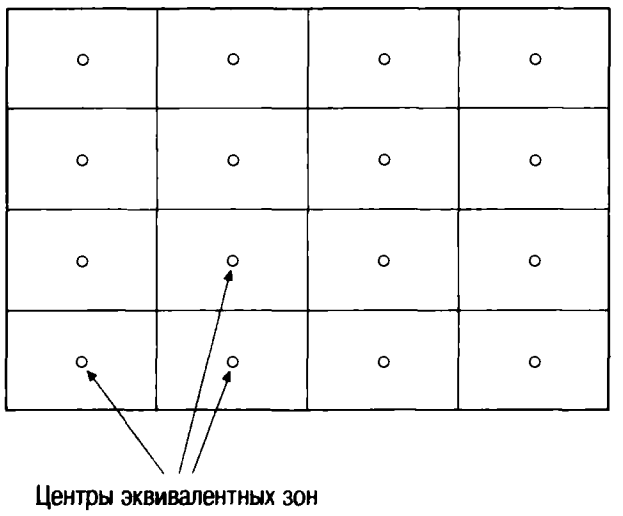


Рисунок 1.5. Типичный случай разделения сечения одного из прямоугольных воздуховодов на эквивалентные зоны, в центре которых необходимо производить замеры с использованием трубки Пито.

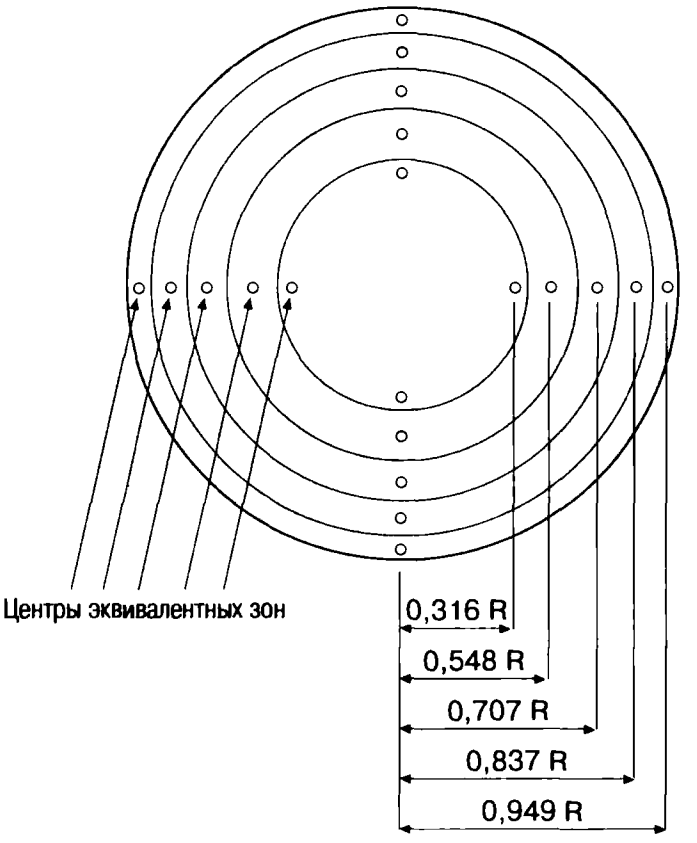


Рисунок 1.6. Типичный случай разделения сечения одного из круглых воздуховодов на эквивалентные зоны, в центре которых необходимо производить замеры с использованием трубки Пито.

Некоторые модели позволяют производить прямое считывание показателя расхода воздуха, поступающего из патрубка и распределителя (рисунки 1.7 и 1.8).



Рисунок 1.7. Электронный измеритель пропускной способности воздуха, поступающего из распределителя. Распределитель накрывается колпаком, который должен покрыть его полностью.

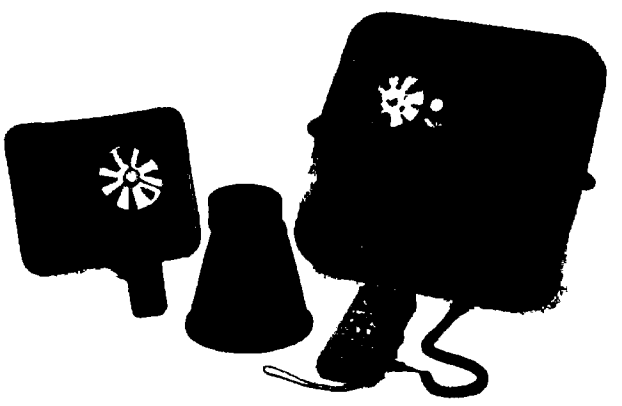


Рисунок 1.8. Колпаки для измерения пропускной способности воздуха с вентилятором, соединенным с электронным анемометром.

Давление в каналах

Трубка Пито с угловым манометром (рисунки 1.9, 1.10 и 1.11) позволяет оценить общие показатели давления H_t, статическое давление H_s и, по разнице между ними, — динамическое давление H_d в каналах. Угловой манометр позволяет непосредственно производить считывание показателей в Па или в мм вод. ст.

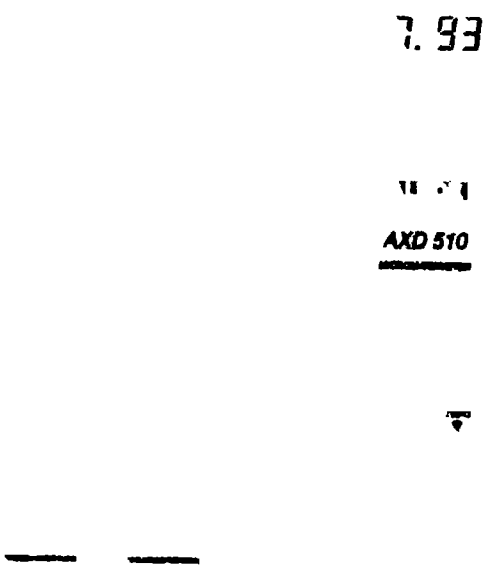


Рисунок 1.9. Трубка Пито для измерения давления в каналах с микроманометром.



Рисунок 1.10. Угловой манометр для измерения давления в каналах.



Рисунок 1.11. Пример использования трубки Пито внутри канала

Необходимо производить несколько замеров, разделив воображаемое сечение канала на несколько эквивалентных или концентрических зон в зависимости от того, идет ли речь о прямоугольном или о круглом канале; при прямоугольном канале максимально допустимая площадь каждой эквивалентной зоны составляет около 2,25 дм^2. Таким образом определяются средние показатели давления. Определив динамическое давление, можно рассчитать скорость движения воздуха в канале и его пропускную способность.

Потребление электроэнергии двигателями

Это измерение производится для определения условий функционирования эл. двигателей вентиляторов, насосов, холодильных компрессоров и пр. Для измерения достаточно использовать амперметр-клещи (рисунок 1.12). Замеры производятся на трех фазах. При необходимости можно установить потребляемую мощность, измерив также напряжение на фазе. Зная коэффициент мощности (*cos φ*) двигателя, можно рассчитать потребляемую мощность P (в кВт) в зависимости от силы тока I и напряжения V по следующей формуле:

$$P = \frac{1{,}73 \cdot V \cdot \cos\varphi}{1000}$$

Как бы то ни было, рассчитанное таким образом значение потребляемой мощности является приблизительным, поскольку коэффициент мощности двигателя (*cos φ*) изменяется в зависимости от нагрузки. Обычно более приемлемо ограничиться замером потребляемой силы тока, чтобы определить, не превышает ли этот показатель значение, указанное на табличке изготовителя.



Рисунок 1.12. Амперметр-клещи для измерения силы тока.

Скорость вращения вентиляторов

Эти измерения производятся в основном на центробежных вентиляторах. Счетчики оборотов (тахометры) позволяют напрямую измерить скорость вращения вала, показывая на дисплее показатель в об./мин. Инструменты могут быть как механическими, так и электронными; к ним прилагается небольшой вал с резиновым наконечником, который следует вставить в отверстие центрации вала вентилятора. Если считываемый показатель постоянно изменяется, можно рассчитать средний показатель между минимальным и максимальным значением, если же колебания значения слишком разнятся, это означает, что валик инструмента неплотно прилегает к оси вентилятора.

Прочие измерения

Кроме указанных, производятся также другие измерения, необходимые при планировании ведения технического обслуживания.

Проверка утечек холодильного агента является процедурой, которая должна стать рутинной, поскольку в отношении этого показателя существуют обязательства, налагаемые положениями Закона 509 от 28 декабря 1993 г., ставящего под запрет эмиссию холодильного агента в атмосферу. Как известно, существуют различные типы устройств для обнаружения утечек холодильного агента: с использованием пламени, на ультразвуке, с лампой ультрафиолетового излучения и электронные. На рисунке 1.13 показано устройство для обнаружения утечек с лампой ультрафиолетового излучения, которое позволяет определить места утечки в контуре холодильного агента; другие модели позволяют производить выборочный поиск в зависимости от типа используемого холодильного агента.



Рисунок 1.13. Устройство для обнаружения утечек холодильного агента с лампой ультрафиолетового излучения.

Рисунок 1.13. Измерение уровня содержания CO_2 в воздухе помещения.

Наконец, производится сбор данных о температуре, относительной влажности и давлении воздуха в помещении, ставший более простым благодаря наличию новых электронных устройств, запоминающих соответствующие данные, и возможности ввода их в компьютер посредством оптического считывания. Совсем недавно появились инструменты, способные определять качество воздуха в помещении. Они могут анализировать концентрацию летучих органических веществ и/или углекислоты (CO_2). Один из таких инструментов показан на рисунке 1.14.

Основные причины выхода из строя оборудования

В ходе многочисленных исследований, направленных на определение уровня комфорта, создаваемого установками для кондиционирования воздуха в различных офисных помещениях, были выявлены наиболее распространенные причины выхода оборудования из строя; данные некоторых из этих исследований приводятся в таблицах 1.3 и 1.4.

В большинстве случаев причиной выхода оборудования из строя является плохое усвоение правил пользования установкой, приводящее к неточным или совсем ошибочным регулировкам. К этому следует добавить очевидно низкую подготовку персонала, производящего различные действия в отношении оборудования.

Наконец, плановое техническое обслуживание является обязательным условием эксплуатации современных установок для кондиционирования воздуха. Для этого требуется специализированный подход и дополнительные расходы. Техническое обслуживание этих систем и связанные с ним затраты не менее важны, чем затраты на приобретение оборудования.

Таблица 1.3. Причины выхода оборудования из строя по материалам исследования ACVA, проведенного в США в период 1981–1987 гг.*

Технические проблемы	(%)
Вентиляция	
— Отсутствие воздухообмена	35
— Недостаточный воздухообмен	64
— Неравномерное распределение воздуха	46
Воздушные фильтры	
— Низкая эффективность фильтров	57
— Ошибки проектирования	44
— Ошибки установки	13
Загрязнение оборудования	
— Скопление загрязнений в воздуховодах	38
— Увлажнители	16

* Были проанализированы данные о 223 зданиях общей площадью 3 000 000 м^2, в которых работало 225 000 человек.

Таблица 1.4. Причины выхода оборудования из строя по материалам исследования Honeywell, проведенного в США в период 1986–1987 гг.*

	(%)
Факторы окружающей среды	
— Отсутствие температурного комфорта	55
— Проблемы влажности воздуха (глаза, аллергия и пр.)	30
— Химическое загрязнение	75
— Бактерицидное загрязнение	45
Технические факторы	
— Недостаточный воздухообмен	75
— Неравномерное распределение воздуха	65
— Ошибочно производится забор воздуха	70
— Неудовлетворительная фильтрация воздуха	65
— Выход из строя воздухозаборников	60
— Неправильный выбор характеристик панелей доступа	60
— Загрязнение воздуховодов	45
— Выход из строя увлажнителей	20
— Неправильное техническое обслуживание	75
— Изменений условий функционирования (срок эксплуатации оборудования 10–15 лет)	60
— Изменение нормативов	90
Проблемы при техническом обслуживании (75% случаев: текущее техническое обслуживание)	
— Засорение воздухозаборников	
— Отсутствие либо неправильный выбор фильтров	
— Засорение и загрязнение теплообменников	
— Загрязнение воздуховодов	
— Электроприводы и рукоятки решеток не имели достаточного технического обслуживания	
— Отсутствие периодической регулировки	
(90% случаев: неправильная регулировка режима)	
— Функционирование установки затруднено из-за неверных исходных данных или регулировки	
— Чрезмерная экономия электроэнергии, влияющая на различные показатели функционирования	

* Были проанализированы данные о 30 зданиях.

ГЛАВА 2

Технические зоны

Теплоцентраль 25
Котельная 25
Резервуары для мазута 27
Холодильная установка 28
Машинные помещения 28
Внешние технические зоны 29
Вес различных частей оборудования 31
Зоны доступа и антропометрические ограничения 31

Необходимым и обязательным условием проведения работ по техническому обслуживанию установок HVAC&R является наличие необходимых технических зон. Прежде чем начать какие-либо работы, ответственный за проведение технического обслуживания и специалист по техническому обслуживанию должны убедиться в наличии необходимого пространства. Если его недостаточно, необходимо проинформировать ответственного сотрудника учреждения о невозможности проведения требуемых работ, в том числе из-за возможности получения травм проводящим их персоналом. В этом случае может понадобиться принятие чрезвычайных мер.

Полученные недавно организацией BSRIA (*Building Services Research and Information Association*) данные позволяют определять наличие необходимых технических зон с большой степенью обоснованности.

Ниже приводятся основные показатели, касающиеся технических зон, необходимых для технического обслуживания различных типов установок.

Теплоцентраль

Котельная

Основными частями котельной являются, естественно, котел (один или более) с соответствующими подсоединениями к градирне, соответствующие насосы и клапаны, трубы водообеспечения, резервуары расширения и электронный щит; могут быть в наличии также теплообменники, системы обработки воды и накопительный резервуар (рисунок 2.1).

Техническая зона должна обеспечить, в частности:

— размещение оборудования;

— осуществление работ по текущему и чрезвычайному техническому обслуживанию этого оборудования;

— доступ персонала и соблюдение всех связанных с этим норм охраны труда.

В определенных пределах представляется возможным проследить зависимость размера котельной от ее расчетной мощности.

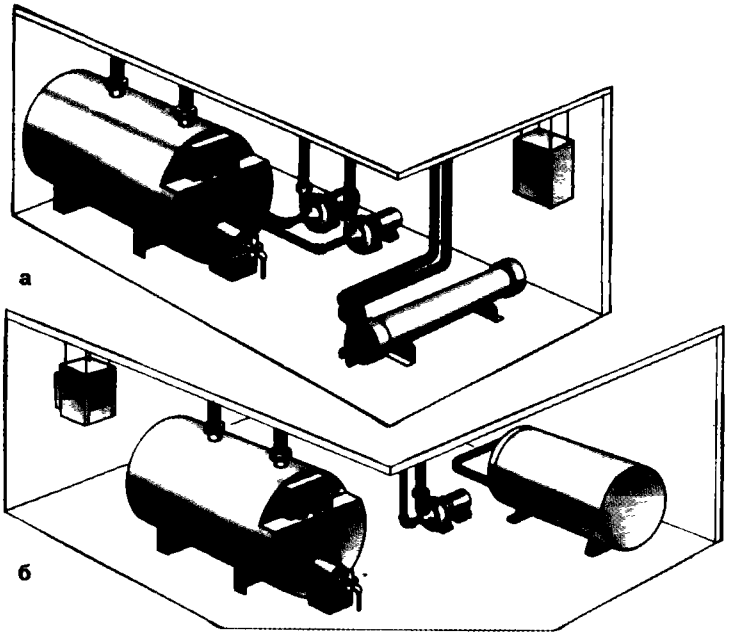


Рисунок 2.1. Условное расположение основных компонентов оборудования котельной:
а) помимо котла и соответствующих насосов имеется теплообменник;
б) помимо котла имеется накопительный резервуар.

Таблица 2.1. Минимальные расстояния в помещении котельной при наличии двух одинаковых котлов*

Тепловая мощность (кВт)	Высота (м)	Длина (м)	Ширина (м)
200	3,0	2,5	4,4
400	3,5	3,3	4,9
600	4,0	3,8	5,2
800	4,0	4,2	5,5
1000	4,0	4,5	5,8

* Расстояния приводятся применительно к котельной с двумя котлами равной мощности, насосами, клапанами, пространством для оборудования по обработке воды и др.

Кроме того, важно учитывать наличие пространства и в других случаях, а именно:
— расстояние между основанием котла и градирней;
— расстояние между стенкой блока топки и, возможно, имеющимися стенами и входными дверями;
— расстояние между торцевыми сторонами котла и стенами, либо между одной из сторон и вторым котлом или другой единицей оборудования.

Эти показатели приведены на рисунке 2.2, на котором изображен элементарный план котельной с двумя котлами равной мощности. Допустимые показатели расстояния для оборудования среднебольшой мощности приводятся в таблице 2.1.

Для технического обслуживания пластинчатых теплообменников рекомендуется наличие следующих показателей технической зоны: 1000 мм спереди, 750 мм сзади и 500 мм с обеих сторон.

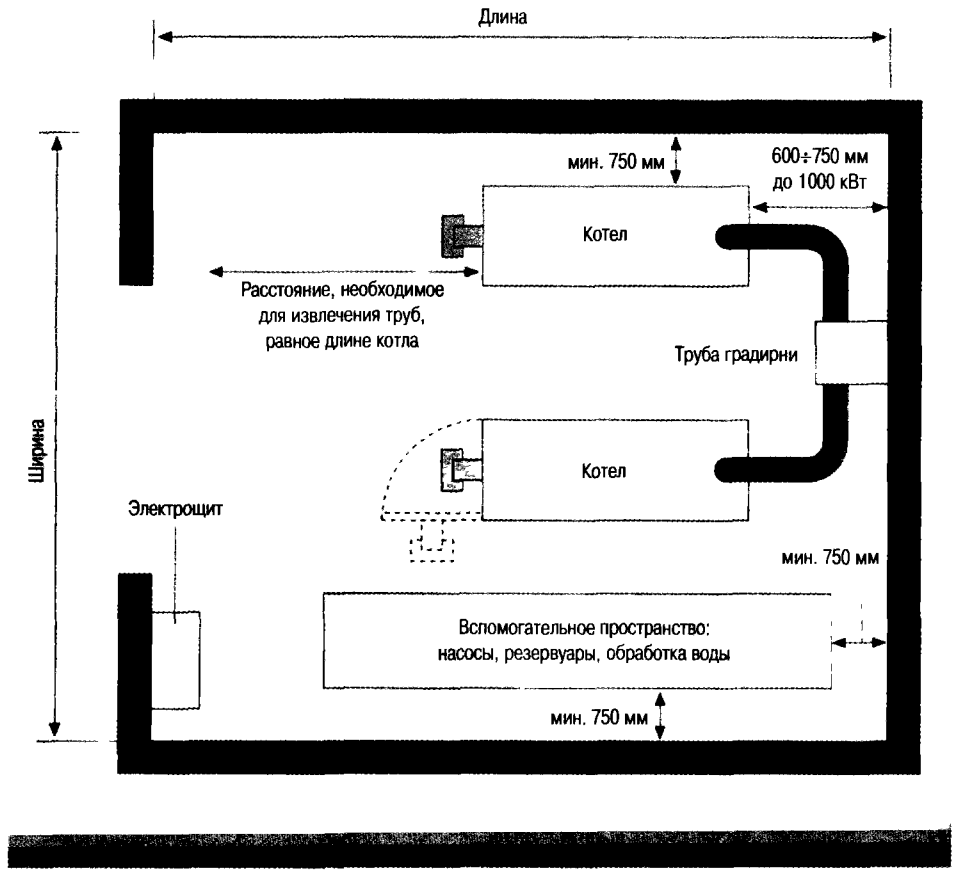


Рисунок 2.2. План распределения технических зон, необходимых для обслуживания двух котлов равной мощности. Соответствующие показатели приводятся в таблице 2.1.

Резервуары для мазута

Резервуары для мазута имеют габариты, рассчитанные на три недели функционирования установки при следующем рабочем режиме: двенадцать часов в день при полной нагрузке. Данные об общем объеме мазута приводятся в таблице 2.2 в отношении к мощности тепловой установки при 75% показателя КПД котла. Расчет сделан на случай распределения общего объема на два автономных резервуара. Даны показатели, необходимые для проведения работ по техническому обслуживанию без остановки функционирования на время проведения работ. Резервуары могут быть горизонтального или цилиндрического типа, их расположение показано на рисунке 2.3; соответствующие показатели приводятся в таблице 2.3.

Таблица 2.2. Объем резервуаров, на площади и в высоту, для мазута с ресурсом на три недели*

Тепловая мощность (кВт)	Объем запаса мазута (м³)
200	6,3
400	12,6
600	18,9
800	25,2
1000	31,5

*Плотность мазута 0,84 кг/л, теплоемкость 45,7 Мдж/кг, КПД котла 75%.

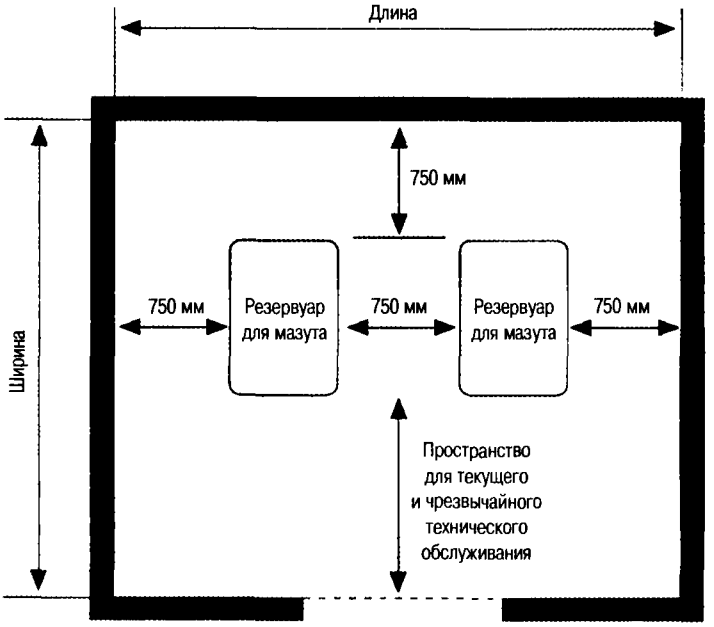


Рисунок 2.3. План распределения технических зон, необходимых для обслуживания двух резервуаров для мазута горизонтального типа равного объема. Соответствующие показатели приводятся в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Размеры по горизонтали технических зон для двух котлов для мазута горизонтального типа

Объем (м³)	Длина (м)	Ширина (м)
20	7,5	7,0
40	10,0	7,5
60	12,5	7,5
80	15,0	8,0

Для вертикальных котлов принимается обычное соотношение диаметр/высота, равное 2, тогда как для котлов горизонтального типа габариты соответствуют нормативу BS2694/1995.

Холодильная установка

Машинные помещения

Холодильная установка может быть размещена как внутри, так и снаружи здания, в зависимости от типа используемого охлаждения: водяного или воздушного.



Рисунок 2.4. План размещения оборудования, предусматривающего пространство для двух водоохлаждаемых холодильных установок. Соответствующие показатели приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Размеры технических зон для двух водоохлаждаемых холодильных групп *

Холодильная мощность (кВт)	Высота (м)	Длина (м)	Ширина (м)
200	3,0	5,0	4,7
400	3,5	5,5	5,2
600	4,0	5,8	5,7
800	4,0	6,3	6,0
1000	4,0	6,8	6,3

* Расстояния даны применительно к установке с двумя водоохлаждаемыми холодильными группами равной мощности, насосами и щитом управления.

Холодильная установка включает в себя, кроме собственно холодильных групп, соответствующие насосы первичного и вторичного контуров, коллекторы, клапаны и электрощит; могут быть также в наличии другие вспомогательные виды оборудования, например, накопительный резервуар.

Установка по обработке воды размещается в отдельном помещении.

План, показанный на рисунке 2.4, относится к машинному помещении, оснащенному двумя водоохлаждаемыми холодильными группами. Рекомендуется предусматривать свободную техническую зону 1000 мм спереди и с одной из торцевых сторон группы; противоположный торец должен иметь сво-

бодную техническую зону, равную длине самой установки для обеспечения возможности извлечения труб конденсатора и/или испарителя. В таблице 2.4 приведены показатели расстояний в машинном помещении относительно холодильной мощности.

Для установки по обработке воздуха при расчете технических зон необходимо учитывать расположение воздуховодов для забора наружного воздуха, рециркуляции, вытяжки и подачи. Кроме того, необходимо предусмотреть технические зоны для обслуживания с одной из сторон самой установки. Самостоятельной проблемой является возможное наличие шумоглушителей с учетом их габаритов, зачастую весьма значительных, и их расположения, которое должно реально обеспечивать эффективное снижение уровня шума. На рисунке 2.5 и в таблице 2.5 приводятся данные о минимальных размерах технических зон в помещении, в котором расположена установка для обработки воздуха с учетом ее мощности; наличие шумоглушителей в разделительной стенке не предусмотрено.

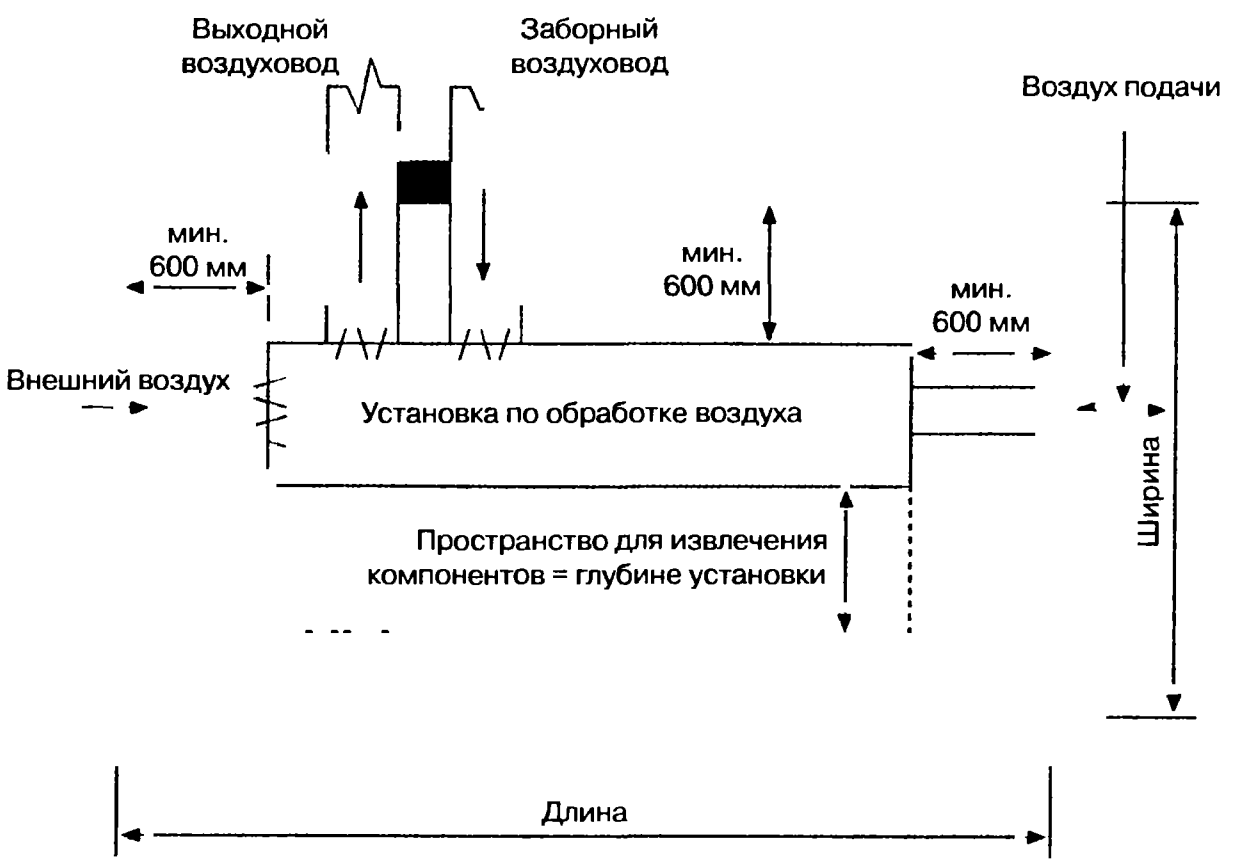


Рисунок 2.5. Технические зоны для размещения установки по обработке воздуха. Расстояния, в зависимости от объема перерабатываемого воздуха, приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5. Расстояния в помещении, где расположена установка по обработке воздуха*

Объем перерабатываемого воздуха ($м^3$/час)	Длина (м)	Ширина (м)
10 000	7,0	3,6
20 000	8,0	4,7
30 000	9,0	5,3
40 000	9,5	6,0
50 000	10,0	6,5

*Установка по обработке воздуха включает в себя вентилятор подачи и возврата воздуха, смесительную камеру, шторки, фильтры, батарею охлаждения и регулировки.

Внешние технические зоны

В зависимости от конкретного случая внешние технические зоны могут быть предназначены для обслуживания холодильных установок воздушного охлаждения, воздушных конденсаторов, компрессорно-конденсаторных блоков и испарительных колонн охлаждения. В каждом случае при расчете долж-

на учитываться необходимость обеспечения забора и выхода отработанного воздуха из установки, а также доступа для персонала, ведущего техническое обслуживание.

На рисунке 2.6 приводится план распределения технических зон для установки холодильных групп воздушного охлаждения; соответствующие показатели, в зависимости от холодильной мощности и величины показателя перерабатываемого тепла (THR, *Total Heart Rejection*), приводятся в таблице 2.6.

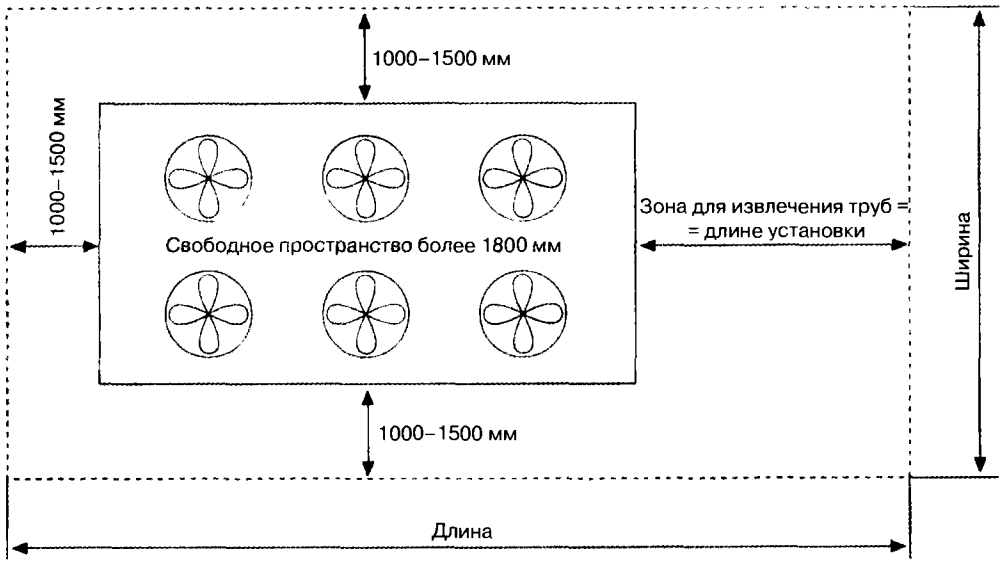


Рисунок 2.6. План технической зоны для внешнего монтажа установок воздушного охлаждения. Соответствующие показатели приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6. Габариты по горизонтали для внешнего монтажа установок воздушного охлаждения*

Холодильная группа воздушного охлаждения		
Холодильная мощность (кВт)	**Длина (м)**	**Ширина (м)**
200	7,0	5,5
400	8,5	6,2
600	10,2	6,7
800	12,0	7,0
1000	13,8	7,3
Общий показатель объема перерабатываемого тепла (THR) (кВт)	**Длина (м)**	**Ширина (м)**
Конденсатор воздушного охлаждения		
200	6,3	3,8
400	7,8	4,0
600	8,8	4,0
Компрессорно-конденсаторный блок воздушного охлаждения		
200	5,8	5,7
400	7,8	6,1
600	9,0	6,4
Градирни		
200	8,0	5,0
400	8,0	5,8
600	8,5	6,0

* Приведенные показатели включают расстояния для забора и выхода воздуха.

Для забора воздуха охлаждения конденсатора необходимо наличие зоны от 1000 до 1500 мм с обеих сторон батарей. Для выхода воздуха вверх требуется обеспечить полное отсутствие преград на высоту не

менее 1800 мм. Для холодильных групп воздушного охлаждения, наконец, необходимо предусмотреть наличие свободного пространства, равного длине установки, для обеспечения возможности извлечения труб испарителя.

Вес различных частей оборудования

Еще на предварительной стадии проектировки здания желательно располагать данными о весе различных частей оборудования установок по нагреву и охлаждению для того, чтобы правильно оценить объем предстоящих работ и дополнительные расходы для укрепления перекрытий, полов и пр. Знание этих показателей необходимо также для правильной организации производственного процесса, выбора подходящих приспособлений для их подъема.

Для этого в таблице 2.7 приводятся данные о среднем весе котлов отопления в зависимости от их тепловой мощности, а в таблице 2.8 — данные о среднем весе холодильных групп, конденсаторов воздушного охлаждения, компрессорно-конденсаторных блоков и градирен. Эти данные являются средними показателями различных фирм-изготовителей и могут отличаться в каждом конкретном случае, но должны быть достаточными для проведения предварительных расчетов.

Таблица 2.7. Показатели среднего веса котлов отопления в зависимости от тепловой мощности.

Тепловая мощность (кВт)	Вес (кг)
200	800
400	1500
600	2000
800	2500
1000	3000

Таблица 2.8. Показатели среднего веса холодильных групп, компрессорно-конденсаторных блоков и градирен.

Холодильная мощность (кВт)	Водоохлаждаемые холодильные группы	Холодильные группы воздушного охлаждения	Компрессорно-конденсаторные блоки воздушного охлаждения	Градирни
200	1800	2500	1700	1000
400	3400	4700	3500	2000
600	4000	6800	5400	2700
800	6000	8500	—	3500
1000	7500	11000	—	4000

Зоны доступа и антропометрические ограничения

При определении размеров технических зон необходимо всегда иметь в виду требования доступа к ним персонала, ведущего техническое обслуживание. Приведенные ранее показатели являются минимально допустимыми значениями, необходимыми для содержания и эксплуатации оборудования; при проектировании и расположении оборудования в помещениях не менее важно предусмотреть наличие доступа с учетом основных антропометрических показателей.

При нормальном техническом обслуживании существует три уровня доступа обслуживающего персонала к оборудованию: стоя, на коленях и сидя на коленях (рисунок 2.7); таким образом в этих положениях можно вести работу на пяти уровнях высоты, так как показано на рисунке.

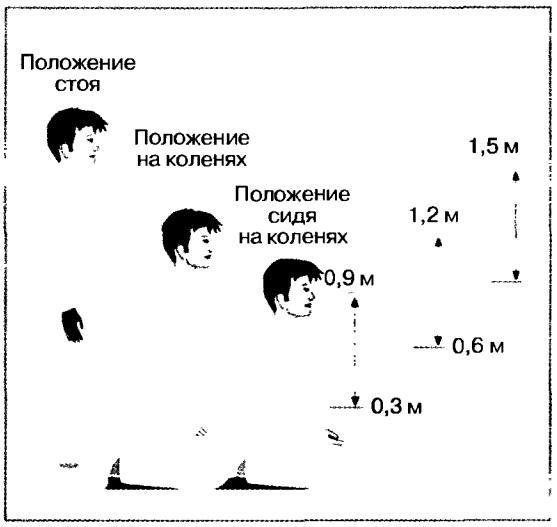


Рисунок 2.7. Уровни высоты работы на оборудовании в трех основных положениях технического работника.



Рисунок 2.8. Размеры, необходимые для работы на оборудовании в зависимости от положения работника и сложности выполняемых работ.

Минимальные размеры пространства, занимаемые работником в положении на коленях или в полуприсяде, зависят от требуемой степени свободы передвижения. На рисунке 2.8 схематически показаны три наиболее часто встречающихся положения, начиная от простого осмотра (а) с возможностью выполнения небольшой работы по регулировке, работ, не требующих особых усилий (б), и до возможности свободного использования рук при сложных работах (в). Как видно из рисунка, глубина полезного пространства варьируется от 0,69 до 0,9 и до 1,1 м.

Другим больным вопросом технического обслуживания являются лестницы доступа к машинным отделениям, поскольку они редко рассчитаны на перенос габаритных комплектующих и вспомогательного оборудования. Железные лестницы, обычно вертикальные, являются самым критическим случаем; на рисунке 2.9 показаны два наиболее распространенных типа лестниц с указанием соответствующих антропометрических параметров.

Как правило, лестницы доступа к машинным отделениям или на крышу здания, на котором установлено оборудование для кондиционирования воздуха, должны иметь необходимую ширину марша для того, чтобы сделать возможным проведение чрезвычайных работ на оборудовании (демонтаж компрессоров, камер сгорания, трубок теплообменников, вентиляторов и пр.).

В заключение следует сказать также о том, что в ходе эксплуатации здания необходимо учитывать возможность полной замены оборудования. После двадцати лет эксплуатации котлы, холодильные группы и другие части оборудования должны обязательно заменяться. Это предполагает их демонтаж и установку нового оборудования. Срок службы воздуховодов, в свою очередь, рассчитан на тридцать лет, после чего необходимо их разобрать и заменить. Если заранее проходы не были сделаны достаточно широкими, эти работы могут оказаться очень дорогостоящими.

Часто встречающейся проблемой является необходимость увеличения холодильной мощности установки, как в связи с произошедшими изменениями и условиями, так и ввиду повышения показателей вырабатываемого тепла внутри здания.

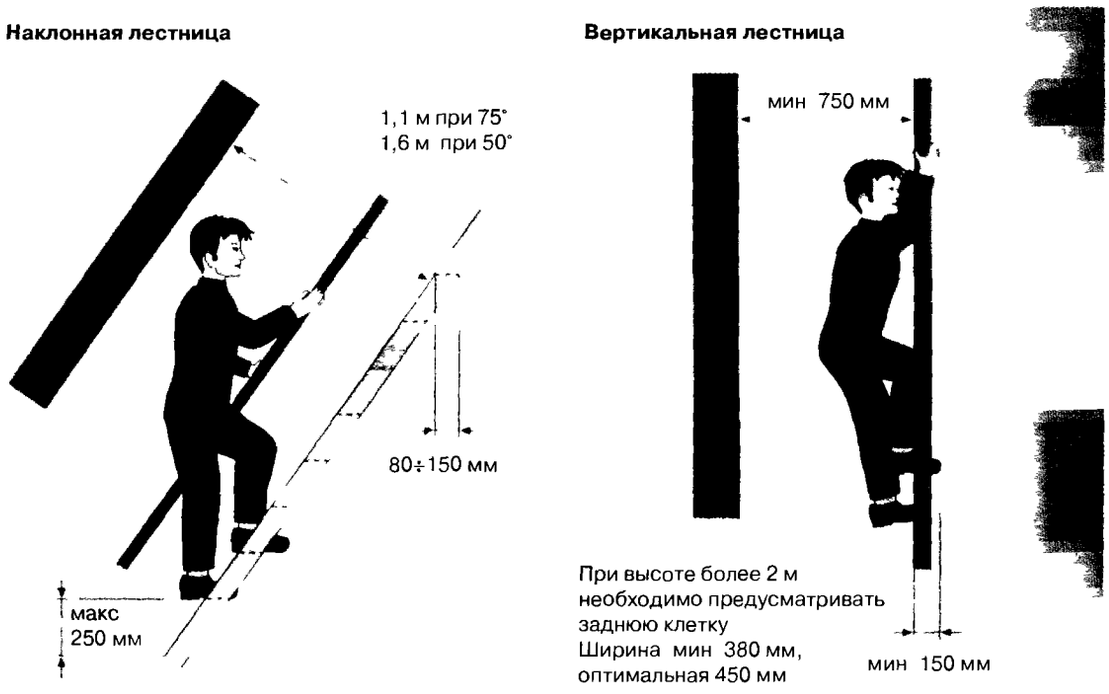


Рисунок 2.9. Требуемые зоны и габариты двух типов железных лестниц, используемых в настоящее время на производстве.

Это может потребовать установки дополнительной холодильной группы с соответствующими трубами и клапанами. Наличие дополнительного свободного пространства для их размещения является столь же важным, как и потребность в пространстве при размещении новой установки.

Таким образом, размеры технических зон должны определяться с необходимой предусмотрительностью, с учетом возможного изменения характера использования здания и связанного с этим изменением комплекта оборудования.

Оставлять обширные технические зоны стоит немалых денег, но эти затраты окупаются всякий раз, когда возникает необходимость производить те или иные работы на оборудовании.

ГЛАВА 3

Документация по эксплуатации и техническому обслуживанию оборудования

Структура документации 35
Перечень документации 35
Чрезвычайные ситуации 35
Эксплуатация 36
Техническое обслуживание 36
Результаты испытаний 36

Предприятие, производившее монтаж установки HVAC&R, должно передать фирме, ответственной за техническое обслуживание, или пользователю ряд документов и пособий, в которых учитываются возможные усовершенствования, внесенные в конструкцию. Эта документация должна быть системной. функциональной и полной.

Организация ASHRAE выпустила издание «Guideline 4-1993 Preparation of Operating and Maintenance Documentation for Building Systems» («Подготовка документации по эксплуатации и техническому обслуживанию оборудования для зданий»), дающее основные ориентиры для подготовки документации по использованию оборудования.

Ответственный за ведение технического обслуживания и/или пользователь имеют право потребовать у фирмы, производившей монтаж, предоставить документацию, составленную на основе указанных критериев.

Ниже приводятся основные положения упомянутого издания «Guideline» ASHRAE чтобы продемонстрировать, насколько они важны для правильно и полноценно организованной эксплуатации и технического обслуживания оборудования.

Стрдктура докумнтации

В соответствии с рекомендациями ASHRAE, документация по эксплуатации и техническому обслуживанию должна включать следующие материалы:

1) перечень документации, составленный таким образом, чтобы сделать максимально удобный доступ к информации, содержащейся в документации;
2) информацию о действиях в чрезвычайных ситуациях;
3) пособие по эксплуатации оборудования;
4) пособие по техническому обслуживанию оборудования;
5) результаты испытаний;
6) документацию о конструкции установки.

Этот список нацелен на нужды конкретного пользователя с учетом его основных потребностей: иметь легкий доступ к информации, правильно действовать в чрезвычайных ситуациях, обеспечить нормальную эксплуатацию установки, располагать рекомендациями по ведению технического обслуживания, иметь подборку данных о результатах испытаний и о конструкции установки.

Рассмотрим отдельные положения перечня ASHRAE.

Оеречень докмнтацни

Является важным инструментом для функционального использования документации. Для этого необходимо, чтобы информация была логично и органично идентифицирована и сгруппирована.

Иерархия строительного объекта должна выстраиваться сверху, то есть следующим образом: здание (в случае необходимости, например, когда комплекс включает в себя более одного здания), установка, машина, узлы машины, комплектующие (при необходимости).

Система идентификации информации может быть номерной или альфаномерной, в обоих случаях она должна обеспечить возможность получения следующих данных:

1) установка, в которую входит определенная машина (например, отопления, обработки воздуха и т. д.);
2) тип машины (например, насос, котел и т. д.);
3) конкретный узел или комплектующая (например, насос №1 и т. д.).

Разработка перечня документации и выбор системы идентификации зависят от размера установки и ее сложности. В любом случае, он должен быть составлен таким образом, чтобы им можно было легко пользоваться и обновлять.

Чрезвычайные снтдацни

Материалы, содержащие информацию о действиях в чрезвычайных ситуациях, должны быть доступны мгновенно для обеспечения безопасности людей и оборудования, а также снижения ущерба.

Эта информация должна быть доступна как техническим специалистам, так и персоналу, не имеющему специальной технической подготовки (например, менеджеру по направлениям).

Чрезвычайные ситуации можно классифицировать по основному событию, например, пожар, затопление, утечка газа и пр.

В отношении каждой ситуации должны содержаться инструкции о действиях, которые необходимо *предпринять персоналу предприятия.*

Этот документ должен включать планы расположения на разных этажах средств обеспечения безопасности (пожарные краны, огнетушители, переключатель общего электропитания, клапан общего отключения подачи газа и пр.).

Эксплуатация

Требует подготовки инструкций по ведению ежедневной работы на установке с целью обеспечения ее нормального функционирования.

Пособие по эксплуатации должно состоять из двух частей: первая должна содержать общие данные по установке, необходимые менеджеру по направлению, а вторая — подробную техническую информацию, необходимую для специалистов, осуществляющих эксплуатацию.

В США имеется тенденция предоставлять менеджеру по направлению ряд сведений, относящихся к функционированию и использованию здания, не связанных непосредственно с его эксплуатацией.

Первая часть пособия содержит информацию о здании, его предназначении, реквизитах пользователей, имеющихся службах, основных нормативах муниципального законодательства, а также общую информацию. Далее следуют описания, планы помещений и схемы расположения оборудования. Наконец, здесь содержатся данные о конструкции установок и описания действий по эксплуатации, дающие рекомендации для обеспечения функционирования установки и выхода на требуемые режимы. Кроме того, первая часть содержит описание процедуры проверки и сбора данных.

Вторая часть пособия по эксплуатации содержит более подробные данные и включает описание всех частей оборудования и их функционирования, рабочих операций и процессов, действий при запуске и сезонной остановке, специальных операций, необходимых в определенных условиях окружающей среды, требований безопасности, связанных с процессом производства, и, наконец, пособие по обнаружению и устранению неисправностей.

Техническое обслуживание

Пособие по техническому обслуживанию также должно состоять из двух частей: первая содержит информацию обо всех установленных машинах и оборудовании, вторая — информацию по техническому обслуживанию этих машин и оборудования.

В нее должна включаться стандартная документация, предоставляемая изготовителями машин, дополненная информацией, подготовленной специалистом-проектировщиком по эксплуатации и техническому обслуживанию.

Документация, предоставляемая изготовителем, должна быть тщательно изучена для того, чтобы убедиться в ее полноте и учете всех новшеств. Кроме того, пособие должно содержать перечень рекомендуемых запасных частей, их идентификационные номера, которые должны быть в распоряжении пользователя.

Техническое обслуживание оборудования является сложной темой, и в издании «Guideline» дано много рекомендаций, хотя и общего характера.

Результаты испытаний

Копии соответствующих документов должны быть включены в общую документацию по оборудованию. Рекомендуемая структура подборки данных о произведенных испытаниях включает в себя три части: условия, при которых проводятся испытания, протоколы испытаний и результаты испытаний.

В первой части содержится информация об условиях, режимах работы и месте расположения оборудования, установок и отдельных машин. Во второй содержатся протоколы всех испытаний, производимых до передачи оборудования (commissioning). Наконец, в третьей части в хронологическом порядке по каждой установке и машине указываются результаты испытаний, проведенных на заводе-изготовителе или на месте (in loco), как при изготовлении, так и при передаче оборудования.

Документация по конструкции должна быть приложением к пособию по установке и содержать подробное описание установок и отдельных машин. Она должна быть выполнена в виде конструкционных чертежей, перечней и технических данных конструкции машин и оборудования, включать гарантийные сертификаты, свидетельства о проверках и другие документы, запрашиваемые пользователем.

И. наконец, документация по эксплуатации и техническому обслуживанию должна быть обновлена на день реального изготовления установки, включая внесенные в конструкцию изменения. Кроме того. она должна быть предоставлена в таком виде, чтобы было возможно вносить в нее изменения в зависимости от появления возможных новых элементов, связанных с эксплуатацией здания: малых и больших реконструкций, изменений, вносимых в план ведения технического обслуживания, проведения последующих испытаний после реконструкции или внесенных изменениях и пр.

Документация по оборудованию должна быть действительно полезной и ценной для пользователей с разным уровнем подготовки, имеющих необходимость в структурированной и составленной в соответствии с их специфическими потребностями информации.

ГЛАВА 4

Профилактика неисправностей в холодильных установках

Соотношение давлений 39
Определение соотношения давлений 39
Меднение основных рабочих органов 39
Износ и поломки 40
Значения соотношения давлений 41
Влияние температуры 41
Частые запуски 41
Ошибки при установке термостата на участке подачи воздуха 42
Ошибки при пониженной разнице температур между включением и отключением установки 42
Неверная эксплуатация установки 43
Гидравлические удары при запуске 43
Проверка уровня масла 44
Недостаточное количество смазки 44
Давление при недостаточном количестве масла 45
Низкая температура окружающей среды 46
Наличие влаги и загрязнения в контуре 46
Недостаточный перегрев хладагента при всасывании 46
Образование кислоты 47
Недостаточное охлаждение компрессора 47
Повышенная температура хладагента на линии нагнетания 47
Теплообменники с нагревом воды на линии перегретого газа 48
Направление вращения компрессора 48
Функционирование трехфазного электродвигателя в режиме однофазного 48
Профилактика утечек холодильного агента 49
Проверка трубок теплообменников 49
Электронная диагностика 50
Неисправности, вызванные неполадками в системе электропитания 50
Дисбаланс электропитания на фазе 51
Проверка дисбаланса электропитания по фазам 52
Дисбаланс силы тока 53
Рекомендации по проведению измерений в системе электропитания 53

Нарушения и неполадки в функционировании холодильных установок, за исключением ошибок проектирования и монтажа, чаще всего возникают по причине неверной эксплуатации, недостаточно эффективного технического обслуживания и случайных ошибок (что случается значительно реже).

Неисправности в основном возникают из-за неверной эксплуатации оборудования. Действительно, пользователи оборудования зачастую не отдают себе отчета в том, к каким последствиям могут привести выбранные ими режимы работы компрессоров.

В этой области трудно установить соотношение причины и следствия, более того, эта зависимость проявляется весьма незначительно, поскольку пользователь оборудования не в состоянии сразу оценить последствия своих действий, которые могут быть не связаны непосредственно с функционированием установки.

Соотношение давлений

Соотношение давлений при работе компрессора является одним из самых важных условий продолжительности, а также постоянства режима его функционирования: его завышение всегда связано с возникновением риска появления неисправностей, а слишком низкое соотношение, в свою очередь, также является причиной возникновения проблем. Поэтому при эксплуатации установок, особенно на низкотемпературных режимах, очень важно поддерживать соотношение давлений в пределах показателей, предусмотренных изготовителем компрессора.

Как известно, под соотношением давлений понимается результат деления значения абсолютного давления на выходе на значение абсолютного давления на входе. Термин «абсолютное» относится к понятию абсолютного вакуума, в закрытом холодильном контуре абсолютное давление на выходе и на входе соответствует показанию манометра с добавлением значения атмосферного давления. Манометр калибруется таким образом, чтобы показывать 0 бар при нормальном атмосферном давлении, то есть когда он не подсоединен к холодильному контуру или к иному источнику возникновения давления. В связи с тем, что атмосферное давление меняется с изменением высоты, для удобства принимаются за основу показатели на уровне моря.

Определение соотношения давлений

В зависимости от типа установки и от модели компрессора показатель соотношения давлений может колебаться в пределах 7,5:1 в системах кондиционирования воздуха до 20:1 в низкотемпературных режимах.

Для определения действительного режима функционирования компрессора, простого указания показателя соотношения давлений может оказаться недостаточным. Например, при функционировании холодильного контура в низкотемпературном режиме с использованием R-404A при абсолютном давлении на выходе 20 бар и абсолютном давлении на входе 2 бар соотношение давлений будет 20:2 = 10:1. Однако такое же значение получается при гораздо более тяжелых режимах работы, когда давление на выходе равно 25 бар, а на входе 2,5 бар.

Тем не менее, важно знать показатели давления, определяющие соотношение давлений. Действительно при одном и том же значении соотношения давлений ввиду разных показателей давления могут иметь место совершенно разные последствия в отношении износа компрессора.

Меднение основных рабочих органов

Высокие рабочие температуры, неверный выбор масла, наличие загрязнений и пр. приводят к растворению меди трубок холодильного контура. Медь, соответственно, оседает на тех частях, которые подвергнуты высокотемпературным режимам, а именно: пластина клапанов, коленвал и масляный насос. Эти комплектующие и так имеют очень малые допуски; их меднение изменяет показатели допусков и приводит к возрастанию температуры, что в свою очередь приводит к возникновению проблем со смазкой. В частности, отложения меди на пальцах коленвала обычно снимаются при движении шатуна, при этом образуются частицы, приводящие к появлению царапин на алюминии.

Износ и поломки

Повышенное давление на выходе или на входе может привести к созданию нагрузок на вкладыши, превышающие максимально допустимые показатели, а это, в свою очередь, может повлечь за собой выход из строя не только вкладышей, но и шатунов и коленвала.

При высоких показателях соотношения давлений в поршневых компрессорах первым объектом перегрузки становится палец, соединяющий шатун с поршнем, подверженным прогрессивному износу. Если соотношение давлений увеличивается еще больше, то давление остаточного газа, скапливающегося в мертвой зоне цилиндра, увеличивается и толкает поршень вниз на большей части его спуска. Таким образом, не только затрудняется поступление смеси в цилиндр, но и поддерживается практически постоянное давление на палец поршня, препятствуя попаданию на него смазки и подвергая металл перегрузкам (рисунок 4.1). В этих условиях отверстие шатуна может принять овальную форму (рисунок 4.2), приводя к его ускоренному износу, а также вызывая износ пальца.

Некоторые модели компрессоров разрабатываются и изготавливаются с использованием шатунов и пальцев повышенной прочности для того, чтобы выдерживать высокое соотношение давлений. Как бы то ни было, в средне- и долгосрочном плане единственным способом предотвращения выхода из строя пальца является поддержание режима работы компрессора в предусмотренных пределах.

Таким образом, конструкция компрессора, условия и продолжительность его эксплуатации являются основными факторами, определяющими способность компрессора переносить повышенное соотношение давлений.

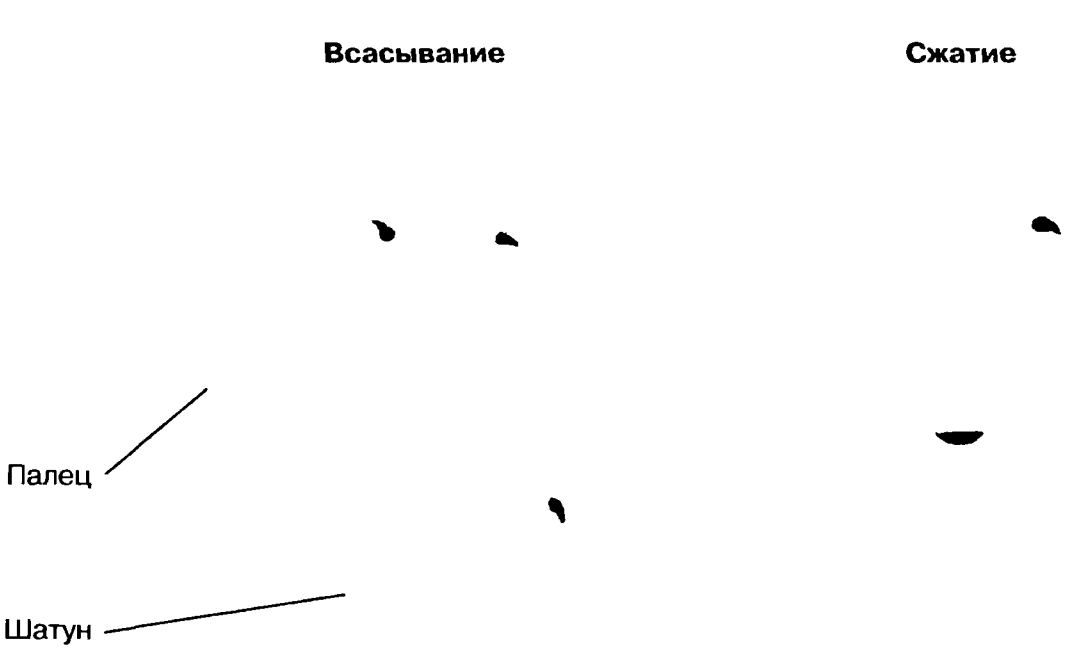


Рисунок 4.1. Влияние высокого соотношения давлений на работу поршневого компрессора Давление в цилиндре толкает поршень вниз, вызывая нагрузки на палец и приводя к протечке масла.

Рисунок 4.2. Овализация отверстия шатуна, вызванная перегрузками.

Значения соотношения давлений

Нормальные компрессоры легкой конструкции не должны использоваться при соотношении давлений, превышающем 7,5:1. В то время как поршневые полугерметичные компрессоры более прочной конструкции могут выдерживать соотношение давлений до 15:1 и более на достаточно больших отрезках времени, при продолжительной работе рекомендуется сохранять соотношение давлений на уровне 12:1. В целях обеспечения нормального функционирования и достижения ресурса, предусмотренного изготовителем, рекомендуется поддерживать соотношение давлений на еще более низком уровне, предпочтительно 10:1 или еще меньше.

Компрессоры scroll в исполнении для средних температурных режимов выдерживают соотношение давлений до 10:1; в низкотемпературных модификациях некоторых фирм-изготовителей это значение может повышаться до 20:1.

Таким образом, технические специалисты и пользователи оборудования должны знать соотношение давлений для холодильных установок и установок для кондиционирования воздуха и о его влиянии на ресурс компрессора и нормальное функционирование установки и ее рабочие показатели.

Влияние температуры

В цилиндрах поршневых компрессоров пленка смазки полностью испаряется со стенок при достижении температуры 155–160°С. В то же время современные марки масла для холодильных установок настолько устойчивы к образованию углеродистых осадков, что на пластине клапана не появляется нагар. Поэтому многие поломки, возникшие вследствие превышения температурных режимов, по ошибке приписываются гидравлическим ударам, поскольку при поиске причины неполадки почти никогда не удается узнать условия, при которых произошла остановка компрессора. Большая часть масел для холодильных установок рассчитана на появление углеродистых осадков при температуре около 177°С. Испытания на чистом атмосферном воздухе показали наличие значительных допусков и при работе в высокотемпературных режимах, однако в реальных условиях функционирования присутствуют различные загрязнения воздуха, а также повышенная влажность.

Износ вкладышей и поршней начинается при температуре в цилиндре от 155 до 165°С с малым показателем нагара масла. Изготавливаемые в настоящее время типы масла для холодильных установок являются высоко рафинированными, обеспечивают хорошие показатели растворимости и высокие температуры образования нагара, но не сохраняют при повышенной температуре пленку смазки.

Опыт работы показывает, что для повышения ресурса температура поршней, вкладышей и лож клапанов не должна превышать 150°С. Обычно температура, замеренная на линии выхлопа на расстоянии 15 см от выхода из компрессора, на 10–25°С ниже реальной температуры цилиндра и поршня в зависимости от типа компрессора и общей массы охлаждающего газа.

Обобщая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:
- температура на выхлопе 135°С неизбежно приводит к поломкам;
- температура на выхлопе 120°С свидетельствует о высоком риске возникновения поломки;
- температура на выхлопе до 105°С создает условия для длительной работы.

Частые запуски

При каждом запуске внутри компрессора резко падает давление всасывания и, как следствие, давление в картере. Подобное падение давления приводит к снижению температуры насыщения и к созданию пены и газа в масляно-топливной смеси. Из-за этого значительный объем масла попадает за пределы компрессора. Если он функционирует достаточно долго, и устанавливается стабильное давление в контуре, масло успевает вернуться в компрессор, но если запуск производится на короткое время, при его остановке масло остается в контуре. При последующем запуске компрессор опять закачает масло в контур. Поэтому при частых «коротких циклах» возникает опасность того, что весь запас масла в картере окажется закаченным в контур. В этих условиях аварийный регулятор давления масла может не успеть сработать, так как обычно он включается через две минуты после запуска. Таким образом, возникает

опасность функционирования компрессора без смазки подшипников и при выключенном дифференциальном регуляторе давления, что приводит к негативным последствиям (рисунок 4.3).

Масло должно возвращаться в компрессор в том же объеме, что и вышло из него. Прежде чем доливать масло, необходимо выяснить причину его отсутствия: кроме возможных потерь или других непредвиденных причин необходимости доливать масло в нормально функционирующий и отрегулированный компрессор быть не должно.

Другой опасностью, связанной с работой компрессора, является возврат холодильного агента в компрессор и потеря контроля над его содержанием. Большая часть терморегулирующих вентилей имеет тенденцию с запозданием реагировать на изменение режима функционирования установки. При частых запусках ТРВ может не сохранять стабильный контроль над движением холодильного агента, что может вызвать возврат жидкости в компрессор с известными последствиями (рисунок 4.4).

Рисунок 4.3. Последствия недостатка смазки на коленвале: износ и повреждение поверхностей.

Рисунок 4.4. Поломка поршня (пробой) вследствие возврата жидкости в компрессор.

Другой потенциальнои опасностью являются частые запуски эл. двигателя. Действительно, при каждом запуске обмотка статора эл. двигателя испытывает индукционное электромагнитное воздействие, что при частых запусках может привести к перегреву изоляции и вызвать короткое замыкание.

Чем больше мощность эл. двигателя, тем большее влияние оказывают на него эти факторы.

Несмотря на то, что случаи частого запуска/остановки возникают по разным причинам, в большинстве случаев их можно предотвратить. Во избежание возникновения возможных повреждений их количество не должно превышать 10 -12 в час.

Ошибки при установке термостата на участке подачи воздуха

Когда датчик температуры воздуха расположен в самом контролируемом помещении или на входе воздуха в кондиционер, опасность возникновения случаев частого запуска/остановки весьма незначительна, поскольку сам воздух в помещении является «температурным маховиком». Если же термостат установлен на участке подачи воздуха, возможность их возникновения значительно выше. Положение усугубляется, если установка для кондиционирования имеет компрессоры большой мощности, так как остановка одного из них по команде датчика может привести к большим колебаниям температуры и, как следствие, к частому возникновению случаев запуска/остановки. В таких случаях предупредить опасность возможно, введя временную задержку на запуск компрессора.

Ошибки при пониженной разнице температур между включением и отключением установки

Для любой промышленной холодильной установки или установки для кондиционирования воздуха, в которой работа компрессора регулируется на основе незначительной разницы температур между включением и выключением, всегда присутствует опасность частых запусков. Для этих случаев не существует каких-либо стопроцентных решений.

Важно обеспечить достаточно продолжительное время функционирования, чтобы стабилизировать условия функционирования контура и обеспечить возврат масла.

Случаи частого запуска/остановки могут сократить ресурс контактных групп, помимо упомянутого влияния на ресурс компрессоров, если они возникают продолжительное время. Поэтому рекомендуется выставлять большие значения разницы температур, используемые для управления работой компрессора, чтобы снизить опасность нанесения ущерба оборудованию, связанному с непостоянством режима его функционирования в течение длительного времени.

Неверная эксплуатация установки

В обычных установках для кондиционирования воздуха, предназначенных для создания комфорта одной из причин возникновения случаев частого запуска/остановки является неверная эксплуатация установки пользователем.

Причиной возникновения случаев частого запуска/остановки компрессора могут стать, например, частое открытие окон и дверей, частая перенастройка термостата, частое включение или отключение бытовых электроприборов или иных источников тепла (в барах, ресторанах).

Даже неправильное распределение потоков воздуха, имеющих нестабильные показатели, может способствовать возникновению указанных опасностей.

Гидравлические удары при запуске

Наличие жидкого холодильного агента в цилиндрах поршневых компрессоров приводит к возникновению характерных гидравлических ударов и может привести к поломке клапанов (рисунок 4.5). Образовавшиеся частички падают в цилиндр и могут, в свою очередь, повредить как сам цилиндр, так и поршень.

Возврат жидкого холодильного агента в компрессор может произойти по следующим причинам:

1) миграция холодильного агента;
2) неисправности терморегулирующего вентиля или его слишком большие габариты. При частичной нагрузке он может потерять контроль за подачей холодильного агента в испаритель, пропуская большее количество, чем нужно. В результате этого может произойти снижение показателей перегрева с оттоком жидкости в компрессор.

При наличии в компрессоре значительного объема жидкости, возможны значительные повреждения, вплоть до поломки шатуна (рисунок 4.6). В винтовых компрессорах усилие, образующееся при наличии жидкости, также может стать причиной серьезных поломок.

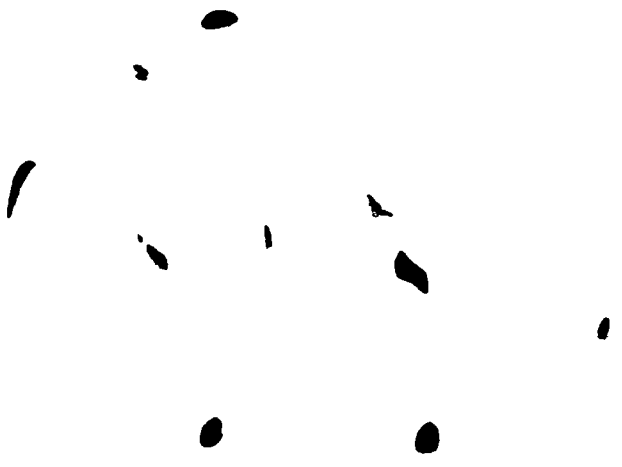


Рисунок 4.5. Клапан компрессора, вышедший из строя в результате гидравлических ударов при запуске.



Рисунок 4.6. Шатуны компрессора, сломанные в результате наличия значительного объема жидкого холодильного агента.

Проверка уровня масла

Среди ежедневных операций по мониторингу оборудования, выполняемых персоналом, обслуживающим холодильные установки, существуют проверки, ставшие почти обязательными. Речь идет, в частности, о следующих замерах:
— уровня масла в компрессоре;
— давления в испарителе и конденсаторе;
— температуры масла в компрессоре;
— разницы давления масла.

Недостаточное количество смазки

Причины недостаточного количества смазки могут быть самыми разными:
— ошибки на стадии проектирования и выбора мощности холодильных установок (в случае холодильных систем с раздельными секциями (сплит-системами));
— неправильная регулировка и балансировка контура;
— миграция холодильного агента;
— неполадки в компрессоре.

Недостаточное количество масла в картере приводит к различным поломкам механических частей. Самую большую опасность представляет наличие следующих признаков:
1) прерывистый режим функционирования (даже при наличии дифференциального реле давления масла эта опасность сохраняется);
2) продолжительное функционирование с пониженной нагрузкой, в результате которого может быть осложнен нормальный возврат масла;
3) тенденция к образованию пены в масле при изменении рабочего режима (рисунок 4.7). Масляная пена засасывается газообразным холодильным агентом внутрь контура, что приводит к понижению нагрузки компрессора;
4) растворение масла холодильным агентом (сильно разбавленное масло часто образует сильную пену, что приводит к снижению давления в картере и затрудняет распределение масла насосом). При запуске со слишком разведенным маслом возникает опасность попадания холодильного агента на подшипники и стенки цилиндра, соприкасающиеся с поршнем. Компрессионные кольца оставляют

на стенках цилиндра царапины, являющиеся причиной появления частиц металла стирающих поршень, придавая ему колоколообразную форму. Следствием этого является частичное или полное заклинивание поршня.

Функция масла, сама по себе являющаяся чрезвычайно важной, так как обеспечивает смазку подвижных частей, приобретает еще большее значение в винтовых компрессорах, где масло играет также роль уплотнения между винтом и корпусом, а также между боковыми поверхностями впадин главного винта и зубьями роторов.

Обычно использование дифференциального реле давления исключает возможность наличия недостаточного давления масла при нормальном функционировании, однако чаще всего не позволяет определить кратковременные и повторяющиеся перебои с подачей масла. Учитывая это, наилучшим способом решения проблемы является установка аварийных электронных манометров, способных определить наличие даже незначительных аномалий с давлением масла.

Рисунок 4.7. Образование пены в масле в картере поршневого компрессора (вид через смотровое стекло).

Типичным признаком наличия неисправности компрессора, вызванной недостатком смазки, является износ дальнего подшипника коленчатого вала, в то время как передний подшипник остается смазанным должным образом.

Как известно, в поршневых компрессорах уровень масла проверяется визуально через смотровое стекло. Температуру и давление в контурс может определить на щите управления холодильной машины специально обученный работник. Он должен также сравнить полученные данные с показателями, рекомендованными изготовителем оборудования.

При диагностике возможных неисправностей специалисту может понадобиться соответствующим образом обновленная техническая документация по установке.

Давление при недостаточном количестве масла

Когда давление масла в компрессоре недостаточно до такой степени, что срабатывает дифференциальное реле давления масла, причину неисправности следует искать в самом компрессоре. В этом случае неполадки могут возникать из-за поломки или излишнего износа масляного насоса, который не в состоянии обеспечить необходимые показатели давления. В поршневых компрессорах с трехфазным эл. двигателем можно попытаться устранить эту проблему, изменив направление вращения двигателя.

Другой причиной может стать излишняя загрязненность масла: сор и грязь могут закупорить всасывающий фильтр насоса так сильно, что он окажется не в состоянии поддерживать необходимый уровень давления (рисунок 4.8).

Если же в компрессоре полностью пропадает давление масла, это может быть вызвано чрезмерной изношенностью подшипников. В этих случаях можно попытаться заменить их, однако, если это не помогает решить проблему, компрессор, возможно, необходимо заменить.

Рисунок 4.8. Масляный фильтр поршневого компрессора, засоренный грязью и металлической стружкой.

Низкая температура окружающей среды

Объем подачи холодильного агента через трубки и клапаны терморегулирующего вентиля пропорционален разнице давления в их конечных точках, однако при низкой температуре окружающей среды давление конденсации может значительно снизиться. В этих случаях подача холодильного агента сильно снижается, в результате чего батарея испарителя может обмерзнуть. Кроме того, могут иметь место частые запуски компрессора, возврат жидкого холодильного агента и прочие неисправности. К тому же в компрессорно-конденсаторных блоках и блоках типа roof-top, подверженных воздействию низких температур и холодного ветра, масло в компрессоре становится настолько густым, что насос не в состоянии обеспечивать необходимое давление. В связи с этим возникает опасность невозможности холодного запуска установки, вызванная блокировкой дифференциального реле давления масла.

Для обеспечения удовлетворительной работы компрессора при низкой температуре окружающей среды рекомендуется использовать подогрев картера на всех типах холодильных установок, установках для кондиционирования воздуха (сплит-систем) и автономных установках с мощностью более 4 кВт. Подогрев картера сокращает в нем миграцию жидкости во время остановки компрессора и разогревает масло внутри для облегчения последующего пуска.

Наличие влаги и загрязнения в контуре

Наличие влаги в компрессоре и холодильном контуре может привести к появлению ржавчины, разложению холодильного агента, отложению грязи в масле, образованию в нем кислот, а в особо сложных случаях — к коррозии, особенно в отношении изоляции эл. двигателя.

Наличие загрязнений обычно приводит к повреждениям подвижных частей. Стружка и сопутствующие сварке осадки могут засорить сетчатые фильтры (рисунок 4.9), приводя к нарушениям режима работы масляного фильтра.



Загрязнение холодильного контура возникает и в результате скопления сопутствующих сварке осадков: при сварке серебряным припоем на воздухе образуются оксиды. Оксиды, образующиеся на внутренней поверхности труб, создают опасность износа подвижных частей, засорения сетчатых фильтров и пр. Чтобы избежать этой опасности, сварка должна производиться с заполнением труб азотом, следя за тем, чтобы он не попадал в атмосферу помещения.

Рисунок 4.9. Засорение сетчатого фильтра на участке всасывания компрессора стружкой и осадочными частицами.

Недостаточный перегрев хладагента при всасывании

В поршневых компрессорах перегрев всасываемого газа не должен превышать 10°C. В действующих винтовых компрессорах с использованием R-134a, R-22 и R-407C перегрев также должен быть менее 10°C; если же используются холодильные агенты R-404A и R-507, перегрев должен быть на уровне 20°C. Действительно, при слишком низком перегреве возникает опасность появления жидкости во всасываемом газе, что может привести к повреждениям пластин клапанов, поршней, стенок цилиндра и шатунов. В винтовых компрессорах могут возникать и другие неполадки.

Недостаточный перегрев может возникать по причине неправильной регулировки или неисправности терморегулирующего вентиля, неправильной установки термобаллона или недостаточной длины труб контура холодильного агента. В последнем случае рекомендуется устанавливать теплообменник или ресивер.

Образование кислоты

Образование кислоты происходит при наличии влаги, кислорода, солей металлов и/или повышенной температуре на подаче. При высоких температурах скорость химических реакций возрастает В последствии масло вступает в реакцию с кислотой. Образование кислоты приводит к повреждениям как электрооборудования (рисунок 4.10), так и подвижных частей установки, а в экстремальных случаях — к сгоранию эл. двигателя. При образовании кислоты необходимо полностью заменить масло (включая масло, находящееся в сепараторе, при его наличии), кроме того необходимо установить антикислотный фильтр на участке всасывания. Наконец, целесообразно проверять состояние фильтра-осушителя.



Рисунок 4.10. Коррозия электрооборудования при образовании кислот.

Недостаточное охлаждение компрессора

На некоторых моделях поршневых компрессоров должны монтироваться дополнительные вентиляторы охлаждения. Если вентилятор не обеспечивает достаточного охлаждения, может создаваться перегрев на линии нагнетания. В этих случаях единственным решением проблемы является установка вентилятора охлаждения соответствующей мощности. Более того, почти для всех компрессоров требуется определенная вентиляция, снижающая вырабатываемое ими тепло. При выборе моделей этих вентиляторов необходимо обращаться к документации фирмы-изготовителя.

Повышенная температура хладагента на линии нагнетания

Как уже было сказано, предельная температура хладагента на линии нагнетания составляет 120°С при проведении измерения внутри трубки в нескольких сантиметрах от вентиля. Признаками чрезмерного повышения температуры воздуха на линии нагнетания являются: включение аварийного термостата (загрязнен конденсатор), подгорание масла, черный цвет масла и образование кислоты (рисунок 4.11). Все это приводит к нарушению системы смазки. В этом случае конденсатор следует тщательно прочистить.

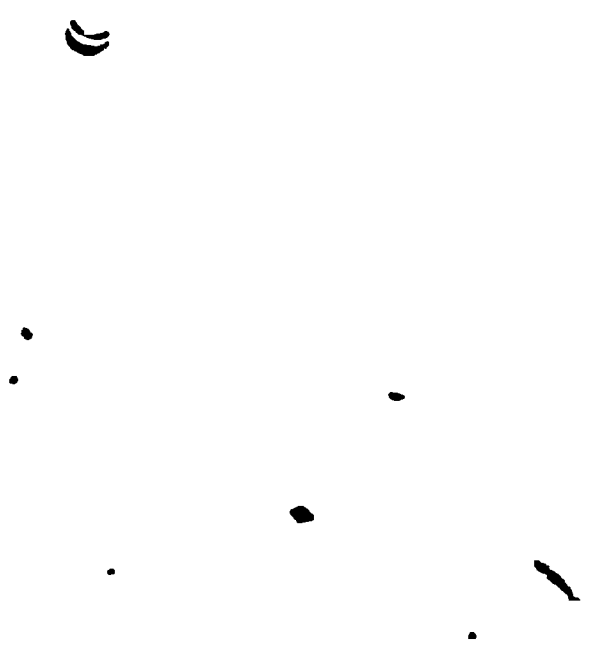


Рисунок 4.11. Признаки подгорания масла и образования кислот на пластине клапана поршневого компрессора.

ГЛАВА 4

Теплообменники с нагревом воды на линии перегретого газа

Теплообменники, установленные на линии перегретого газа на выходе из компрессора, могут стать источниками для нагрева воды до температур, превышающих температуру конденсации хладагента, так как начальная температура хладагента на выходе из компрессора составляет примерно 120°C.

Известны случаи, когда температура конденсации намеренно повышалась обслуживающим персоналом для нагрева воды до более высокои температуры. Такие действия следует считать ошибочными, так как помимо сокращения ресурса компрессора возрастает удельныи расход электроэнергии на выработку холода.

Величина теплоты перегрева хладагента, используемая для нагрева воды до температур выше температуры конденсации, является незначительнои и составляет ~ 10–15% от теплоты конденсации.

Другим недостатком при использовании теплообменника такого типа является значительное сопротивление, что приводит к увеличению давления на линии нагнетания и, как следствие, перегреву компрессора. В то же время, сопротивление теплообменника совместно с нагнетательным трубопроводом величиной 0,2–0,3 бар не является существенным и не приводит к значительному повышению температуры нагнетания.

В холодильных установках, работающих при низких и средних температурах кипения хладагента, сопротивление регенеративного теплообменника на линии нагнетания не должно превышать 0,35 бар.

Направление вращения компрессора

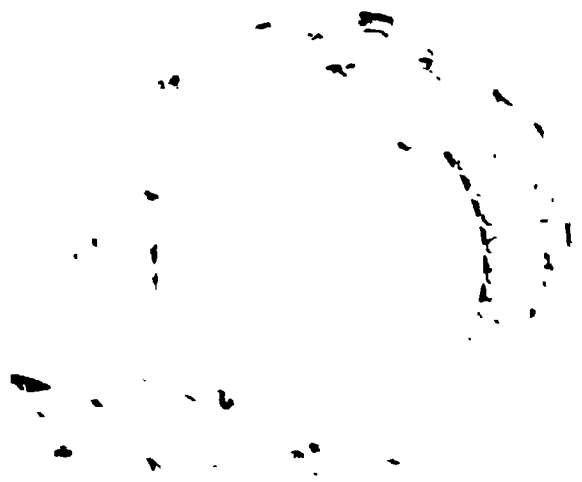
Для поршневых компрессоров направление вращения не является существенным как с точки зрения самой компрессии, так и для смазки. В небольших компрессорах, где смазка осуществляется посредством разбрызгивания, направление вращения значения не имеет, в более мощных компрессорах, имеющих масляныи насос, направление циркуляции масла меняется на обратное.

И наоборот, компрессоры scroll и винтовые имеют фиксированное направление вращения, которое необходимо соблюдать для обеспечения компрессии. Еще на этапе монтажа необходимо убедиться, что компрессор вращается в нужном направлении. В компрессорах scroll это может быть сделано посредством считывания показателей силы тока и давления в холодильном контуре; кратковременное вращение в обратную сторону обычно не приводит к поломкам, однако в этом случае холодильная мощность агрегата значительно ниже номинальнои.

Холодильные машины с винтовым компрессором обычно оснащены фазовым монитором, запрещающим осуществить запуск агрегата и предупреждающем о том, что подсоединения фазы не позволяют осуществить вращение в нужную сторону. Это важно учитывать не только при первом запуске, но и при дальнейшей эксплуатации, когда без информирования пользователя могут производиться работы на электрооборудовании, и возможны ошибочные подключения фаз по их окончании.

Функционирование трехфазного электродвигателя в режиме однофазного

Условия функционирования в режиме однофазного двигателя возникают тогда, когда трехфазный электродвигатель компрессора получает питание только от двух фаз. Перегорание электродвигателя обычно происходит очень быстро: действительно, при отсутствии третьей фазы две оставшиеся фазы функционируют с повышенной нагрузкой. Это может быть тогда, когда в результате поломки прерывается одна из фаз. Сила тока, протекающего через две оставшиеся обмотки, возрастает и достигает примерно 150% от нормального значения силы тока. Если компрессор функционирует с полнои нагрузкой, в результате перегрева может сработать температурныи предохранитель, а если работа компрессора происходит с небольшои нагрузкои, повышение температуры в двух обмотках может оказаться недостаточным для срабатывания предохранителя.



После остановки эл. двигатель обычно уже не запускается из-за срабатывания предохранителя от перегрузок; однако могут создаваться продолжительные скачки силы тока, способные привести к быстрому сгоранию двигателя, если проблема не была обнаружена сразу же.

Сгорание эл. двигателя вследствие функционирования в режиме однофазного легко определить, если осмотреть обмотки: обмотка прерванной фазы окажется неповрежденной, тогда как две другие обмотки сгорели (рисунок 4.12).

Рисунок 4.12. Трехфазный двигатель, сгоревший вследствие функционирования в режиме однофазного. Видна неповрежденная обмотка прерванной фазы.

Профилактика утечек холодильного агента

Несмотря на то, что каждый сотрудник, ответственныи за техническое обслуживание и производящий работы (проверки) на холодильных установках, должен уметь принять меры для минимизации случайных утечек холодильного агента, в некоторых операциях, связанных с обработкой и переливом последнего, необходимо проводить специальную подготовку и сертификацию.

Чем больше размер утечки холодильного агента, тем больше снижается мощность холодильной установки. Винтовые компрессоры очень чувствительны к утечкам холодильного агента (смотри Главу 11)

Для персонала, обслуживающего установку, целесообразно предусмотреть проведение процедур по ежедневному мониторингу для минимизации утечки холодильного агента в атмосферу. Такие процедуры включают в себя осмотр установки или использование специального оборудования для обнаружения утечек. В этой области на рынке имеются многочисленные приборы с широким диапазоном технических характеристик. Расположение сенсоров в машинном отделении определяется наличием или отсутствием постоянно действующей системы вентиляции.

Раньше замена масла в холодильной установке производилась один раз в год, однако в настоящее время прослеживается тенденция периодически брать образцы масла на анализ, по возможности в лаборатории, для того, чтобы определить потребность в его замене. Анализ образцов обычно позволяет установить наличие в масле влаги, кислот и металлов. Желательно производить замену масла только тогда, когда это действительно необходимо, чтобы ограничить возможность утечки холодильного агента в атмосферу в ходе операций по его замене. Эти работы также должны производиться специально подготовленным персоналом.

Проверка трубок теплообменников

В теплообменниках с пучком трубок необходимо периодически производить осмотр трубок для обнаружения возможных изломов и отверстий, а также удаления возможных засорений. Загрязнение трубок водоохлаждаемых конденсаторов и в батареях конденсаторов с воздушным охлаждением приводит к созданию изоляционного слоя на поверхности теплообменников, что вызывает прогрессивный рост температуры конденсации. Вследствие этого снижается вырабатываемая холодильная мощность и возрастает потребление электроэнергии. Кроме того, компрессор начинает работать при более высоком показателе соотношения давлений, и температура газа на участке нагнетания возрастает до такой степени, что может вызвать подгорание масла с уже упомянутыми последствиями. В водоохлаждаемых конденсаторах появляются отложения на трубках, уменьшается сечение пропускного канала и, как следствие, возрастает потребление электроэнергии насосами. Еще одной опасностью является коррозия труб.

Состояние трубок водоохлаждаемых конденсаторов должно проверяться один раз в год, а трубок испарителя — один раз в три года. При наличии отложений требуется произвести чистку внутренних по-

верхностей труб: эта операция достаточно простая, если поверхности являются гладкими, когда же внутри трубок имеется винтовая нарезка, способствующая перемешиванию поступающей по трубкам жидкости, необходимо обратиться за консультацией к изготовителю установки для выяснения необходимых процедур. Чистка внутренних поверхностей гладких трубок производится вращающимися щетками, закрепленными на длинных гибких шомполах, либо иным способом. По завершении чистки трубки должны быть промыты водой.

Отложения минеральных солей удаляются химическим способом. В этой связи всегда необходимо определять потребность установки водоочистных систем на контуре конденсатора для обеспечения чистоты трубок.

Аналогичные проверки и действия по чистке должны периодически проводиться также в отношении колоннах охлаждения, уделяя особое внимание к состоянию емкости для сбора воды и фильтра.

Электронная диагностика

Современные холодильные установки оснащены системами диагностики на микропроцессорах, указывающих на возникновение неисправности и сообщающих информацию, необходимую для ее устранения. Вот типичное сообщение: «Высокая температура масла», и соответствующая этому информация: «Проверить систему смазки».

Сообщения появляются автоматически и сохраняются на дисплее или мониторе до тех пор, пока ответственный за состояние установки работник не отключит их самостоятельно. На различных установках могут использоваться достаточно разные сообщения, поэтому ответственный за ведение технического обслуживания сотрудник должен хорошо знать систему диагностики, имеющуюся в установке.

Некоторые сигналы системы диагностики являются лишь предупреждающими сигналами, другие же сопровождаются автоматическим отключением установки. Если проблема решается сама по себе, производится автоматический запуск машины, в других же случаях может потребоваться запуск установки вручную, в зависимости от вида обнаруженной неисправности. Например, сигнал типа: «Сенсор температуры воды, поступающей в конденсатор» означает, что есть прямой контакт или короткое замыкание сенсора температуры, а не то, что температура воды в конденсаторе вышла из-под контроля, поэтому отключения установки не происходит. Напротив, при сообщении типа «Отсутствие подачи воды к конденсатору» происходит мгновенное отключение установки, хотя и сохраняется возможность ее автоматического запуска по сигналу измерителя потока воды, если подача воды возобновляется. Случаем отключения установки, при котором необходимо производить запуск вручную, является появление сообщения «Перегрузка потока». В этом случае обслуживающие установку специалисты должны определить причину избыточного давления, устранить ее и затем произвести запуск установки вручную.

Неисправности, вызванные неполадками в системе электропитания

Этот вид неисправностей возникает чаще всего из-за:
— напряжения ниже допустимого предела;
— отсутствия питания одной из фаз;
— недостаточного охлаждения эл. двигателя;
— возникновения локальных коротких замыканий;
— недостаточного размера контактных групп;
— трения ротора о статор.

Напряжение ниже допустимого предела. Напряжение ниже допустимого предела приводит к повышению потребляемого тока эл. двигателем выше допустимого уровня. Это происходит в основном при запуске, когда электрические и механические нагрузки особенно велики, слишком низкое напряжение может привести к возникновению полного короткого замыкания в эл. двигателе.

Отсутствие питания одной из фаз. При отсутствии питания на одной из фаз трехфазного эл. двигате- (начинающего функционировать в режиме однофазного, о чем уже упоминалось в настоящей главе) зникает значительный дисбаланс питания на других фазах, в результате чего значительно повышается отребляемый ток. Если системы безопасности не срабатывают, две перегруженные фазы сгорают.

Недостаточное охлаждения эл. двигателя. В настоящей главе уже говорилось об этом важном вопро-е. Недостаточное охлаждение может вызвать значительный перегрев обмоток, что может привести к горанию двигателя. Вдобавок, температура газа на участке нагнетания может превысить допустимый для компрессоров предел (120°С), что может иметь ряд таких нежелательных последствий, как подгорание масла и образование кислот.

Возникновение локальных коротких замыканий. Они часто возникают случайно в результате попадания стружки или других металлических частиц в обмотки эл. двигателя, повреждая изоляцию (рисунок .13). Перегрузки в обмотках под действием наведенных электромагнитных сил при запуске установки же могут вызвать трения обмоток, приводящих со временем к нарушению изоляции вплоть до возникновения локального короткого замыкания.

Рисунок 4.13. Локальное короткое замыкание в электродвигателе компрессора, возникшее по механической причине.

Недостаточный размер контактных групп. Недостаточный размер контактной группы является причиной подгорания и оплавления контактов ввиду высоких значений силы тока при размыкании. При оплавлении контактных групп затрудняется срабатывание системы безопасности компрессора, скольку контактная группа не в состоянии обеспечить размыкание цепи. При этом любая случайная регрузка может привести к сгоранию эл. двигателя.

Трение ротора о статор. Расстояние между ротором и статором очень незначительно, и для возникновения трения между ними зачастую бывает достаточно небольшого износа подшипника. В результате происходит износ изоляции, приводящий к короткому замыканию между фазой и заземлением с последующим локальным сгоранием нескольких обмоток.

Дисбаланс электропитания на фазе

В компрессорах на трехфазных эл. двигателях значительные колебания напряжений или силы тока фазам могут со временем привести к сгоранию обмоток. В большинстве случаев речь идет о неисправностях, которые могут быть предотвращены при соответствующем контроле (колебания тока по азам могут быть не обнаружены продолжительное время).

Как известно, максимальное значение колебаний напряжения по фазам, допускаемое изготовителями компрессоров, составляет ±2%. Если величина дисбаланса напряжения превышает этот уровень, ток, протекающий через обмотки, увеличивается и вызывает нагрев, приводящий к выходу эл. двигателя из строя.

Важно учитывать, что повышение температуры, возникающее в обмотках, соответствует, в процентном отношении, двойному значению квадрата величины дисбаланса. Для лучшей иллюстрации этого явления приведем несколько примеров.

2-процентный дисбаланс напряжения по фазам приводит к повышению температуры, равному в процентном отношении следующей величине:

$$(2 \cdot 2^2)\% = 8\%$$

3-процентный дисбаланс напряжения приводит к повышению температуры, равному в процентном отношении:

$$(2 \cdot 3^2)\% = 18\%$$

Наконец, 5-процентный дисбаланс напряжения приводит к повышению температуры, равному в процентном отношении:

$$(2 \cdot 5^2)\% = 50\%$$

Показанная на рисунке 4.14 диаграмма иллюстрирует динамику повышения температуры обмоток двигателя относительно отклонения напряжения на фазе.

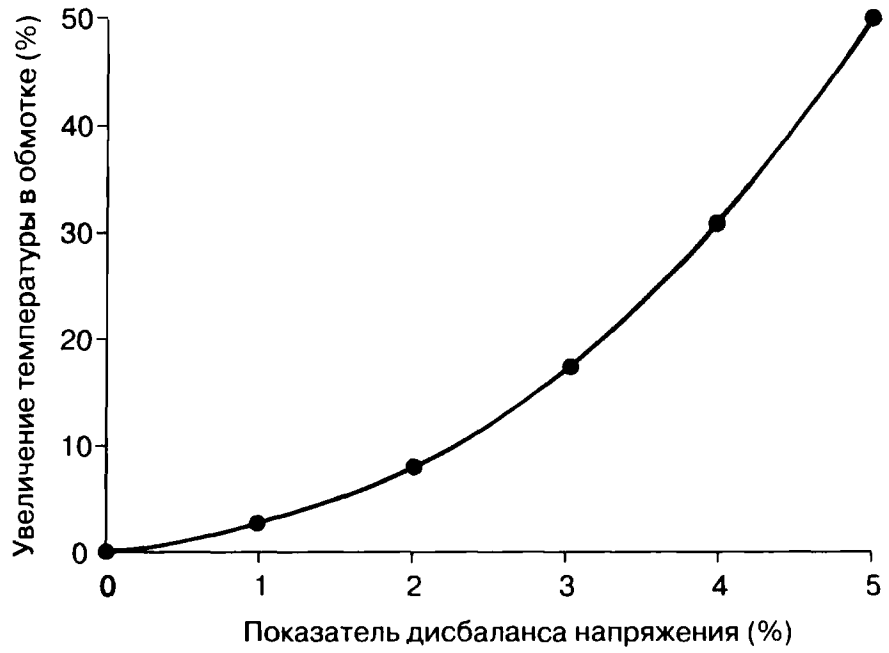


Рисунок 4.14. Повышение температуры в обмотках, выраженное в процентах, относительно изменения показателя дисбаланса напряжения на фазе в трехфазном эл. двигателе компрессора холодильника.

Приведенные примеры наглядно свидетельствуют об опасности этого явления для ресурса компрессора.

Проверка дисбаланса электропитания по фазам

Произвести эту операцию на работающем компрессоре можно путем измерения напряжения между фазами на пускателе или на контактной группе самого компрессора.

Предположим, что измерения, произведенные на трехфазном компрессоре с номинальным напряжением 220 В, дали следующие значения (см. таблицу 4.1).

Средний показатель напряжений на фазе составляет:

$$(215 + 221 + 224) : 3 = 220 \text{ В}$$

Из таблицы 4.1 следует, что максимальное значение дисбаланса напряжения на фазе составляет 5 В.

Таблица 4.1. Напряжения на фазах эл. двигателя компрессора

Фаза	Результат измерения (В)	Средний дисбаланс (В)
L1–L2	215	220 – 215 = 5
L2–L3	221	221 – 220 = 1
L3–L1	224	224 – 220 = 4

Легко определить величину дисбаланса следующим образом:

$$\text{дисбаланс } (\%) = \frac{5}{220} \cdot 100 = 2{,}27\%$$

Следовательно, показатель дисбаланса превышает 2%, а условия функционирования компрессора являются неудовлетворительными.

Используя вышеприведенную формулу, можно вычислить, что дисбаланс может вызвать следующее повышение температуры, выраженное в процентах:

$$(2 \cdot 2{,}27^2)\% = 10{,}3\%,$$

т. е. величину, превышающую предельные значения, допускаемые большинством изготовителей компрессоров.

Дисбаланс силы тока

Дисбаланс напряжения вызывает соответствующий дисбаланс силы тока, в то время как при дисбалансе силы тока необязательно возникает дисбаланс напряжения. Поэтому нельзя исключать наличие дисбаланса тока даже тогда, когда измерения напряжения показывают нормальные значения.

Такая картина имеет место при трехфазном питании, когда даже при отличной сбалансированности показателей напряжения тока одно из подсоединений компрессора к терминалу работает медленно или имеет нагар на контактах. В этом случае возникает повышение сопротивления при прохождении тока к соответствующей обмотке. Однако, поскольку ток следует в направлении наименьшего сопротивления, повышается сила тока, проходящего через два других терминала компрессора и через соответствующие обмотки. В результате возникает дисбаланс силы тока в фазах с увеличением температуры на двух нормально питаемых обмотках даже при нормальных значениях напряжения.

Такой значительный перегрев в двух обмотках может привести к их более или менее быстрому сгоранию.

Рекомендации по проведению измерений в системе электропитания

При измерениях в системе электропитания важно:

— производить измерения при наличии показательных условий, например, когда компрессор работает на полном режиме и при его частичной загрузке, когда давление в контуре уравнялось и пр.;

— использовать измерительные приборы, имеющие соответствующие задаче характеристики, а также использовать правильную шкалу величин.

Полученные значения не всегда позволяют установить причину неисправности, зачастую их необходимо тщательно проанализировать, поэтому важно правильно оценить значение считанных данных. Неверное определение причины неисправности часто кроется в неправильной оценке полученных данных.

Наконец, при замене сгоревшего компрессора кроме тщательной чистки контура необходимо установить и устранить причину, в результате которой произошло сгорание, в противном случае, можно быть уверенными в том, что новый установленный компрессор в скором времени также сгорит.

ГЛАВА 5

Обнаружение неисправностей в холодильных установках

Визуальный контроль и связанные с ним меры 55
Проведение измерений 57

Одной из основных рекомендаций технику по холодильным установкам, вызванному для проведения работ, является совет «смотреть по сторонам». Очень часто уже при простом осмотре установки по издаваемым ею шумам можно определить основные неисправности. «Сначала смотри, потом измеряй»: этому правилу должен следовать каждый специалист по холодильным установкам при обнаружении неисправностей. Глаза, уши и осязание могут помочь обнаружить причину сбоя в работе оборудования, определить, какие измерения следует произвести для подтверждения уже сделанного вывода о природе неисправности.

Визуальный контроль и связанные с ним меры

Ниже следует краткое описание действий по проверке работы оборудования, которые должен предпринимать специалист по техническому обслуживанию, их значение и возможные последствия обнаруженных рабочих показателей.

— Простое ощупывание рукой позволяет определить наличие повышенной или пониженной температуры газа на участке нагнетания компрессора. Таким же образом можно обнаружить создание ненормальной температуры газа на всасывании, а также признаки, свидетельствующие о нарушениях значений давления в контуре.
— Повышенная температура головок компрессора или его остановка вследствие срабатывания защиты от повышенной температуры может быть следствием следующих легко определяемых причин: выход напряжения в сети за допустимые пределы (слишком низкое, или слишком высокое), недостаточное количество холодильного агента или масла, слишком высокое значение соотношения давлений, повышенная температурная нагрузка.
— Повышенная вибрация компрессора или недостаточная активация холодильных групп, либо наличие пятен масла на полу являются признаками утечек в контуре, уже имеющих место или потенциальных. Действительно, слишком интенсивная вибрация трубок может легко привести к поломке или нарушению пайки.
— Повышенный уровень шума при работе поршневого компрессора часто вызван износом внутренних частей вследствие недостаточной смазки. Наличие характерного шума «взбивания» при запуске вызвано скоплением жидкого холодильного агента в картере при остановках. Пена смеси масла с холодильным агентом, проходя через клапаны, приводит к возникновению именно такого шума, продолжающегося до тех пор, пока холодильный агент не испарится или не восстановится уровень масла.
— Частые циклы запуска/остановки компрессора или эл. двигателей вентиляторов являются признаком неправильной регулировки либо недостатка количества холодильного агента в установке.
— Появление инея на линии всасывания на корпусе компрессора свидетельствуют о возврате жидкого холодильного агента, который можно устранить, настроив терморегулирующий вентиль.
— Покрытие батареи испарителя инеем, или загрязнение либо засорение батареи конденсатора, являются очевидными причинами несоответствующего рабочего давления, которое можно легко восстановить, удалив иней или очистив батарею от загрязнений.
— Повышенная температура газа на входе в конденсатор может возникнуть из-за наличия воздуха или других неконденсируемых элементов в контуре, в частности, если величина переохлаждения жидкости слишком высока.
— Если при прикосновении рукой очевидно, что приемник жидкости является относительно холодным, это может говорить о наличии неконденсируемых элементов в жидкости.
— Повышенное переохлаждение холодильного агента может быть признаком затопления конденсатора жидким холодильным агентом, то есть имеет место его перезагрузка.
— Повышенный перегрев газа на выходе из испарителя может быть следствием недостаточного количества холодильного агента, либо неправильной регулировки терморегулирующего вентиля.
— Наличие пузырьков под смотровым стеклом на линии жидкости может означать недостаток загрузки холодильного агента, либо слишком большого снижения его нагрузки.
— Недостаток холодильного агента может возникнуть вследствие его утечки из контура, для обнаружения которой существует ряд способов. Например, при нанесение кистью мыльной пены на места

возможной утечки (места пайки, ударов и пр.), в местах утечки появляются пузырьки. Современные ультразвуковые течеискатели позволяют определять на слух (с использованием наушников) свист вытекающего газа, обычно не различимый на сопровождающих его частотах: эти устройства функционируют даже при ветре, присутствии других газов, способных исказить показатели измерений, не требуют добавления специальных присадок в контур. По мнению организации EPA (*Environmental Protection Agency*, американское агентство по защите окружающей среды), электронные ультразвуковые течеискатели являются наиболее эффективным типом измерительных приборов для обнаружения небольших утечек холодильного агента из холодильного контура.

— Желтый цвет индикатора влажности означает наличие избытка влаги в контуре. Если в результате этого образуется иней на фильтре-осушителе, необходимо его заменить.
— Остановка вентиляторов конденсатора и испарителя может означать наличие неисправностей или поломок, поэтому их надо осмотреть и при необходимости отремонтировать. Это же правило действует в отношении насосов циркуляции.
— Если после освобождения контура не сохраняется вакуум, это говорит об утечке в контуре, либо о наличии внутреннего холодильного агента и/или, с учетом давления, — кипящей воды. Если внутреннее давление выше атмосферного, речь может идти только о наличии кипящей воды или холодильного агента, поскольку при утечке внутреннее давление не может быть выше атмосферного.
— Гибкие шланги вакуумного насоса должны иметь одинаковый либо больший диаметр, чем соответствующие штуцеры самого насоса.
— Показания мановакуумметра позволяют определить, достигается или не поддерживается требуемое разряжение при отключении контура от насоса и что в холодильном контуре полностью отсутствует вода.
— Необходимо убедиться, что аварийные клапаны для сверхдавлений не установлены последовательно, обычно они должны располагаться параллельно.
— Прежде чем производить закачку азота в контур, необходимо проверить наличие регулятора давления на баллоне. Кроме того, необходимо быть уверенным, что загрузка производится не жидким азотом, а азотом в газообразном состоянии.
— При поиске мест утечки в холодильном контуре или компрессоре нельзя использовать кислород или сжатый воздух: смешивание некоторых видов холодильных агентов с воздухом или кислородом может привести к взрыву.
— Во избежание взрыва запрещается приближать к баллонам с холодильным агентом источники открытого огня. По этой же причине запрещается использовать открытое пламя для разогрева баллона с холодильным агентом.
— При использовании очень старого холодильного или иного оборудования необходимо проверить имеющиеся в нем холодильные агенты, которыми могут оказаться такие, как метил-хлорид, сульфат-ангидрид, аммиак (последний используется и в недавно выпущенных установках). Сбор этих холодильных агентов нельзя производить обычными способами. Кроме того, при несоблюдении соответствующих мер предосторожности некоторые из них могут представлять опасность для специалиста, производящего работу.
— Если при работах по ремонту холодильного контура или по сбору холодильного агента появляется резкий запах, причиной этого может быть перегорание компрессора, так как холодильные агенты в небольших количествах не имеют запаха.
— Прежде чем начинать работы, связанные с холодильным агентом, необходимо убедиться в отсутствии источников открытого огня, раскаленных металлических предметов и пр. Высокие температуры могут вызвать разложение холодильных агентов R-12 и R-22, при котором образуются гидрохлоридные и гидрофторидные кислоты.
— Машинное отделение, в котором находится холодильная установка, должно иметь хорошую вентиляцию, при ее отсутствии необходимо убедиться в наличии респираторов, которые следует надеть при сложных работах на холодильном контуре. При возможной утечке холодильного агента содержащийся в помещении кислород вытесняется, что может вызывать удушье при отсутствии респиратора. Прежде чем разрешить допуск людей, не имеющих респираторов, в помещение, его необходимо хорошо провентилировать.

— При проверке герметичного холодильного контура, в котором обнаружены утечки, прежде всего необходимо искать пятна масла. Наличие масла указывает на место утечки.
— Если для обнаружения утечки в холодильном контуре необходимо прибегнуть к использованию сигнального газа, следует выбрать R-22 и ни в коем случае не использовать CFC. Для прокачки контура и поиска утечек необходимо использовать небольшое количество R-22 в смеси с азотом. Использование кислорода или сжатого воздуха недопустимо, так как при его контакте с холодильным агентом имеется вероятность возгорания или взрыва.
— Фильтр-осушитель необходимо заменять при каждом вскрытии холодильного контура при проведении его технического обслуживания.
— При освобождении холодильного контура вакуумный насос должен быть в состоянии создавать разряжение, соответствующее давлению в 500 мкм рт. ст. (или просто 500 мкм), эквивалентное 0,5 мм рт. ст.
— Повышение давления нагнетания в холодильном контуре выше нормы может возникнуть из-за наличия неконденсируемых газов в самом контуре.
— Перед операциями по ремонту контура необходимо произвести измерение кислотности извлеченного холодильного агента. На основании результатов измерений можно установить, может ли он быть использован заново или нет. Холодильный агент может помещаться в контур только после проведения анализа его состояния. Кроме того, фильтр-осушитель в любом случае должен быть заменен.
— Если при функционировании установки имеются признаки загрязнения холодильного агента, он должен быть переработан и очищен от загрязнения. Установки для переработки и очистки могут устранить содержащиеся в нем неконденсируемые элементы, масло, кислоты и влагу и очистить холодильный агент, доводя уровень его качества до показателей, близких к показателям нового; однако регенерированный таким образом холодильный агент не может быть использован сразу же. Перед использованием он должен пройти тест ARI 700 (ARI — сокращение от *Air conditioning and Refrigeration Institute*). Возврат холодильного агента в контур без прохождения теста может допускаться только в небольших установках, где незначительное количество холодильного агента и низкая стоимость оборудования не оправдывают затрат на тестирование.

Проведение измерений

Блок манометров является «стетоскопом» специалиста по холодильным установкам (рисунок 5.1). Исключая прочие очевидные случаи, 90% неисправностей установки выявляются при измерении показателей давления. Наряду с блоком манометров наиболее полезным инструментом является таблица «температура-давление», она позволяет рассчитать значение температуры, соответствующее тому или иному давлению в зависимости от типа холодильного агента (таблицы 5.1–5.6). Блок манометров состоит из пары манометров, одного для высоких, другого для низких давлений, позволяющих обнулять результат (смотри также Главу 16), смонтированных через уплотнения на коллекторе, оснащенном специальными мембранными кранами с большим сечением канала (для снижения потерь при освобождении контуров установки). Обычные типы блоков имеют три связанные между собой штуцера: один для низких давлений и один для высоких, расположенные по краям; в центральной части установлен штуцер для подключения к цилиндру дозатора и к баллону с холодильным агентом (рисунок 5.2).

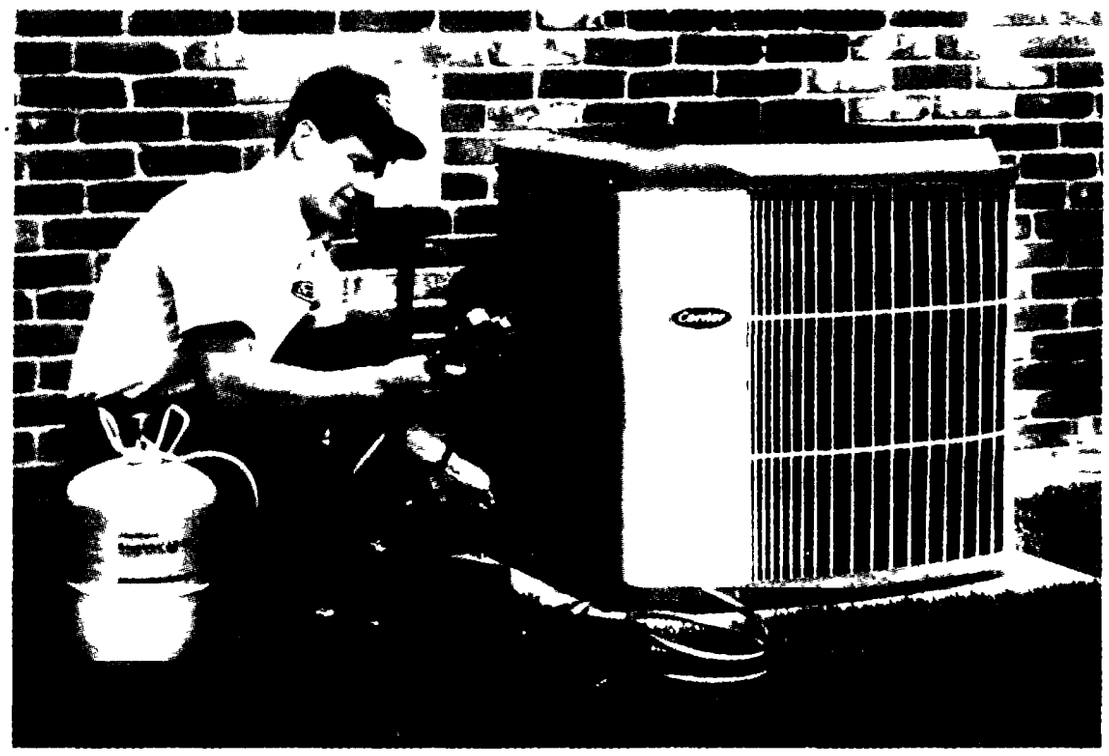
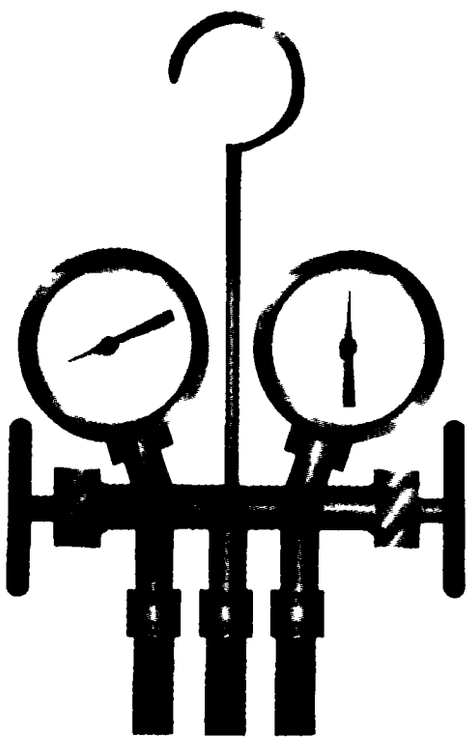


Рисунок 5.1 Произведение измерений с использованием блока манометра.

а)



A) Всасывающий коллектор
B) Коллектор подачи
C) Сервисный клапан нагнетания
D) Сервисный клапан всасывания
E) Служебное соединение

б)

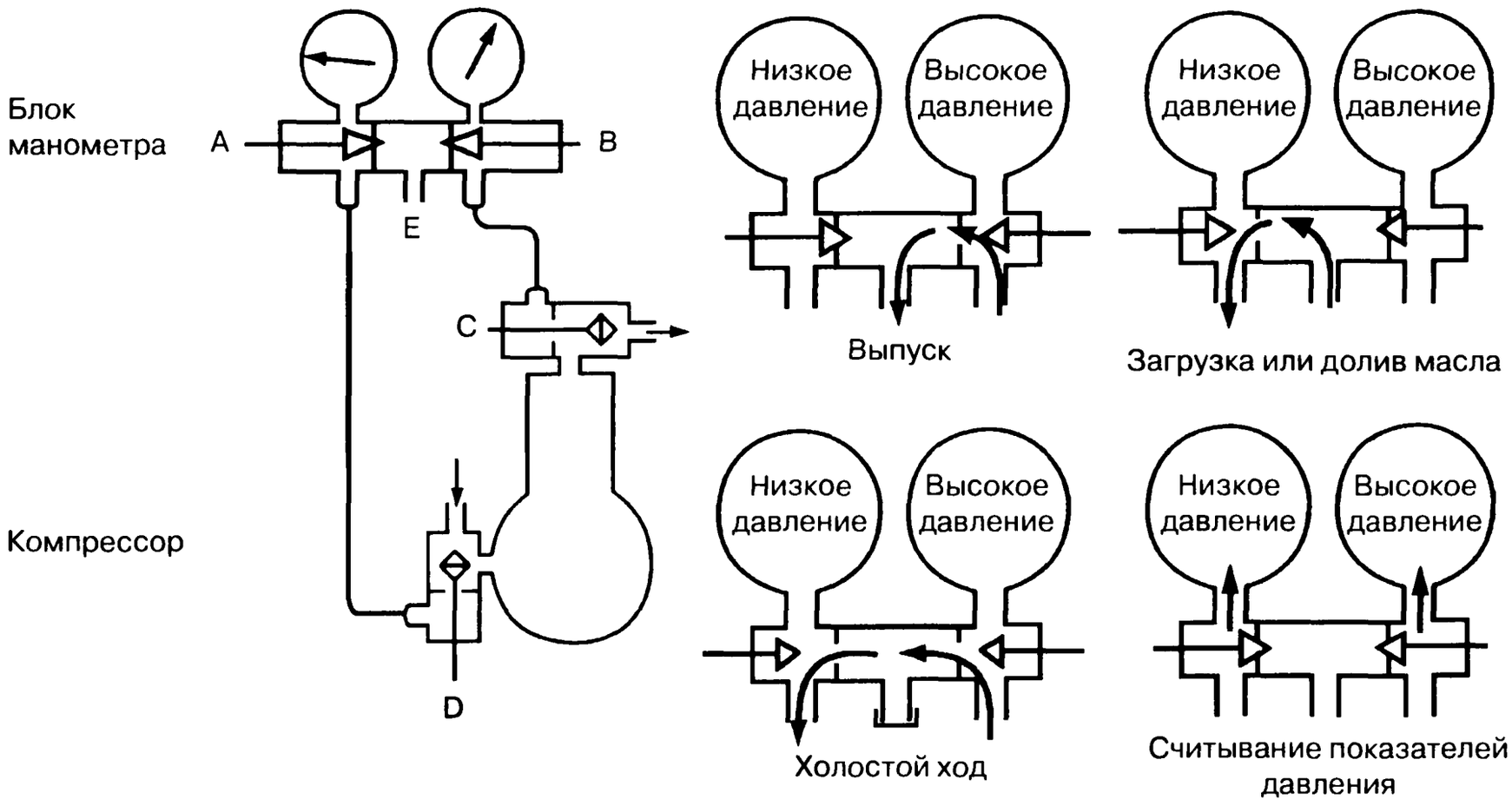


*Рисунок 5.2. Блок манометра (**а**) и схема подсоединений к компрессору (**б**) при основных операциях: выпуск, загрузка, холостой ход, считывание показателей.*

Таблица 5.1. Температуры насыщения* и соответствующие им показатели давлений холодильных агентов R-12, R-22, R-502

R–12						R–22						R–502					
Температура, °С	Давление					Температура, °С	Давление					Температура, °С	Давление				
	кг/см²	мм рт. ст.	кг/см²	кПа	бар		кг/см²	мм рт. ст.	кг/см²	кПа	бар		кг/см²	мм рт. ст.	кг/см²	кПа	бар
–70	0,13	–667		–88,90	–0,89	–70	0,21	–607		–80,90	–0,81	–70	0,28	–554		–73,90	–0,74
–65	0,17	–633		–84,40	–0,84	–65	0,28	–550		–73,30	–0,73	–65	0,38	–480		–64,00	–0,64
–60	0,23	–589		–78,50	–0,78	–60	0,38	–479		–63,90	–0,64	–60	0,50	–392		–52,30	–0,52
–55	0,31	–534		–71,20	–0,71	–55	0,51	–388		–51,70	–0,52	–55	0,65	–282		–37,60	–0,38
–50	0,40	–466		–62,10	–0,62	–50	0,66	–274		–36,50	–0,36	–50	0,84	–142		–18,90	–0,19
–45	0,51	–381		–50,80	–0,51	–45	0,85	–135		–18,00	–0,18	–45,6	1,03		0	0	0
–40	0,65	–278		–37,10	–0,37	–40,75	1,03		0	0	0	–40	1,33		0,30	29,40	0,29
–35	0,82	–154		–20,50	–0,20	–35	1,35		0,32	31,40	0,31	–35	1,66		0,63	61,80	0,62
–29,79	1,03		0	0	0	–30	1,68		0,65	63,70	0,64	–30	2,03		1,00	98,10	0,98
–25	1,26		0,23	22,50	0,22	–25	2,06		1,03	101	1,01	–25	2,47		1,44	141	1,41
–20	1,54		0,51	49,70	0,50	–20	2,51		1,48	145	1,45	–20	2,98		1,95	191	1,91
–15	1,86		0,83	81,30	0,81	–15	3,03		2,00	196	1,96	–15	3,57		2,54	249	2,49
–10	2,23		1,20	118	1,18	–10	3,63		2,60	255	2,55	–10	4,23		3,20	314	3,14
–5	2,66		1,63	160	1,60	–5	4,31		3,28	322	3,22	–5	4,98		3,95	387	3,87
0	3,15		2,11	207	2,07	0	5,10		4,07	399	3,99	0	5,83		4,80	471	4,71
5	3,70		2,66	261	2,61	5	6,00		4,97	487	4,87	5	6,78		5,75	564	5,64
10	4,31		3,28	322	3,22	10	6,99		5,96	584	5,84	10	7,84		6,81	668	6,68
15	5,01		3,97	390	3,90	15	8,10		7,07	693	6,93	15	9,02		7,99	784	7,84
20	5,78		4,75	465	4,65	20	9,35		8,32	816	8,16	20	10,33		9,30	912	9,12
25	6,64		5,60	549	5,49	25	10,74		9,71	952	9,52	25	11,77		10,74	1053	10,50
30	7,58		6,55	642	6,42	30	12,26		11,23	1101	11,0	30	13,34		12,31	1207	12,10
35	8,63		7,59	745	7,45	35	13,95		12,92	1267	12,7	35	15,08		14,05	1378	13,80
40	9,77		8,74	857	8,57	40	15,79		14,76	1447	14,5	40	16,97		15,94	1563	15,60
45	11,02		9,99	980	9,80	45	17,76		16,73	1641	16,4	45	19,02		17,99	1764	17,60
50	11,39		11,35	1113	11,10	50	20,03		19,00	1863	18,6	50	21,26		20,23	1984	19,80
55	13,87		12,83	1259	12,60	55	22,38		21,35	2094	20,9	55	23,68		22,65	2221	22,20
60	15,48		14,45	1417	14,20	60	24,97		23,94	2348	23,5	60	26,29		25,26	2477	24,80

* Под температурой насыщения понимается температура насыщенной смеси жидкости и пара.

Таблица 5.2. Температуры насыщения и соответствующие им показатели давлений холодильного агента R-134a.

Температура (°C)	Абсолютное давление (кПа)
–45	39,56
–40	51,64
–35	66,55
–30	84,74
–25	106,71
–20	132,99
–15	164,13
–10	200,73
–5	243,42
0	292,82
5	349,64
10	414,55
15	488,29
20	571,61
25	665,27
30	770,07
35	886,83
40	1016,41
45	1159,71
50	1317,63
55	1491,17
60	1681,36
65	1889,31
70	2116,22

Источник: Allied Signal.

Таблица 5.3. Показатели абсолютного давления и соответствующие им температуры насыщения холодильного агента R-404A.

Абсолютное давление (кПа)	Температура жидкости (t кипения) (°C)	Температура пара (точка росы) (°C)
80	–51,39	–50,59
140	–39,56	–38,84
200	–31,24	–30,56
300	–20,91	–20,28
440	–10,20	–9,63
600	0,77	**0,24**
850	10,73	11,21
1100	19,92	20,36
1400	29,07	29,47
1900	41,49	41,83
2300	49,74	50,03

Источник: ASHRAE.

Таблица 5.4. Температуры насыщения и соответствующие им показатели давлений холодильного агента R-407C.

Температура (°C)	Абсолютное давление (кПа)	
	Жидкость (t кипения)(°C)	Пар (точка росы)(°C)
–30	186,8	138,6
–25	229,6	173,2
–20	279,7	214,3
–15	337,8	262,7
–10	404,8	319,1
–5	481,5	384,5
0	568,7	459,8
5	667,4	546,0
10	778,4	664,0
15	902,7	754,9
20	1041,2	879,7
25	1194,9	1019,5
30	1364,7	1175,5
35	1551,7	1349,0
40	1756,7	1541,0
45	1980,7	1752,9
50	2224,8	1986,0
55	2489,8	2241,7
60	2776,6	2521,5

Источник: Allied Signal.

Таблица 5.5. Температуры насыщения и соответствующие им показатели давлений холодильного агента R-410A.

Температура (°C)	Абсолютное давление (кПа)
–40	181,13
–35	223,87
–30	274,33
–25	333,46
–20	402,29
–15	481,86
–10	573,31
–5	677,79
0	796,52
5	930,74
10	1081,75
15	1250,86
20	1439,42
25	1648,83
30	1880,46
35	2135,74
40	2416,11
45	2722,99
50	3057,85
55	3422,12
60	3817,27
65	4244,73
70	4705,96

Источник: Allied Signal.

Таблица 5.6. Температуры насыщения и соответствующие им показатели давлений холодильного агента R-507

Температура (°C)	Абсолютное давление (кПа)
–45	9,1
–40	38,1
–35	72,6
–30	113,3
–25	160,9
–20	216,0
–15	279,4
–10	351,8
–5	434,1
0	527,1
5	631,7
10	748,8
15	879,4
20	1024,8
25	1185,9
30	1364,3
35	1561,3
40	1778,4
45	2017,5
50	2280,6
55	2569,7
60	2887,4
65	3236,3
70	3619,6

Источник: Allied Signal.

Манометры имеют внешнюю шкалу давлений (в бар или кПа) и внутренние шкалы с соответствующим значением температуры насыщения основных холодильных агентов. Таким образом, можно одновременно проверять значения давления и температуры насыщения.

Временное подключение манометра к установке обычно производится через гибкие шланги, подсоединенные к клапанам Шредера, имеющиеся трубопроводы низкого и высокого давления, или же, в их отсутствие, штуцеры блока кранов компрессора.

Подсоединение блока манометра к установке, к вакуумному насосу и к баллону с холодильным элементом осуществляется с использованием трех гибких вспомогательных шлангов.

При использовании манометров на установке, заряженной холодильным агентом, необходимо производить продувку вспомогательных шлангов на стадии подключения, прежде чем затягивать штуцер манометра, для удаления воздуха из самого шланга.

Температура холодильного агента при парообразовании и конденсации называется «температурой насыщения», то есть такой температурой, которую имеет смесь, состоящая из жидкости и насыщенного пара. Каждому значению температуры насыщения (как парообразования, так и конденсации) соответствует определенное значение давления, однако на практике этот показатель не всегда можно определить с абсолютной точностью. Манометры не рассчитаны на измерение температуры холодильного агента в состоянии перегретого пара: для измерения температуры холодильного агента при всасывании и выходе из компрессора необходимо использовать соответствующие термометры. Это значение очень важно знать для обеспечения нормального функционирования установки. Холодильный агент, имеющийся при всасывании, действительно находится в состоянии перегретого пара в связи с нагревом сначала в испарителе и затем при прохождении от испарителя к компрессору. Относительно выпускного клапана пар нагревается еще больше, то есть его температура повышается вследствие испытываемого им сжатия. В этих условиях значения температуры, считываемые с манометров, установленных на кранах всасывания и нагнетания компрессора, абсолютно не соответствуют реальным значениям температуры холодильного агента в местах замера.

Эти инструменты не пригодны также для измерения температуры жидких холодильных агентов, находящихся в состоянии переохлажденной жидкости (жидкость, температура которой ниже температуры насыщения, находится на выходе как ресивера, так и теплообменника, если они имеются на установке). Очевидно, что если используется манометр на участке жидкости, полученное значение давления является результатом воздействия жидкого холодильного агента на датчик манометра. Таким образом, значение температуры, появляющееся на манометре, соответствует температуре конденсации, и ее не следует принимать буквально, поскольку это значение будет выше реального значения температуры в точке, где реально установлен манометр.

Обычно достаточно произвести измерения на соответствующих вспомогательных штуцерах нагнетания и всасывания компрессора. Значения давления нагнетания и давления у конденсатора практически совпадают: небольшая потеря давления в линии подачи не имеет существенного влияния на определение показателя. То же самое можно сказать о значении давления на всасывании, практически совпадающего со значением давления при испарении.

Исключением из этого правила являются установки с длинными холодильными линиями, в частности, холодильные установки для низких температур: здесь падение давления в линиях может быть достаточно большим, и эту разницу давлений необходимо каким-то образом измерить.

Для определения реального давления в испарителе необходимо сложить давление на всасывании компрессора и значение потери давления, выявленного на линии, предварительно измеренной соответствующим образом.

Затем, с использованием таблицы «температура-давление» можно легко определить соответствующую температуру в испарителе.

В критических ситуациях давление в испарителе может быть измерено путем прямого подсоединения манометра к штуцеру внешней балансировки терморегулирующего вентиля.

Для эффективного обнаружения наличия неисправностей наряду с давлением необходимо измерение температуры. Такие измерения предпочтительнее производить не обычным термометром, а прибором, имеющим сменные зонды, облегчающими его эксплуатацию. Исключение составляет классический психрометр, необходимый для измерения температуры внешней среды, с сухой и влажной колбами.

Помимо измерения температуры внешней среды и участка охлаждения может возникнуть необходимость определения значения перегрева всасываемого газа. Для этого сначала измеряется температура в точке, в которой установлен терморегулирующий вентиль на линии всасывания, затем в этом же месте определяется давление холодильного агента, на основании которого устанавливается соответствующая температура насыщения с использованием нужной таблицы. Величина перегрева газа определяется как разница между значением температуры, полученным при измерении, и значением температуры насыщения, взятым из таблицы.

ГЛАВА 6

Меры по усовершенствованию и ремонту холодильных установок

Очистка контуров 65
Влажность в контурах 65
Удаление влажности адсорбцией 66
Значение смотрового стекла 67
Температура и влажность в фильтрах 68
Создание разряжения в контуре 68
Тройная эвакуация 70
Нарушение разряжения 70
Продувка и проверка надежности работы контура 71
Очистка контура после сгорания одного из компрессоров 71
Проблемы смазки 72
Разбавление масла 73
Холодильные линии 74
Отстойники и вертикальные участки 75
Балансировка контура 75
Миграция холодильного агента 75
Проблемы, связанные с работой компрессора 76
Резюме 76
Затопление установок 77

Некоторые виды поломок оборудования, например, сгорание эл. двигателя полугерметичного компрессора, могут иметь негативные последствия даже после проведения ремонта, не говоря уже о связанных с этим затратах и проблемах, вызванных остановкой машины. А у герметичных поршневых компрессоров и компрессоров scroll сгорание эл. двигателя влечет за собой замену всего компрессора. Поэтому необходимо при каждой возможности принимать меры по усовершенствованию оборудования, устанавливая дополнительные предохранители и аварийные системы.

Нужно помнить, что ошибки по наладке работы компрессора впоследствии негативно сказываются как на работе холодильного контура, так и в системе обработки воздуха, если речь идет об установках по кондиционированию. Ошибки, связанные с неверным режимом эксплуатации, не распознанные пользователем и ответственным за работу оборудования, ошибки в проекте и/или изготовлении, к сожалению, почти непоправимы, если не установить на оборудовании необходимое количество аварийных систем, способных предотвратить возникновение причин предполагаемых неисправностей. Особенно в небольших установках с теплообменниками на пластинах и ограниченным количеством используемой воды эксплуатация компрессора, в силу низкой температурной инерции, связана с гораздо большим числом циклов запуска/остановки, чем в машинах с теплообменниками с пучком трубок, это неизбежно приводит к перегреву и сокращению полезного ресурса самого компрессора.

При возникновении поломки исключительно важно точно установить ее причины и принять меры по их устранению для того, чтобы избежать повторной поломки после ремонта. Анализ неисправностей проводить достаточно сложно: очень часто для этого необходимо вскрыть компрессор и изучить состояние его внутренних частей; в этих случаях определяющим фактором является консультация изготовителя.

Далее приводятся советы и рекомендации по решению наиболее часто встречающихся проблем с оборудованием.

Очистка контуров

Многих проблем, связанных с работой компрессоров холодильных установок, установок для кондиционирования воздуха и пр., можно избежать, производя соответствующую чистку контура. При сгорании компрессора эта операция является даже обязательной во избежание поломки нового компрессора.

При изготовлении или монтаже холодильной установки из контура должны быть устранены все загрязнения: опилки, металлическая стружка, сор, остатки элементов пайки, крошка стекловолокна, щетинки металлических щеток и пр., в противном случае рано или поздно они окажутся в компрессоре. Ввиду их небольшого размера подобные загрязнения проникают сквозь обычные фильтры с металлической сеткой. Кроме того, скорость движения газа придает им сильное вращение, что может привести к порче обычных сетчатых фильтров, устанавливаемых на участке всасывания компрессоров. Поэтому важно, чтобы на линии всасывания установки были установлены фильтры особо прочной конструкции, обеспечивающие минимальные падения давления и повышающие уровень защиты легко повреждаемых элементов компрессора.

Влажность в контурах

Из-за влаги могут возникнуть многие проблемы в работе холодильного контура. Циркулируя вместе с холодильным агентом и маслом при высоких (в компрессоре или конденсаторе) или низких (в испарителе или через терморегулирующий вентиль) температурах, она способна создать целый ряд затруднений в функционировании установки.

При низких температурах в терморегулирующих вентилях вода может замерзнуть и заблокировать шток клапана, делая невозможным прохождение холодильного агента к испарителю. В свою очередь, присутствующий в воде кислород может привести к коррозии штока клапана; при высоких температурах на выходе газа из компрессора наличие кислорода может привести к окислению и подгоранию масла.

По этим и другим причинам необходимо обеспечить отсутствие влаги в холодильном контуре. В то же время нельзя избежать ее попадания в контур в процессе работы с воздухом, через неплотно при-

гнанные соединения, микротрещины в трубках и пр. Необходимо удалять ее по мере проникновения в контур для того, чтобы не допустить возникновения неисправностей.

Почти обязательным компонентом всех холодильных контуров высокой производительности является фильтр-осушитель. Он имеет различные функции, поддерживая чистоту в контуре, удерживая загрязнения, которые неизбежно в нем присутствуют.

Обычные фильтры-осушители, имеющиеся в торговой сети, представляют собой небольшие сложные устройства, имеющие механический сетчатый фильтр тонкой очистки. Они устанавливаются на входе в компрессор и выполняют функцию удержания частичек загрязнений, металлической стружки и пр. На выходе из фильтра устанавливается гильза из адсорбционного материала, обычно представляющего собой силикогель или оксид алюминия. Недавно разработанная модель фильтра-осушителя с указанными характеристиками показана в сечении на рисунке 6.1

Рисунок 6.1. Фильтр-осушитель, предназначенный для удержания влаги в соответствии с требованиями, предъявляемыми к полиэстерным маслам (POE), значительно более гигроскопичным, чем минеральные масла. Состав фильтра хорошо просматривается: обезвоживающий материал и молекулярные фильтры (KMP).

Удаление влажности адсорбцией

Фильтры-осушители функционируют на принципе адсорбции (не путать с «абсорбцией»), представляющем собой химический процесс, вследствие которого водяной пар удерживается в многочисленных полостях адсорбционного материала, имеющего губчатую структуру и удерживающего 12–15% воды относительно своего веса.

Фильтры изготавливаются в различных исполнениях для установки на линии холодильного агента или на линии всасывания и предназначены для защиты компрессора от попадания в него загрязнений, металлической стружки и пр., которые могут привести к возникновению серьезных неисправностей в компрессоре в связи с их абразивностью, износу клапана и ложа клапана, подшипников и поршней; более того, они могут вызвать нарушение изоляции эл. двигателя, что приводит к его сгоранию.

С механической точки зрения существуют два основных исполнения фильтров-осушителей: с фильтрующей гильзой в запечатанном корпусе (рисунок 6.2), и с фильтрующей гильзой в разборном корпусе, который можно вскрыть, отвинтив несколько винтов (рисунок 6.3).

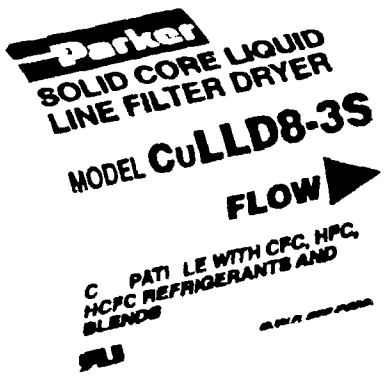


Рисунок 6.2. Фильтр-осушитель в исполнении с фильтрующей гильзой, запечатанной пайкой.

В первом случае, когда гильза выработана, необходимо снимать весь фильтр и заменять его. Во втором же корпус открывается, и старая гильза заменяется на новую. Очевидно, что работы могут производиться только после перекрытия доступа холодильного агента в контур.

Подсоединения указанных фильтров, в зависимости от модели, резьбовые либо выполнены пайкой. В таблице 6.1 приведены значения допустимого содержания влаги, необходимого для нормальной продолжительной эксплуатации различных типов холодильных агентов. Опыт показывает, что если указанные значения соблюдаются, коррозия деталей, разложение масла и сгорание двигателя вследствие коррозии изоляции обмоток практически исключаются.

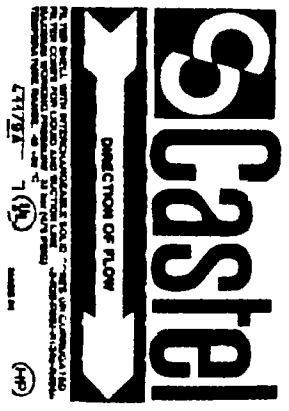


Рисунок 6.3. Типичный фильтр-осушитель со съемной гильзой.

Таблица 6.1. Допустимое содержание влаги при работе с различными холодильными агентами, и показатели начала коррозии при наличии влаги

Холодильный агент	Содержание влаги (ppm воды)	Начало коррозии (ppm воды)
R-12	<15	15
R-22, R-500	<25	120
R-502	<5	15
HFC (все)	<50	50

Значение смотрового стекла

Фильтры-осушители должны быть установлены на контуре постоянно. В отношении влаги они действуют как губки: если их емкость относительно объема циркулирующего в контуре холодильного агента слишком мала, может произойти их насыщение. Этого, естественно, нельзя допускать, поскольку в контуре будет оставаться влага, и возникнет опасность увеличения ее количества.

Смотровое стекло с индикатором влажности представляет собой устройство для быстрого определения наличия влаги в контуре. Его всегда следует устанавливать на холодильных контурах (рисунок 6.4). Оно устанавливается на линии между фильтром-осушителем и терморегулирующим вентилем.

При запуске компрессора появление пузырьков по смотровому стеклу является нормальным, но если они появляются и при функционировании установки в нормальном режиме работы, это может быть вызвано двумя факторами:

— недостаточным количеством холодильного агента в контуре;

— частичным засорением фильтра-осушителя.

При равном количестве холодильного агента в контуре фильтр-осушитель для R22 должен быть в 3–5 раз больше, чем фильтр для R-12. Действительно, чем больше воды способен адсорбировать холодильный агент, тем большим должен быть фильтр. Фильтры-осушители для R-500 должны быть такого же размера, как и для R-22, тогда как для R-502 и для R-12 используются фильтры одинакового размера.

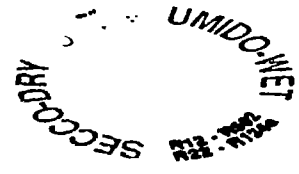


Рисунок 6.4. Смотровое стекло на линии жидкого холодильного агента, устанавливающееся между фильтром-осушителем и регулятором движения холодильного агента.

Температура и влажность в фильтрах

Фильтры-осушители чувствительны к изменениям температуры и удерживают тем больше влаги, чем ниже их рабочая температура, поэтому рекомендуется устанавливать их как можно ближе к терморегулирующему вентилю.

Однако есть и обратная зависимость: фильтр может перегреться из-за недостатка холодильного агента и выпустить в контур часть ранее накопленной воды.

При функционировании фильтра-осушителя его температура повышается, когда через него проходит холодильный агент и происходит удержание влаги: подобное повышение температуры можно считать признаком того, что фильтр впитывает воду. Если же наощупь фильтр является более холодным, чем обычно, это означает, что впитывания влаги не происходит и имеет место незначительное испарение холодильного агента.

Фильтры-осушители должны всегда устанавливаться и на линии всасывания: помимо защиты компрессора от попадания загрязнений и стружки, как уже говорилось ранее, в случае сгорания эл. двигателя они препятствуют распространению в контуре кислот.

После сгорания герметичного или полугерметичного компрессора необходимо установить новый фильтр на линии всасывания. Его задача состоит в переработке образовавшихся вследствие сгорания кислот, при неулавливании которых в скором времени может произойти сгорание вновь установленного компрессора.

Фильтры-осушители должны оставаться запаянными до момента установки, так как при открытии они начинают адсорбировать влагу, содержащуюся в воздухе.

Создание разряжения в контуре

Основным мероприятием по прочистке холодильного контура является создание в нем разряжения. При этом наличие в контуре воздуха может оказаться очень опасным: воздух следует удалять при запуске и впоследствии при эксплуатации установки. Для удаления большей части воздуха из контура обычно производится продувка холодильной линии азотом, если же воздух задерживается в компрессоре при установке оборудования, его почти невозможно удалить из картера.

Обычно компрессоры, как новые, так и бывшие в эксплуатации, поставляются под давлением и должны быть продуты при запуске. Основные изготовители оборудования рекомендуют трижды производить операцию по вакуумированию в холодильном контуре или компрессоре (см. раздел «Тройная эвакуация»). То есть, необходимо дважды произвести запуск при значении разряжения 1500 мкм рт. ст. и в заключение при 500 мкм рт. ст., прибегая каждый раз к нарушению разряжения (см. раздел «Нарушение разряжения») с использованием азота. Вакуумный насос подсоединяется к контуру как со стороны высокого, так и со стороны низкого давления с использованием штуцеров соответствующего диаметра. Вспомогательные штуцеры с последующей затяжкой могут слишком затянуть операцию или исказить считываемые значения вследствие потерь давления.

Операция по вакуумированию необходима для извлечения из контура остатков технических газов, использовавшихся при прессовке, атмосферного воздуха, водяного пара (в атмосферном воздухе всегда имеется некоторое его количество) и возможных образований влаги вследствие конденсации пара. Действительно, холодильная установка не может функционировать при наличии в ней даже небольшого количества воды, смешанной с холодильным агентом: при функционировании установки вода замерзает в ТРВ или в трубке, что приводит к закупорке, препятствующей осуществлению цикла охлаждения. Присутствие в контуре неконденсируемых газов при нормальных значениях давления и температуры приводит к повышению давления конденсации с последующим опасным повышением рабочей температуры компрессора. Для обеспечения эффективной прочистки установки, прежде чем производить ее заправку, необходимо задействовать вакуумный насос (рисунок 6.5). Необходимо в то же время точно установить параметры насоса: использование вакуумного насоса слишком большой мощности может привести к замерзанию воды, имеющейся в контуре.

Низкие значения остаточного давления, полученные с использованием хорошо подобранных вакуумных насосов, позволяют не только удалить газы, но также привести к закипанию возможно имеющейся воды, пусть даже в незначительных количествах, ее испарению и удалению из контура. При давлении 0,5 мм рт. ст. температура кипения воды опускается ниже 24,4°C.

1) Роторы первой ступени
2) Прижимные пластины
3) Ротор второй ступени
4) Кран слива масла
5) Масляный насос
6) Выпускные клапаны
7) Выпускной глушитель и пробка залива масла
8) Всасывающий штуцер
9) Камера всасывания с проверяемым фильтром
10) Однофазный эл двигатель
11) Конденсатор запуска

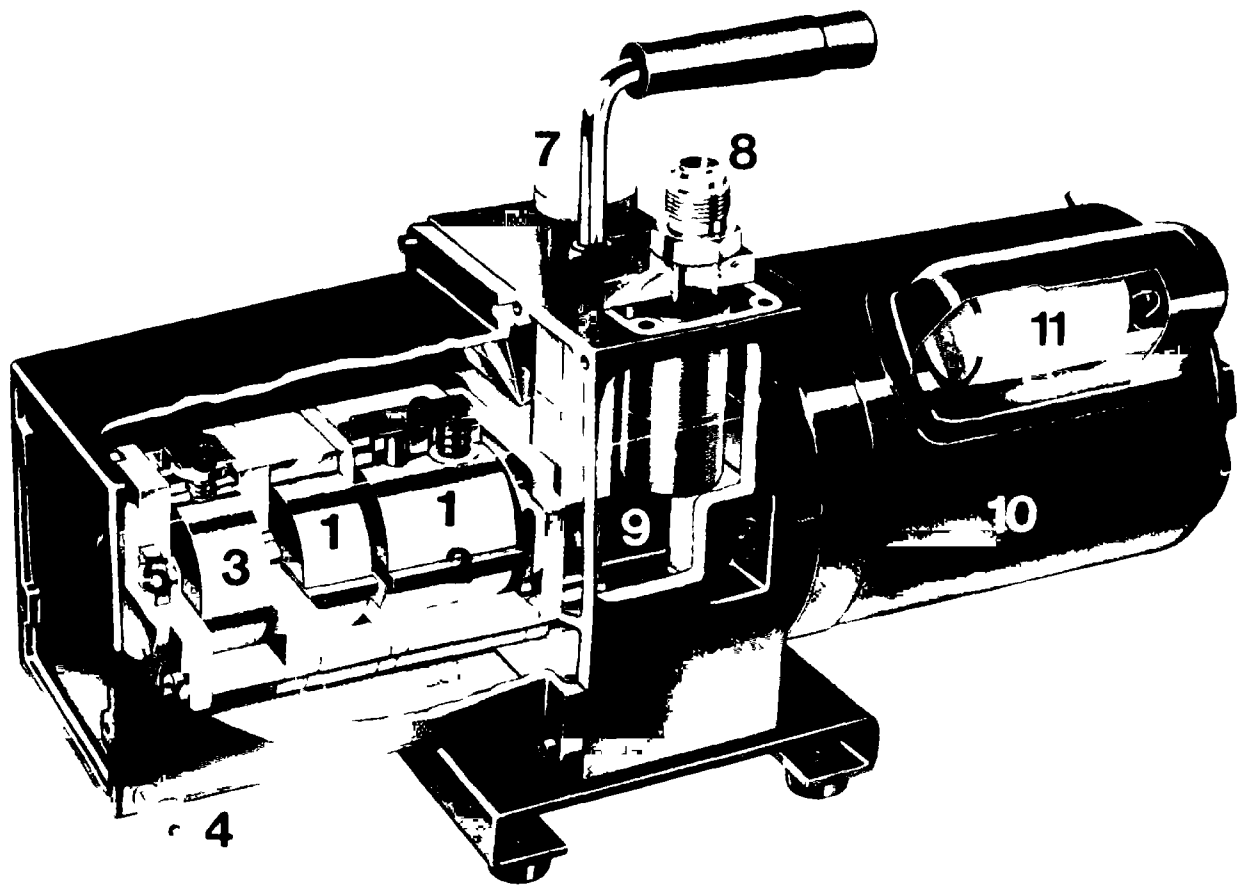


Рисунок 6.5. Двухступенчатый вакуумный насос на трех роторах в сечении.

Наличие подобного остаточного давления, измерение которого производится на всасывающем штуцере насоса, необходимо для обеспечения наличия приемлемого уровня разряжения, в том числе в удаленных местах контура, и, следовательно, обеспечения условий для быстрого и протекающего при температуре среды испарения остатков воды. Уровень разряжения, превышающий 50 мкм рт. ст., является хорошим показателем для линии монтажа холодильных систем, в то время как значения в 350–500 мкм рт. ст. допустимы, когда прочистка производится на месте эксплуатации с использованием переносных вакуумных насосов или устройств для загрузки. Необходимо производить установку манометра для считывания величины разряжения как можно дальше от вакуумного насоса. Измерение уровня разряжения в холодильном контуре должно производиться в условиях отключения контура от самого насоса. Еще одной важной мерой предосторожности является отключение контура и уменьшение создаваемого насосом разряжения (например, путем ослабления затяжки подсоединения гибких шлангов) перед отключением насоса, в противном случае масло насоса может быть вновь вытянуто в контур.

Приемлемые уровни разряжения могут быть получены в установке за относительно короткое время, если применяются переносные двухступенчатые вакуумные насосы с мощностью, соответствующей характеристике установки, и используется два шланга подсоединения, между насосом и системой, с общим сечением, равным сечению всасывающего штуцера насоса. Один из шлангов подсоединяется со стороны низкого давления системы, другой — со стороны высокого давления. При осушении холодильный контур можно разогреть для сокращения времени на проведение операции.

При достижении разряжения 350–500 мкм рт. ст. на всасывающем штуцере насоса обеспечивается полное испарение и удаление остатков воды, которые обычно труднее всего вывести из контура.

Герметичные и полугерметичные компрессоры никогда не должны включаться при пустой установке, так как двигатель компрессора охлаждается всасываемым газообразным холодильным агентом, а при пустом холодильном контуре охлаждение двигателя становится невозможным, что приведет к его перегреву и очень скорому выходу из строя.

Переносные устройства для создания разряжения и зарядки контура являются ценным подспорьем при монтаже промышленных установок и при ведении технического обслуживания всех холодильных систем от самых малых (домашние холодильники) до промышленных образцов средней мощности. Они по сути, представляют собой тележки, на которых смонтирован вакуумный насос, емкость для зарядки контура со шкалой в граммах, группы манометра с тремя штуцерами (на каждом из них имеется по манометру, мановакуумометру и гибкие трубки). Емкость для зарядки контуров представляет собой прозрачный цилиндр с несколькими шкалами в граммах (каждая из шкал соответствует тому или иному типу холодильного агента) и позволяет оценить изменения массы холодильного агента всего на 25 грамм.

Тройная эвакуация

Так называемая «тройная эвакуация», о которой уже упоминалось, позволяет в приемлемый срок подготовить установку к заправке достаточно большого объема холодильного агента с использованием вакуумных насосов относительно небольшой мощности. Сначала в установке создается разряжение порядка 1500 мкм рт. ст., затем закачивается азот или ангидрид азота до давления, несколько выше нулевого показателя манометра, после этого вакуумирование повторяется второй раз, и, наконец, производится вакуумирование до 500 мкм рт. ст.

Предположим, что при каждом вакуумировании извлекается 98% загрязнений, тогда по окончании третьего цикла вакуумирования остаток составит $0{,}02 \times 0{,}02 \times 0{,}02 = 0{,}000008$ (т. е. 8 ppm), что является абсолютно приемлемой величиной содержания загрязнений в контуре.

Нарушение разряжения

Перед отключением вакуумного насоса по достижении предусмотренного уровня разряжения необходимо перекрыть шланги подсоединения насоса к установке для того, чтобы не допустить возврата в нее атмосферного воздуха.

Сразу же за этим производится так называемое «нарушение разряжения» путем ввода жидкого холодильного агента непосредственно со стороны высокого давления установки. Эта операция позволяет избежать попадания некоторого количества жидкого холодильного агента в картер компрессора, приводящего к его смешиванию с маслом. Введенный в контур со стороны высокого давления холодильный агент вызывает закрытие выпускного клапана компрессора поршневого типа (который таким образом выполняет функцию сдерживающего клапана), расширяется через ТРВ или капиллярную трубку и достигает клапана всасывания компрессора в виде пара. В установках большой мощности контур ставится под давление путем добавления ангидрида азота или «сухости» (как указано в разделе «Продувка и проверка надежности работы контура»).

В зависимости от типа установки местом ввода жидкого холодильного агента может быть вспомогательный штуцер фильтра-осушителя (герметичные системы без вспомогательных кранов), вентиль на всасывании или нагнетательный вентиль компрессора. Нет необходимости ожидать спонтанного прекращения поступления холодильного агента (что могло бы иметь место при достижении равенства давлений в установке и в баллоне), поскольку маловероятно, что при выключенном компрессоре можно ввести в установку полное количество требуемого холодильного агента. Поэтому целесообразно прервать заправку при достижении определенного значения давления на манометре в зависимости от ти-

па холодильного агента и условий среды. Дозаправка должна быть произведена после запуска компрессора. На этой стадии ввод холодильного агента производится со стороны всасывания до достижения нормального уровня заправки.

Продувка и проверка надежности работы контура

Продувка производится после затяжки всех соединений и открытия основных линий контура для обнаружения возможных утечек жидкого холодильного агента из установки вследствие недостаточной плотности соединений. Продувка установок малой мощности осуществляется путем ввода из вспомогательного баллона холодильного агента в газообразном состоянии того же типа, что используется и для окончательной загрузки.

Обычно ввод холодильного агента в газообразном состоянии производится путем расположения баллона с жидким холодильным агентом в обычном вертикальном положении с краном вверху; переливание жидкости производится простым опрокидыванием баллона.

Для соединения баллона с холодильным контуром можно использовать блок манометра с его шлангами: один — между баллоном и блоком манометра, два других — от блока манометра к системе (один подсоединяется со стороны низкого давления, другой — со стороны высокого); это также дает возможность дозировать давление при проверке с помощью манометра.

В установках большей мощности продувка производится с использованием небольшого количества холодильного агента в газообразном состоянии, достаточного для того, чтобы довести давление внутри контура до 2,5 бар, с последующим повышением его до 12 бар путем закачки сухого азота или углекислоты из баллонов, оснащенных редуктором давления и аварийным клапаном, калиброванным на 15 бар. Аварийный клапан, установленный на металлической трубке подсоединения баллона к установке, должен исключить возможность достижения давления, опасного для некоторых компонентов установки.

Сухой азот или углекислый газ поставляются в баллонах под высоким давлением, поэтому необходимо принять некоторые меры предосторожности на этапе подготовительной работы, в частности, закрепить баллон в вертикальном положении во время заправки. Не существует каких-либо запретов в связи с возможностью попадания азота или углекислого газа в атмосферу при проведении работ на холодильном контуре: действительно, атмосферный воздух состоит на 78% из азота, а углекислый газ также является компонентом обычного воздуха.

Использование технических газов под давлением, отличным от давления азота и углекислоты, должно быть полностью исключено. Например, кислород под большим давлением может взорваться при контакте со смазкой.

Наличие некоторого количества холодильного агента в смеси необходимо для определения наличия возможных утечек с помощью течеискателя.

Очистка контура после сгорания двигателя одного из компрессоров

В случае сгорания эл. двигателя фильтр на линии всасывания служит барьером от загрязнения контура. Он препятствует распространению загрязняющих кислот на другие участки установки, кроме того, он уменьшает количество загрязняющих веществ в контуре после демонтажа компрессора.

Раньше при сгорании двигателя компрессора контур промывался R-11. В настоящее время применение этого холодильного агента запрещено, так как признано его разрушительное влияние на озоновый слой. Следовательно, возникает потребность в использовании других способов очистки. Основные изготовители компрессоров рекомендуют применять метод установки фильтров-осушителей с соответствующим элементом как на линии жидкости, так и на линии всасывания.

Подобная процедура очистки холодильных контуров, используемая с недавнего времени на тысячах холодильных установках, при ее правильном проведении исключает возможность появления негативных последствий. Помимо этого она более экономичная по сравнению с другими, особенно тогда, когда имеется возможность обеспечить сбор холодильного агента из контура. Вдобавок, эта методика является единственной, позволяющей добиться полной очистки контура в установках с холодильными линиями большой длины и с несколькими испарителями.

Для правильного выбора фильтра необходимо учитывать два обстоятельства:

— максимальные потери производительности на фильтре при нормальном функционировании должны находиться в пределах, допустимых для используемого компрессора;
— штуцера фильтра-осушителя должны иметь тот же диаметр, что и на линии, к которой они подключаются.

Для глубокой очистки холодильного контура достаточно должным образом выполнить следующие операции.

1. Если в компрессоре имеются краны, их необходимо закрыть для изоляции контура. Собрать холодильный агент с использованием стандартных приспособлений без потерь. Снять сгоревший компрессор и установить новый.
2. Взять образец масла из компрессора и перелить его в стеклянный флакон на 60 см^3: он понадобится для сравнения по итогам произведенной очистки.
3. Если в компрессоре имеются краны, освободить его от холодильного агента с применением описанных выше процедур. Остальная часть контура остается изолированной, после эвакуации открыть краны компрессора, закрыть клапан на линии жидкости и все другие перекрывающие движение клапаны, способные уменьшить количество холодильного агента во время вакуумирования испарителя (pump-down). Хотя при проведении этой операции часть загрязняющих элементов проходит через компрессор, это не является для него вредным ввиду краткости требуемого времени функционирования. Загрязнения будут впоследствии удалены фильтрами-осушителями.
4. Проверить все системы безопасности установки: ТРВ, соленоидные клапаны, клапаны сдерживания, клапаны инверсии и пр. Прочистить или заменить их при необходимости. Заменить все фильтры-осушители, установленные ранее, и прочистить или заменить все сетчатые фильтры. Установить определитель влажности хорошего качества, если его нет на контуре.
5. Установить фильтр-осушитель необходимого объема на линии всасывания и второй, с запасом, на линии жидкости.
6. Если в компрессоре нет кранов, установить разряжение в контуре по ранее описанной методике. Проверить и заменить фильтры-осушители, как указано выше, и осуществить загрузку собранного холодильного агента. Добавить при необходимости требуемое количество холодильного агента.
7. Запустить компрессор и установку. Так как при накоплении загрязнений в фильтре-осушителе потери давления на нем возрастают, необходимо проверить давление на фильтре-осушителе через 4 часа, желательно с помощью блока манометра, чтобы избежать ошибок при считывании значений. Если падение давления превышает предельные значения, допускаемые изготовителем, фильтр-осушитель необходимо заменить и запустить установку.
8. Произвести прогон установки в течение 48 часов, затем проверить цвет и запах масла. По возможности провести анализ содержания кислоты в масле. Если в масле присутствует кислота или имеется едкий запах, а индикатор влажности сигнализирует о наличии влаги в контуре выше нормы, заменить фильтры-осушители или их гильзы. Масло компрессора можно заменить, если принимается такое решение в целях предосторожности. Произвести прогон установки в течение 48 часов и повторить операции проверки, перечисленные выше. Повторять цикл до тех пор, пока масло не будет чистым, без запаха, и его цвет практически не будет отличаться от ранее взятого образца.
9. Заменить фильтр-осушитель на линии жидкости на фильтр с емкостью, соответствующей норме. Снять фильтр-осушитель с линии всасывания и заменить его обычным механическим фильтром.
10. После окончания процедуры очистки проверить состояние установки через две недели, чтобы убедиться, что условия ее функционирования являются удовлетворительными.

Проблемы смазки

Почти в каждой модели холодильной установки компрессоры должны иметь защитные системы на случай недостаточного количества смазки. Чаще всего в качестве таких систем используются дифференциальное реле давления масла и электронный предохранитель. Вне зависимости от типа устройства, их срабатывание в случае недостаточного количества смазки может быть вызвано самыми разными причинами (смотри Главу 4).

Компрессоры поставляются изготовителем с требуемым количеством смазки. В полугерметичных компрессорах почти всегда имеется смотровое стекло уровня масла, величина требуемого уровня масла указывается в документации изготовителя и должна проверяться в момент запуска, а также через определенные интервалы времени, указанные в инструкции по эксплуатации. Если уровень масла не просматривается, это означает, что масла слишком мало или слишком много, в обоих случаях срабатывает аварийный манометр. При недостатке масла действия очевидны; во втором случае необходимо объяснение: когда масла слишком много, может возникать турбулентность в картере с понижением давления. Та же картина наблюдается также тогда, когда масло смешивается с холодильным агентом или холодильный агент остается в нижней части картера, а масло располагается на его поверхности. Какова бы ни была причина явления, проблема решается путем добавления либо слива масла, в зависимости от необходимости.

Чаще всего встречаются следующие проблемы, связанные со смазкой:

— выход насоса из строя вследствие частых циклов запуска/остановки компрессора. Количество таких циклов не должно превышать 10–12 в час; если частота циклов превышает этот показатель, в холодильный контур из компрессора масла поступает больше нормы. Масло выталкивается из компрессора при запуске и за короткий период функционирования не успевает вернуться в компрессор через линию всасывания. Вследствие этого возникают неисправности, связанные с недостатком смазки;
— ошибочный выбор диаметров трубок. При проектировании установки необходимо учитывать, что весь контур изнутри покрывается пленкой масла; вязкость масла меняется в зависимости от температуры, поэтому в контуре может оказаться большее количество масла, чем предусмотрено проектом;
— слишком низкая скорость движения газа. Скорость движения газа по контуру установки меняется в зависимости от температуры и термической нагрузки; при малой нагрузке скорость движения газа может оказаться недостаточно высокой для обеспечения возврата масла в компрессор;
— ошибки в проектировании и изготовлении системы возврата масла;
— ошибки в расположении трубок. При проектировании линии всегда необходимо придерживаться инструкций изготовителя компрессора;
— утечки на линии.

При продолжительной эксплуатации проблемы в системе смазки приводят к поломкам основных движущихся частей компрессора.

Обычно компрессор защищен от длительного понижения давления масла дифференциальным реле давления, которое, однако, не в состоянии определить кратковременные и повторяющиеся случаи недостатка смазки. В этом случае наилучшим средством защиты компрессора является установка электронных аварийных прессостатов, которые смогут определить любые отклонения давления масла от нормы. Некоторые изготовители предлагают поставить подобные устройства как дополнительное оборудование под заказ.

Типичным симптомом поломки масляного насоса является износ дальнего подшипника компрессора вследствие недостаточного количества масла, в то время как ближний подшипник получает нормальную смазку.

Разбавление масла

При остановке компрессора в масле всегда имеется некоторое количество холодильного агента, объем которого зависит от температуры в компрессоре и давления в картере. Например, для R-22 с давлением 8,03 бар, соответствующим температуре насыщения 22°C, в картере должна находиться смесь, состоящая из 35% R-22 и 65% масла (рисунок 6.6). Резкое понижение давления при запуске приводит к испарению холодильного агента, отделяющегося от масла. В результате образуется пена, которую можно увидеть через смотровое стекло, установленное в компрессоре. Масляный насос, всасывающий слишком разбавленное масло с пеной, не в состоянии обеспечить необходимое давление для нормальной смазки различных компонентов установки. Если такая ситуация повторяется часто, это может привести к износу подшипников. Для того, чтобы не допустить этой опасности, целесообразно установить подогрев картера и/или провести цикл внешней продувки (pump-down).

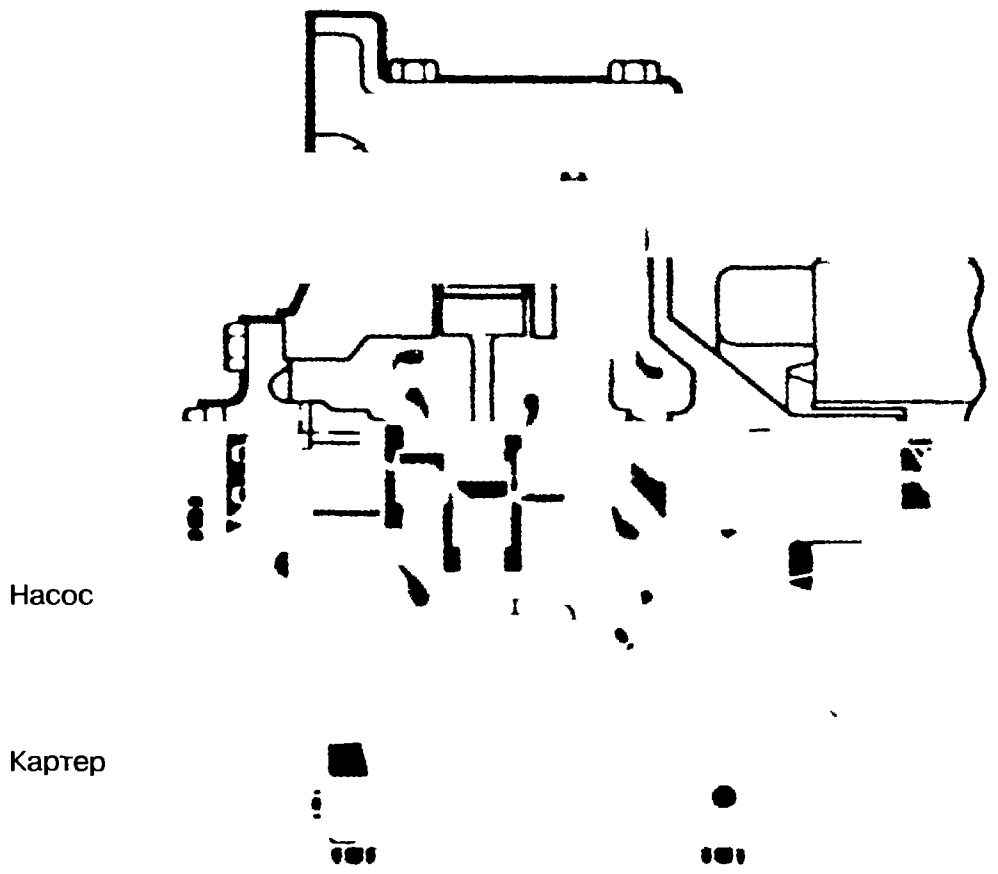


Рисунок 6.6. План картера полугерметичного компрессора Внутри находится смесь холодильного агента и масла.

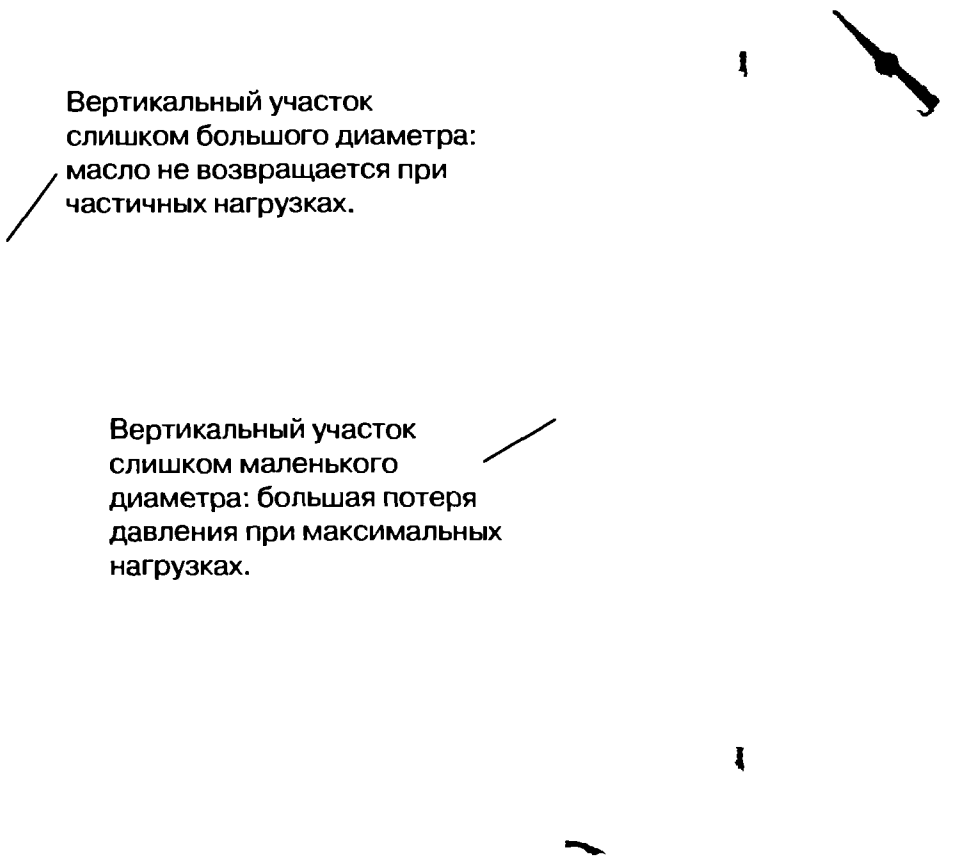


Рисунок 6.7. Ошибочный выбор размеров холодильных линий: слишком большой диаметр вертикального участка линии делает невозможным нормальный возврат масла в компрессор; наоборот, маленький диаметр вертикального участка вызывает слишком большое падение давления.

Холодильные линии

Если масло не возвращается в компрессор в необходимом количестве, то причинами этого могут быть ошибки в проектировании или выборе мощности холодильной линии. С этой точки зрения линия

всасывания является наиболее критическим участком. Она должна быть наклонена в сторону компрессора и иметь диаметр, позволяющий обеспечить минимальные падения давления и скорость движения газа, достаточную для перемещения масла. Если диаметр линии слишком велик, скорость движения газообразного холодильного агента становится недостаточно высокой для перемещения масла в вертикальных участках контура, что приводит к неполному возврату масла в компрессор (рисунок 6.7).

Циркуляция масла в холодильном контуре должна быть свободной для того, чтобы обеспечить стабильный приток его к компрессору. Если диаметр линии меньше нормы, происходит увеличение потерь давления в контуре, и компрессор начинает работать на повышенных режимах (повышенное давление подачи, повышенное потребление электроэнергии, опасность перегрева).

Отстойники и вертикальные участки

Отстойники (маслоподъемные петли) для сбора масла должны устанавливаться у основания каждого вертикального участка контура или «подъема» размером более 0,9–1,2 м (рисунок 6.8). Для больших величин «подъемов» маслоподъемные петли должны быть смонтированы через каждые 6 м. Хорошо также размещать отстойник на выходе из испарителя, если линия всасывания идет вверх, на уровень, выше него. Таким образом, отстойник способствует свободному выходу масла из испарителя.

Функция отстойников заключается в облегчении возврата масла в компрессор. Действительно, скопление масла во внутреннем контуре отстойника снижает сечение прохождения газа и, как следствие, увеличивает его скорость. Это приводит к возникновению турбулентности, разбивающей скопившееся масло на мелкие капли, легко перемещаемые газом по вертикальному участку контура.

Очень важно не монтировать отстойники в несоответствующих местах, когда линия должна обогнуть препятствие, поскольку в них задерживается масло. Линия между испарителем и входом в компрессор должна быть по возможности прямой.

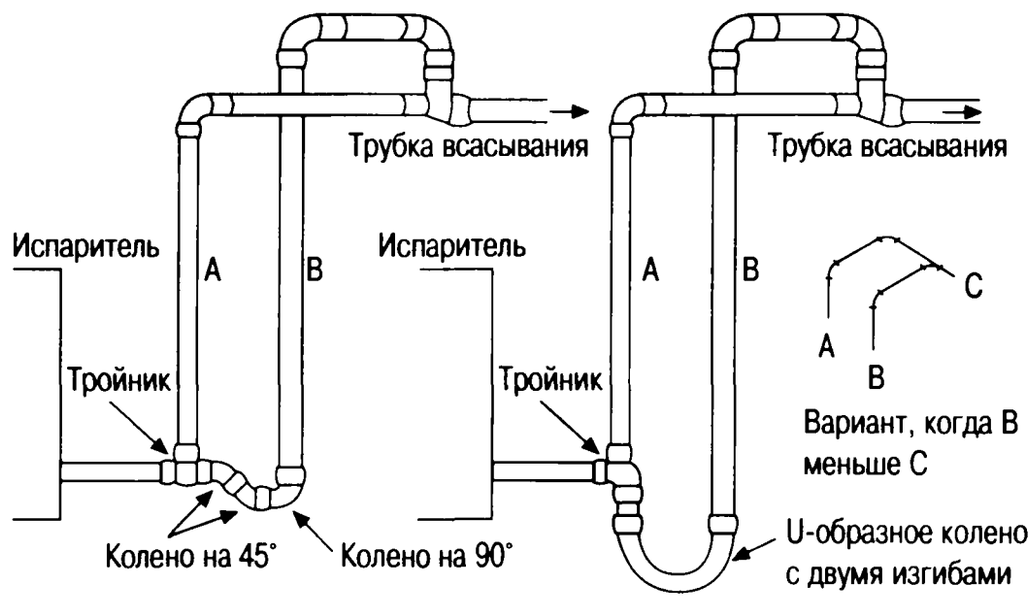


Рисунок 6.8. Примеры монтажа отстойников сбора масла на холодильной линии

Балансировка контура

Каждый холодильный контур после его установки и запуска должен быть хорошо сбалансирован. Для обеспечения необходимого перегрева газа на выходе из испарителя необходимо отрегулировать терморегулирующий вентиль: при недостаточном перегреве смеси он может дойти до компрессора в жидком состоянии с легко предсказуемыми последствиями; наоборот, при излишнем перегреве — скорость движения газа к компрессору может оказаться слишком маленькой и давление на участке всасывания будет низким. Слишком низкая скорость движения, как уже говорилось, может помешать нормальному перемещению масла.

Перегрев газа, всасываемого компрессором, должен составлять от 5 до 15 °С (при использовании в установках для кондиционирования воздуха); эти значения могут, тем не менее, изменяться в зависимости от протяженности холодильной линии и условий эксплуатации.

Негативное влияние на функционирование установки могут оказывать также распределитель холодильного агента и соответствующее находящееся внутри него сопло.

Миграция холодильного агента

Миграция холодильного агента, особенно в холодные ночи, происходит в связи с разницей давления между двумя секциями установки. Например, если компрессорно-конденсаторный блок находится снаружи, а испарительная секция — в помещении, то при выключенной установке компрессор в течение ночи остывает быстрее, чем другие части контура, и холодильный агент начинает мигрировать

в его сторону от более разогретого испарителя (рисунок 6.9) При запуске установки утром происходит ускоренное расширение холодильного агента в картере, что приводит к закипанию смеси масла с холодильным агентом, образованию пены и ухудшению смазки.

Миграцию холодильного агента можно прекратить, включая подогреватель картера компрессора при каждой остановке, но самой эффективной системой является проведение цикла продувки (pump-down). Для этого на линии жидкости необходимо установить соленоидный клапан, закрывающийся при отключении установки; компрессор продолжает функционировать, всасывая холодильный агент из испарителя (и аккумулируя его в конденсаторе) до его остановки за счет срабатывания реле низкого давления. Продувка (pump-down) гарантирует периодическую очистку испарителя и предупреждает миграцию холодильного агента к компрессору.

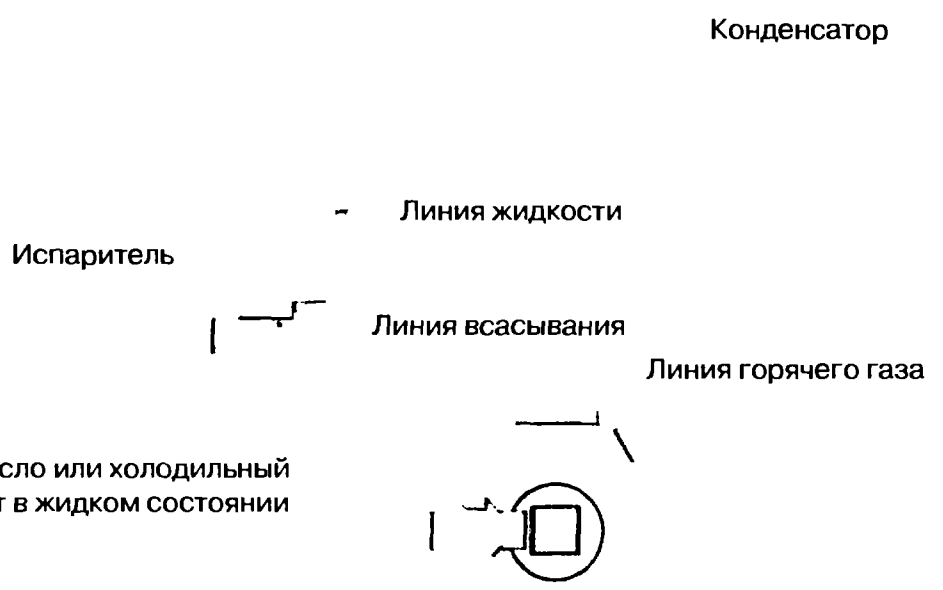


Рисунок 6.9. Миграция холодильного агента в сторону компрессора, где он конденсируется

Проблемы, связанные с работой компрессора

При работе компрессора могут возникать проблемы, способные привести к срабатыванию аварийного реле давления масла. Эти проблемы были рассмотрены в Главе 4, разделе «Давление при недостаточном количестве масла».

Серьезные трудности могут возникать вследствие частых циклов запуска/остановки компрессора. В подобных условиях компрессор на выходе отдает масла больше, чем получает на входе, что рано или поздно неизбежно приводит к срабатыванию аварииного реле давления. В этих случаях необходимо найти причину неравномерного функционирования установки и принять соответствующие меры.

Резюме

— Масло должно возвращаться в компрессор в том же объеме, в котором оно из него выходит.
— При недостатке масла, прежде чем осуществлять долив, необходимо проверить контур для обнаружения причин недостачи. Кроме возможных утечек или других непредвиденных обстоятельств, не должно быть причин для долива масла в нормально функционирующую установку.
— При доливе масла в новые установки требуется особая осторожность: в большинстве случаев компрессоры поставляются с количеством масла, достаточным для многометровых линий.
— Все устройства регулировки и безопасности должны быть правильно откалиброваны: реле низкого и высокого давления, устройство контроля функционирования вентилятора конденсатора (fan cycling), термостат и пр. В свою очередь, все клапаны, влияющие на изменение давления в установке, должны быть проверены. Если установка неправильно отрегулирована и не откалибрована, возможны непредусмотренные срабатывания аварийного реле давления масла.
— Иногда холодильный агент становится настолько загрязненным или смешанным с другими компонентами, что его уже невозможно регенерировать, в этих случаях он должен быть утилизирован путем сожжения в центрах утилизации, имеющих необходимые разрешения.

Затопление установок

Причиной затопления холодильных установок могут быть природные явления (наводнения, паводки) или ошибки при эксплуатации (нарушение линий гидравлики). Электрическое оборудование — двигатели, компрессоры и прочее — является в этих случаях наиболее чувствительным в плане дальнейшего использования.

После схода воды и устранения возможного сора и грязи, необходимо произвести проверку всего затопленного электрооборудования.

Первым правилом является недопущение попыток запуска установки. Электрооборудование должно быть сразу же отсоединено от сети, если это не было сделано ранее.

Что касается компрессоров холодильных систем, то здесь, при помощи вольтметра, прежде всего необходимо установить наличие напряжения между клеммами, и между клеммами и землей.

Перед открытием компрессор необходимо полностью изолировать от остальной части контура путем перекрытия кранов на подаче и на всасывании. Затем при помощи соответствующего устройства надо собрать холодильный агент, содержащийся в компрессоре. Ни в коем случае нельзя открывать компрессор до достижения равенства давления в компрессоре и атмосферного давления. При демонтаже компрессора необходимо по очереди ослабить гайки, чтобы стравить возможно имеющееся в компрессоре избыточное давление.

Если при проверке установлено, что давление в контуре равно нулю, возможно, имеется разрыв контура, через который холодильный агент вытек, уступив место воде.

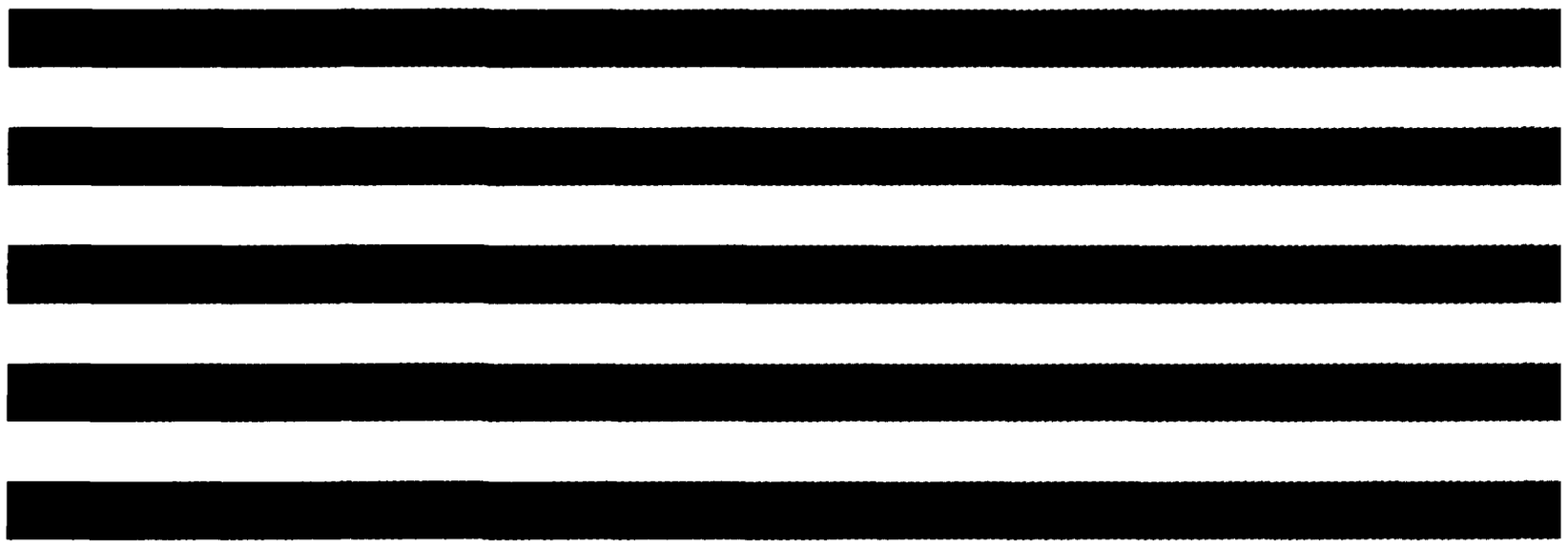
Если вода проникла в компрессор, его необходимо заменить, а если только в контур — необходимо заменить следующие внешние электроприборы:

— возможно имеющиеся вне компрессора плавкие предохранители;
— твердотельные устройства для защиты двигателя;
— устройства защиты контура смазки (дифференциальное реле давления масла);
— устройства контроля за обеспечением частичного или ограниченного расширения;
— контактные группы;
— электропроводку компрессора;
— любое другое устройство контроля и безопасности;
— реле системы запуска;
— все конденсаторы.

В герметичных компрессорах необходимо также демонтировать и зачистить блоки клемм, демонтировать электропроводку компрессора и тщательно зачистить клеммы с использованием растворителей для контактных групп электроприборов. Необходимо также заменить резин-феноловый корпус контактных групп, имеющийся на некоторых типах компрессоров.

Если же работы ведутся на компрессоре полугерметичного типа, специалист по холодильным установкам должен демонтировать и зачистить весь блок клемм, заменив как плату с основными, так и плату со вспомогательными клеммами.

ГЛАВА 7



Эксплуатация холодильных установок

Утечка холодильного агента 79
Засорение фильтра-осушителя 80
Загрязнение установки 80
Снижение эффективности работы компрессора 81
Соленоидные клапаны 81
Клапаны термостатического расширения (ТРВ) 81
Неполадки, связанные с работой термостатов и реле давления 82
Электровентиляторы 82
Наличие воздуха в холодильных контурах 82
Загрязнение конденсаторов 82
Регулировка холодильного агента в контурах 82
Холодный запуск и подогреватель картера 83
Регулировка давления конденсации 85
Регулировка подачи воздуха 85
Установка компрессорно-конденсаторных блоков внутри 86
Изменение емкости конденсатора методом затопления 86
Удаление наледи с внешних батарей 87
Удаление наледи горячим газом 87
Удаление наледи электричеством 89
Управление циклом удаления наледи 89
Функционирование при высоких внешних температурах 90
Разница температур 91
Охлаждение электродвигателей 91
Влияние соотношения давлений 93
Подгорание масла 93

Существует несколько важных правил, которые следует соблюдать для правильной эксплуатации холодильной установки. Они основываются, главным образом, на имеющемся опыте и могут быть поразному сгруппированы в контексте планирования технического обслуживания.

Ниже приводится краткий перечень основных правил. Не следует полагать, что нем содержится вся необходимая информация по ведению технического обслуживания холодильных установок, однако в нем даны основные ориентиры по проведению соответствующих работ.

1. Хорошее знание обслуживающим персоналом принципа действия установки, а также основных рабочих показателей отдельных частей оборудования. Эти знания необходимы также для правильного составления заявок на запасные части изготовителю установки и позволяют обслуживающему персоналу в случаях необходимости быстро принимать решения.
2. Соблюдение специальных нормативов, относящихся ко всем элементам установки. Необходимо обращать особое внимание на применение положений соответствующих публикаций. Для рационализации системы технического обслуживания необходимо заполнить справки по ведению технического обслуживания на различные элементы оборудования с указанием сроков проведения проверок и выполнения работ по их техническому обслуживанию с соблюдением временных показателей, предусмотренных различными изготовителями оборудования.
3. Обновление рабочих схем холодильной установки, электрооборудования и систем гидравлики для проведения срочных и своевременных работ специальным обслуживающим персоналом. Смотри также Главу 3.
4. Внесение соответствующих данных (давление, температура, текущие значения потребления электроэнергии электродвигателями и пр.) в соответствующие табели машины, которые помогут, даже по истечении значительных периодов, проанализировать функционирование установки.
5. Периодические проверки изоляции для обнаружения обледенений или даже промокания или наличия капель; периодический контроль наличия возможных утечек холодильного агента (CFC, HCFC, HFC, аммиака и пр.), утечек воды из контура гидравлики и затяжки креплений.
6. Хороший уровень и достаточное количество обслуживающего персонала для конкретной установки. Для габаритных установок обычно необходимо использовать персонал, имеющий специализированную квалификацию по отдельным направлениям (электрики, механики, специалисты по холодильным установкам).
7. Наличие соответствующего обычного и специального оборудования: под обычным оборудованием понимается набор устройств для ведения текущего технического обслуживания различных агрегатов, имеющихся на установке; под специальным — специальные устройства, как экстракторы, металлическая арматура и пр., необходимые для работ на отдельных агрегатах, не входящих в программу текущего технического обслуживания. Рекомендуется заказывать указанное специальное оборудование, часто поставляющееся вместе с агрегатами, непосредственно у соответствующих изготовителей.

Выполнение выше перечисленных правил позволяет обеспечить надежное и правильное функционирование установки. Тем не менее, в ходе эксплуатации установки возможны непредвиденные и единичные неполадки. Ниже приводится перечень наиболее часто встречающихся неполадок такого рода с указанием возможных путей их устранения.

Утечка холодильного агента

Утечка холодильного агента — обычное явление, особенно на новой установке. Она может возникнуть вследствие вибрации, приводящей к разрыву трубок и ослаблению болтов, или по другим причинам, связанным с более или менее резким изменением температуры, вызывающим расширение или сокращение элементов системы, утечки через перекрывающие клапаны и пр. Поэтому, особенно на новой установке, рекомендуется по возможности ежедневно производить проверку герметичности контура с использованием соответствующих устройств для обнаружения утечек.

Определить утечку холодильного агента можно при помощи смотрового стекла: при функционировании установки в рабочем режиме в смотровом стекле не должны появляться пузырьки газообразного холодильного агента. Определить утечку, кроме визуальной оценки через индикатор прохождения смеси,

можно по следующим признакам: слабая производительность холодильной установки, слишком низкое давление всасывания относительно предусмотренного и пр.

При возникновении вышеприведенных признаков, после устранения причин утечки, производится дозаправка холодильного агента. Если после проведения указанных проверок утечки жидкого холодильного агента не прекратились, возможным местом утечек может быть конденсатор водяного охлаждения. Для того, чтобы это проверить, закрываются входной и выходной водяные краны и производится слив жидкости из конденсатора в подходящую емкость. Когда конденсатор очищен от жидкости, краны закрываются примерно на час, затем при помощи течеискателя вводится зонд в открытый для этого верхний кран.

Если течеискатель устанавливает наличие утечки, необходимо снять крышки конденсатора, прочистить его головки и проверить герметичность с использованием течеискателя трубка за трубкой, на зажимных муфтах и в самих трубках. Если утечка возникла на зажимных муфтах трубок, можно попытаться отремонтировать муфту. Если утечка вызвана разрывом трубки, ее надо заменить, трубка должна быть заменена также и тогда, когда не удается устранить утечку на муфте.

Если в одной или нескольких трубках имеется внутренняя утечка, и заменить их сразу же невозможно, можно попробовать устранить утечку, закрыв трубку с двух концов металлическими пробками, по форме и размеру соответствующими диаметру трубки. Можно также исключить несколько трубок из контура, обращая в то же время внимание на то, чтобы не допустить чрезмерного сокращения площади конденсации. В любом случае при замене трубок необходимо отключить конденсатор и слить холодильный агент. Проводить работы должен специализированный персонал.

Засорение фильтра-осушителя

Засорение фильтра-осушителя определяется по непостоянному режиму функционирования испарителя, по повышающейся или не достигающей установленных значений температуре в отсеке камер, по непостоянной и ниже нормы температуре испарения. Неполадка устраняется путем замены фильтрующего элемента, иногда неоднократной, в течение нескольких часов.

Влага может проникать в холодильный контур по разным причинам. Самыми распространенными являются: вскрытие контура в связи с проведением работ, наличие мест утечек в контуре или в компрессоре, если он работает с величинами давления ниже атмосферного (CFC-11), недостаточный уровень разряжения в установке при первой заправке его холодильным агентом.

Для смены гильзы фильтра сначала закрывается его верхний вентиль, потом нижний. Затем осторожно ослабляется крышка фильтра, производится быстрая смена сушильной гильзы (молекулярной сетки) и фильтр закрывается.

Перед затяжкой необходимо выпустить воздух, открыв на мгновение сверху или снизу фильтра запорный вентиль, затянуть до упора крышку, открыть верхний вентиль и проверить течеискателем герметичность. Если утечек не обнаружено, открывается также нижний вентиль фильтра.

При невозможности отключить установку во время проведения этих работ, задействуется обводной вентиль фильтра.

Загрязнение установки

Наличие загрязнений может привести к засорению фильтров. Обычно это происходит на начальном периоде работы установок, так как несмотря на тщательную прочистку контура при монтаже оборудования, остается возможность отделения стружки и оксидов металла от трубок под действием газа.

Засорение фильтра можно установить по обледенению самого фильтра, а также короткого участка ниже него. Кроме того, температура всасывания опускается ниже нормы. Неполадка устраняется путем прочистки фильтров соленоидных клапанов и термостатических клапанов.

Бывает, что по этой же причине засоряется также отстойник сепаратора масла. Сепаратор масла, если имеется, расположен на линии подачи компрессора, между ним и конденсатором. Он служит для от-

деления масла и имеет специальный дренажный отстойник (на поплавке) для автоматического возврата масла в картер компрессора, с которым имеется соединение.

Если обнаружено, что уровень масла в компрессоре не поддерживается, и возникает необходимость в его частых доливах, это означает, что что-то не в порядке: может быть, компрессор перекачивает масла больше нормы вследствие износа или поломки эластичных сегментов и маслосборника, и сепаратор не может извлечь все масло, либо не работает дренажный отстойник, и в сепараторе скапливается масла больше нормы. В этом случае необходимо прежде всего произвести проверку дренажного отстойника и затем, при необходимости, перейти к рассмотрению других причин неполадки.

Непостоянство рабочего режима и несрабатывание отстойника обычно возникают из-за наличия загрязнений, чаще всего окисленного железа, частицы которого отделяются от внутренних стенок установки и скапливаются на дне. Неполадка может быть также вызвана неисправностью поплавка (прокол) или блокировкой механических приводов, что также может быть вызвано наличием загрязнений. Поэтому следует снять устройство для проверки и при необходимости заменить его. Для этого надо сначала отключить компрессор и удалить газ, находящийся в сепараторе. Вакуум для удаления попавшего при демонтаже воздуха создается вакуумным насосом.

Снижение эффективности работы компрессора

Если производительность установки ниже нормы, в то время как все ее компоненты исправны, причину следует искать в работе компрессора. Возможно наличие следующих неисправностей:
— засорен всасывающий фильтр компрессора;
— вышел из строя внутренний клапан всасывания или подачи, или оба одновременно;
— износились или сломались эластичные сегменты;
— заблокированы или сломаны регуляторы мощности на всасывающих клапанах;
— неисправны соленоидные клапаны регуляторов мощности.

Соленоидные клапаны

Соленоидные клапаны установлены ниже фильтров и выше термостатических клапанов и клапанов регулировки и пр. Здесь могут возникнуть следующие неполадки:
— сгорела катушка соленоидного клапана;
— блокировка вследствие внутреннего засорения в открытом или закрытом положении;
— неплотное закрытие из-за износа ложа или скопления загрязнений вследствие выхода из строя защитного фильтра.

Если сгорела катушка, достаточно ее заменить, не демонтируя ничего другого. Работа установки будет остановлена лишь на время работ по замене.

Если клапан остается в закрытом состоянии, то сильно снижается производительность работы. Клапан переохлаждается и покрывается инеем в нижней части.

Если выходит из строя ложе клапана, или он блокируется в открытом состоянии, наблюдается:
— снижение температуры испарения ниже установленного значения;
— при отключенной установке жидкость продолжает течь, затопляя батарею.

Подобного затопления следует избегать, поскольку оно вызывает возврат жидкости в компрессор, что легко может привести к серьезным неисправностям.

Клапаны термостатического расширения (ТРВ)

В клапанах термостатического расширения могут возникнуть следующие неисправности:
— раскалибровка самих клапанов;
— выход из строя чувствительного элемента (термостатической колбы) с потерей части или всего заряда;
— выход из строя сопла и/или капиллярной трубки.

В первом случае следует откалибровать клапан, во остальных — заменить.

Неполадки, связанные с работой термостатов и реле давления

В холодильной установке неполадки, связанные с работой термостатов и реле давления, могут произойти вследствие раскалибровки, окисления их контактов или вследствие поломки чувствительного элемента или утечки.

Несмотря на то, что в некоторых случаях можно провести ремонт, чаще всего рекомендуется произвести замену всего устройства, особенно в целях обеспечения надежности и четкости функционирования.

Электровентиляторы

Неисправности этих агрегатов могут быть связаны со сгоранием двигателей, что происходит нечасто; в большинстве случаев подобные неисправности возникают вследствие сгорания или отключения предохранителей в силовых цепях и цепях управления, которые могут вызвать остановку электровентиляторов из-за перегрузки.

Наличие воздуха в холодильных контурах

При функционировании холодильной установки в рабочем режиме «нормальными» можно признать значения давления и температуры, при которых температура конденсации превышает температуру воды на входе в конденсатор на 8–10°C (конденсатор с водяным охлаждением), а максимальная разница температуры воды, циркулирующей в конденсаторе, на входе и на выходе составляет 4–5°C.

Условия нормальной работы возможны, если конденсатор чистый, количество циркулирующей в нем воды соответствует норме, в контуре отсутствуют неконденсируемые элементы (обычно вода).

Если разница температур «вода-конденсация» превышает 8–10°C, возможно, что в контуре присутствуют неконденсируемые газы (воздух). Неконденсируемые элементы должны быть удалены с использованием соответствующих приемов обслуживания холодильных установок.

Загрязнение конденсаторов

При появлении загрязнений внутри конденсаторов могут произойти изменения рабочего режима установки, схожие со случаем наличия воздуха в контуре.

Для определения наличия загрязнений в конденсаторе достаточно проверить температуру воды на входе и выходе. При наличии загрязнений разница температур воды на входе и выходе будет уменьшаться из-за того, что слой загрязнений, образовавшийся между трубками конденсатора, снижает теплообмен между газообразным холодильным агентом и водой. Можно произвести проверку с уменьшением количества циркулирующей воды. При сохранении значений и их малым отклонением от предыдущего измерения, конденсатор, безусловно, загрязнен. Для его механической очистки необходимо отключить его от контура, перекрыв на входе и выходе каналы воды и холодильного агента. Затем надо слить воду, снять две головки, прочистить трубки ершиком и промыть их до чистоты. Возможно применение и методов химической очистки с привлечением специализированных фирм.

Регулировка холодильного агента в контурах

Холодильные установки и установки для кондиционирования воздуха с конденсаторами воздушного охлаждения и летом, и зимой должны контролировать поступление жидкого холодильного агента в испаритель при самых разных значениях температуры внешней среды (рисунок 7.1). Объем проходящего по капиллярным трубкам и клапанам термостатического расширения холодильного агента пропорционален разнице давления на них. Это обуславливает возникновение критических ситуаций на линии при низких температурах внешней среды, когда давление конденсации может значительно сни-

зиться, если не предусмотрена необходимая система контроля. Действительно, при слишком низком давлении конденсации снижается объем прохождения холодильного агента до опасно низких величин, и батарея испарителя может обледенеть; кроме того, могут происходить частые запуски/остановки компрессора, возврат жидкого холодильного агента в компрессор и другие явления, способные привести к возникновению неисправности.

Для обеспечения удовлетворительного функционирования при низких температурах внешней среды существует несколько решений, каждое из которых имеет как положительные, так и отрицательные стороны. При повышенной температуре внешней среды возникают проблемы другого рода, также приводящие к возникновению неисправности в случае неверной эксплуатации. Поскольку могут возникнуть оба случая, необходимо уделить внимание этому вопросу и принять соответствующие меры предосторожности для обеспечения нормальных условий эксплуатации установки в разное время года.



Рисунок 7.1. Установка конденсаторов с воздушным охлаждением в компьютерном зале. Функционирование запланировано на весь год, поэтому условия функционирования оборудования должны учитывать пиковые значения летних и зимних температур.

Холодный запуск и подогреватель картера

Когда компрессор работает при низких температурах внешней среды, на всех холодильных установках рекомендуется использовать подогреватель картера (рисунок 7.2).

Подогреватель картера снижает миграцию жидкости в картере при остановке компрессора, а также разогревает содержащееся внутри масло. В кондиционерах roof-top, подверженных воздействию низких температур и холодных ветров, масло может стать настолько вязким, что компрессор окажется не в состоянии обеспечить достаточно высокое давление. Из-за этого возникает опасность блокировки холодного запуска установки вследствие срабатывания дифференциального реле давления масла.

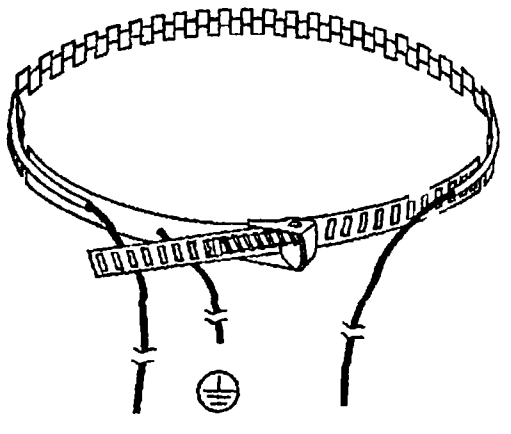
Иногда температура бывает настолько низкой, что при запуске не создается достаточного для подачи жидкого холодильного агента в испаритель давления. Из-за этого в холодильном контуре возникает опасность создания в течение нескольких секунд вакуума, что приводит к срабатыванию реле низкого

давления с остановкой компрессора. Если реле давления откалибровано на такие малые величины давления, которые вызывают остановки компрессора, то не обеспечивается нормальная защита контура. Кроме того, реле давления не может использоваться при циклах продувки (pump-down).

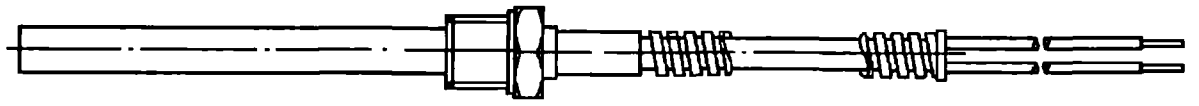
При появлении этих обстоятельств рекомендуется использовать реле низкого давления с замедлителем; последний на некоторое время задерживает срабатывание реле давления. За это время давление в контуре может достичь требуемых значений, позволяющих обеспечить нормальное функционирование установки. И наоборот, если замедлитель подключается во время операции продувки (pump-down), возникает опасность создания в контуре избыточного вакуума до того, как сработает прессостат, вызывая остановку компрессора.

Вторым возможным решением является использование электрического нагревателя, установленного в контакте с поверхностью изолированной емкости для жидкости. Внутри емкости должна сохраняться температура 5–7°C для обеспечения поступления газообразного хладагента в компрессор при запуске. Управление нагревателем может осуществляться термостатом.

а)



б)



в)

Рисунок 7.2. Различные модели подогревателей картера компрессоров· а) кольцевой подогреватель для компрессоров scroll и герметичных; б) модель с погружением для полугерметичных компрессоров; в) показана установка подогревателя в картере полугерметичного компрессора.

Регулировка давления конденсации

Для всех холодильных систем с воздушной конденсацией — автономных конденсаторов roof-top, водоохлаждающих машин, установок split средне-большой мощности и пр. — при функционировании в зимний период необходимо обеспечивать нормальный режим перемещения жидкого холодильного агента от конденсатора к испарителю при значительных изменениях условий (смотри также Главу 15, раздел «Регулировка давления конденсации» и последующие).

При функционировании холодильной установки с воздушным охлаждением при температуре внешней среды ниже 10°C необходимо постоянно принимать меры предосторожности, чтобы не допустить снижения температуры конденсации ниже нормы, так как обычные устройства регулировки подачи холодильного агента (капиллярные трубки и терморегулирующие вентили) калиброваны под дифференциальное давление при прохождении через них холодильного агента. Поэтому, если температура конденсации уменьшается, пропорционально уменьшается также подача жидкого холодильного агента к испарителю. Вследствие этого давление испарения может еще более понизиться и вызвать опасность появления поломок или нарушения режима функционирования: возврат жидкости в компрессор, частые запуски/остановки, обледенение испарителя и, наконец, сгорание самого компрессора.

Для регулировки давления конденсации могут применяться различные методы, каждый из которых имеет как свои преимущества, так и недостатки.

Регулировка подачи воздуха

Регулировка подачи воздуха, проходящего через конденсатор, является самым распространенным методом на установках для кондиционирования воздуха и при правильном его применении позволяет обеспечить контроль за давлением конденсации. Существуют различные варианты применения этого метода, имеющие столь же разные последствия.

Самым простым приемом (fan cycling) является остановка и запуск вентилятора конденсатора по команде реле высокого давления, установленного на линии нагнетания. При уменьшении давления конденсации ниже определенного уровня реле дает команду на остановку вентилятора, когда давление вновь поднимается до определенного установленного значения, вентилятор опять запускается. Однако могут быть резкие скачки давления конденсации (рисунок 7.3), что приводит к регулировке расхода жидкости со стороны терморегулирующего вентиля и со стороны капилляра. Fan cycling может

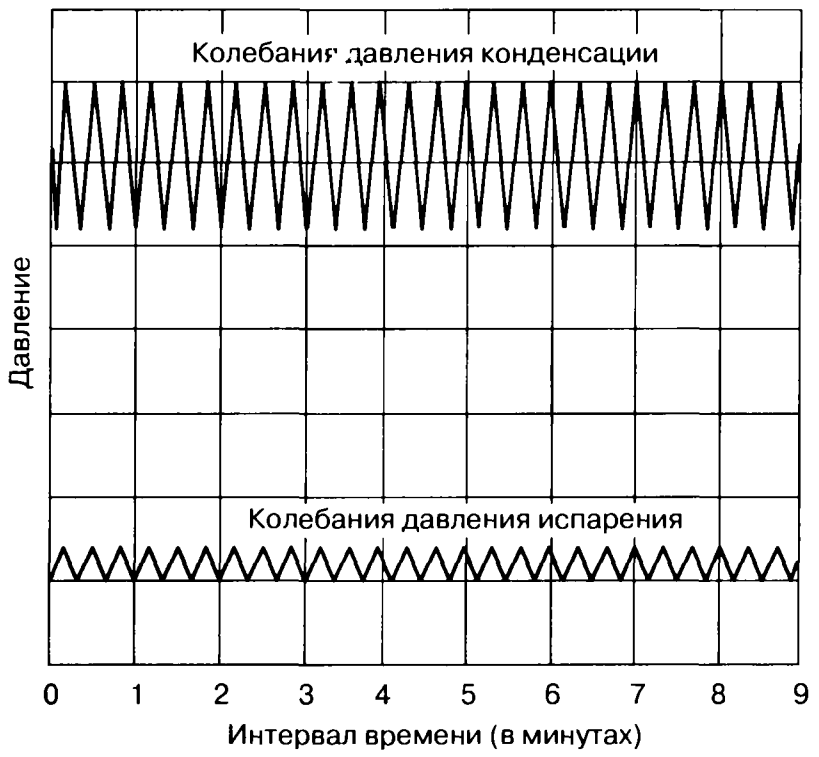


Рисунок 7.3. Влияние контроля запуска/остановки вентилятора (fan cycling) на давление конденсации и испарения в холодильной группе.

использоваться на средне-малых установках, где колебания температуры внешней среды не являются такими резкими, например, в установках по созданию комфорта, которые могут быть задействованы даже в начале весны или осени, но не зимой. В больших установках, а также когда температура воздуха, поступающего в конденсатор, опускается ниже –5°С, более целесообразно использовать другие системы контроля, например вентиляторы с изменяемой скоростью вращения, регулируемой электронным устройством.

Как уже говорилось ранее, иногда возникает опасность, когда конденсатор не обеспечивается минимальным объемом воздуха на входе, рекомендованным изготовителем, поэтому полная остановка вентиляторов может оказаться недопустимой по технике безопасности. В установках и агрегатах, использующих для охлаждения конденсаторов несколько вентиляторов, для регулирования давления конденсации может применяться поочередная остановка отдельных вентиляторов. А управление последним вентилятором должно осуществляться в режиме fan-cycling по причинам, указанным выше. Однако, если этого требуют условия функционирования, он может быть оснащен устройством плавного регулирования оборотов.

Нельзя также недооценивать значения защиты от ветра: даже если вентилятор остановлен, батарея может испытывать влияние ветра, особенно в ветреные дни. В этих случаях почти всегда проявляются аномалии в распределении жидкого холодильного агента вследствие низкой температуры конденсации, возникшей под воздействием ветра. В этом случае вокруг батарей необходимо установить экраны защиты от ветра. В случае необходимости и тогда, когда это возможно, для снижения подачи воздуха могут использоваться также механически выдвигаемые заслонки, движение которых управляется давлением холодильного агента.

Установка компрессорно-конденсаторных блоков внутри

Установка компрессорно-конденсаторных блоков внутри, в специальном помещении, особенно эффективна в больших магазинах и в других случаях одновременного использования большого количества компрессоров. Тепло, производимое при работе компрессоров и батарей конденсаторов, приводит к повышению температуры воздуха в помещении даже в холодные дни. Достаточно точный контроль температуры воздуха может быть обеспечен при помощи термостата, подающего команду на открытие и закрытие механических заслонок, ограничивающих забор внешнего воздуха, и нескольких вытяжных вентиляторов. Таким образом обеспечивается практически постоянная температура конденсации. Недостатком этой системы является необходимость в значительном пространстве для установки компрессорно-конденсаторных блоков. Тем не менее, помимо обеспечения равномерности работы, такой метод позволяет добиться значительно большей энергетической эффективности в продолжение всего зимнего периода.

Изменение емкости конденсатора методом затопления

Этот метод заключается в частичном затоплении конденсатора жидким холодильным агентом для того, чтобы уменьшить площадь теплообмена, обеспечивающего конденсацию холодильного агента. То есть сокращается полезная площадь конденсатора на треть или половину, в зависимости от условий функционирования. Затопление конденсатора производится с использованием специальных клапанов, действие которых зависит от давления самого жидкого холодильного агента. Эти клапаны являются обводными (bypass) в отношении подачи компрессора и позволяют поддерживать постоянное давление конденсации (рисунок 7.4).

В нормальных условиях обводной клапан остается закрытым, и холодильный агент свободно поступает в конденсатор.

Затопление конденсатора позволяет обеспечить правильное регулирование и поддержание постоянной температуры конденсации. Тем не менее, этот метод требует увеличения количества холодильного агента, что может потребовать увеличения объема емкости для сбора жидкого холодильного агента. Кроме того, дозировка загрузки должна производиться очень точно: если жидкости для затопления конденсатора не хватает, обводной клапан горячего газа может остаться открытым, создавая серьезные трудности для функционирования терморегулирующего вентиля; и наоборот, количество жидкости выше нормы, может сделать невозможным произведение продувки (pump-down) установки и изолировать холодильный агент внутри конденсатора и емкости для сбора.

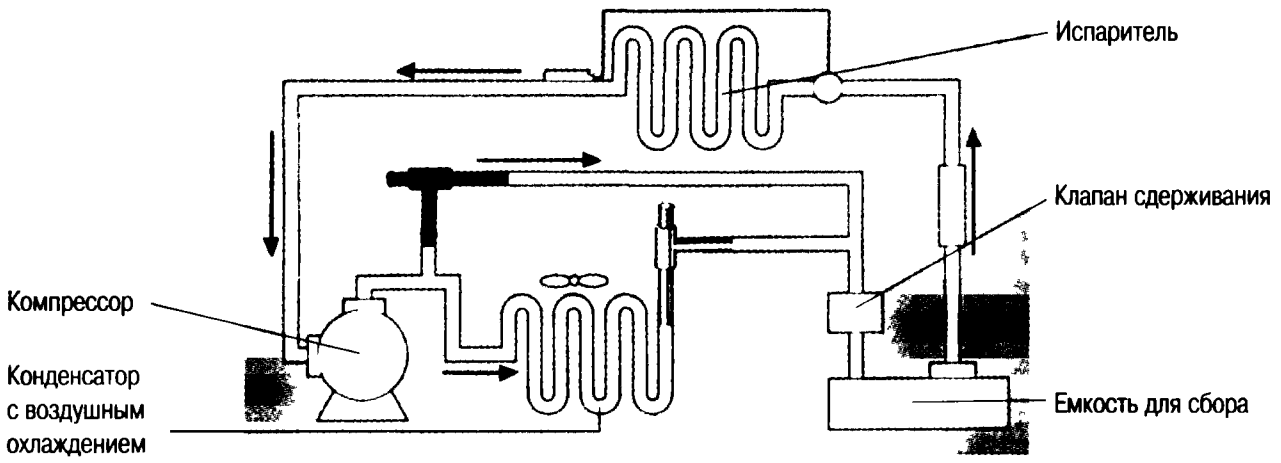


Рисунок 7.4. Схема контура затопления конденсатора с воздушным охлаждением в условиях низких температур внешней среды, поддерживающего установленное давление конденсации. Часть газа на подаче компрессора может обойти конденсатор, направляясь к емкости для сбора.

Для учета увеличения количества холодильного агента при затоплении конденсатора почти во всех случаях рекомендуется использование системы pump-down для защиты компрессора от миграции холодильного агента и гидравлических ударов при запуске.

В действительности системы pump-down являются необходимыми во всех типах агрегатов с воздушным охлаждением и мотоконденсатных элементах, где компрессор и линия всасывания подвержены воздействию низких температур внешней среды. Только pump-down может действительно обеспечить нормальный режим холодного запуска, даже в очень суровых условиях, и предотвратить миграцию жидкого холодильного агента в компрессор.

Удаление наледи с внешних батарей

В тепловых насосах и в холодильных установках, когда температура испарения опускается до −1°C и ниже, неизбежно появление инея на батарее испарителя. Для обеспечения нормального функционирования установки наледь необходимо снять. По мере образования наледи на батарее испарителя снижается поступление потока воздуха, что вызывает дальнейшее понижение температуры испарителя, приводящее к ускорению образования наледи. Если не использовать соответствующих устройств для снятия наледи, возникает опасность срабатывания реле низкого давления, приводящего к остановке агрегата. В исключительных случаях наледь может возникнуть на внутренней поверхности батареи со всеми вытекающими очевидными последствиями для установки.

Сегодня наиболее распространенными методами снятия наледи на батареях являются использование *горячего газа* и *электричества*. Это эффективные методы, однако оба имеют негативное влияние на компрессор.

Опыт показывает, что основной причиной поломок компрессора является избыточный возврат жидкого холодильного агента. В промышленных установках процесс снятия наледи является основной причиной возникновения наибольших проблем с контролем движения жидкости.

Удаление наледи горячим газом

Метод заключается в пропускании через испаритель определенного количества горячего газа из компрессора с использованием отводного клапана или обратного цикла, как поступают с тепловыми насосами в зимнее время (рисунок 7.5). Разогретый газ, проходящий через батарею, приводит к таянию инея, скапливающегося на внешней поверхности (рисунок 7.6). У этого метода есть большие преимущества и положительные оценки специалистов, однако при его применении не устраняется опасность, о которой уже говорилось: разогретый газ, охлаждаясь, переходит в жидкое состояние и может быть возвращен в компрессор лишь в незначительном дозируемом объеме.

Тепло, вырабатываемое двигателем, может испарить только небольшое количество жидкости; большое ее количество может привести к возникновению неисправности. Чем больше размер компрессора и всей установки, тем серьезней эта проблема. Когда жидкость возвращается в количестве, достаточном

для смывания смазки с подшипников, возможно возникновение других опасностей Это может привести к «обману» аварийного прессостата, поскольку масляный насос будет не в состоянии поддерживать определенное давление. Последствия такого положения легко себе представить.

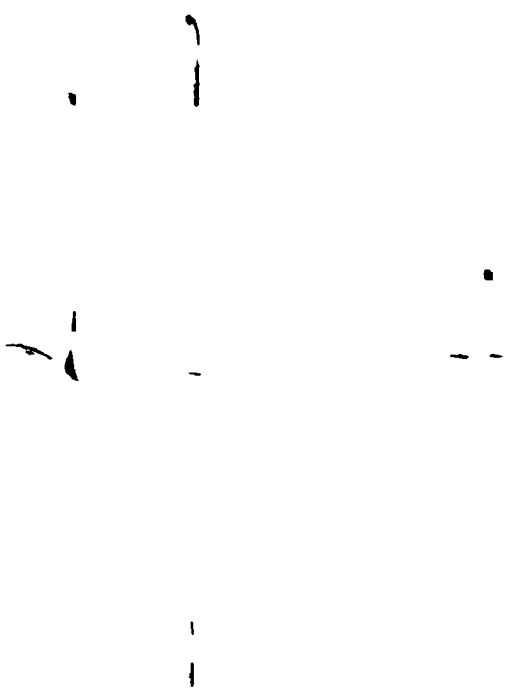


Рисунок 7.5. Четырехходовой клапан, используемый для обратного холодильного цикла на тепловых насосах.

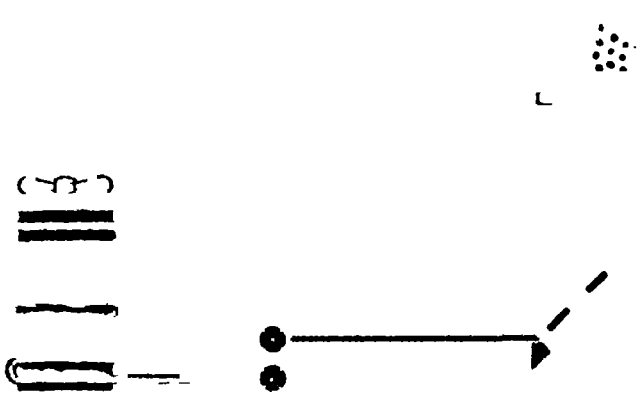


Рисунок 7.6. Схема операции удаления наледи с внешней батареи разогретым газом в двухсекционном холодильном контуре.

В тепловых насосах малой мощности недопущение возврата жидкости обеспечивает установка накопителя на линии всасывания, отделяющая и повторно испаряющая капли жидкости, захватываемые газом (рисунок 7.7). В холодильных установках используются другие пути решения проблемы. Один из них заключается в установке источника нагрева для испарения жидкости до ее возврата в компрессор. В холодильных установках больших магазинов, состоящих из нескольких контуров с несколькими испарителями, одновременно производится снятие наледи лишь на нескольких из них: сконденсированная жидкость направляется к продолжающим работать испарителям.

В большинстве установок, на которых производится снятие наледи горячим газом, за исключением тепловых насосов, имеется только по одному накопителю на линии всасывания. В этих случаях сама установка накопителя также не является оптимальным решением в долгосрочном плане, в частности, для установок больших размеров, работающих на низких температурах.

Необходимо, наконец, подчеркнуть, что при отсутствии системы повторного испарения жидкости ресурс компрессора значительно сокращается.

Рисунок 7.7. Накопитель на линии всасывания в разрезе. Можно увидеть, что трубка подачи газа открыта, а трубка возврата имеет U-видную форму. На дне имеется штуцер для возврата масла.

Удаление наледи электричеством

Удаление наледи при использовании этого метода производится соответствующими элементами или кабелями электронагрева, налагаемыми на батарею разными способами. В этом случае также сохраняется возможность опасности, связанной с контролем за уровнем жидкого холодильного агента. В холодильных установках решение проблемы обеспечивается проведением цикла продувки (pump-down) для удержания холодильного агента в конденсаторе и емкости для сбора. Если не проводить pump-down, необходимо установить по меньшей мере один соленоидный клапан на линии жидкости, который следует закрыть при проведении операций по удалению наледи. В любом случае на линии всасывания необходимо установить накопитель, способный удержать холодильный агент, который может оставаться в испарителе.

При использовании этого метода может возникнуть особая ситуация, когда во время стаивания испаритель под воздействием кабелей электронагрева, подведенных к батарее, становится более нагретым, чем линия всасывания. Тогда, из-за разницы давлений, находящаяся в нем жидкость может направиться в линию всасывания в сторону компрессора с последующим его затоплением при запуске. Даже если жидкость не выходит из испарителя, почти невозможно избежать ее некоторого просачивания из горячего испарителя по окончании операции по удалению наледи, по крайней мере, до тех пор, пока установка не заработает в нормальном режиме.

Управление циклом удаления наледи

В тепловых насосах типа «воздух-воздух» или «воздух-вода» для управления циклом удаления наледи обычно применяется система, основывающаяся на двух параметрах: температуры на поверхности внешней батареи и времени с момента предыдущего цикла удаления наледи. Температура на поверхности батареи определяется датчиком, а время, прошедшее с момента предыдущего цикла, — таймером. С большим или меньшим успехом, в зависимости от «интеллектуальных возможностей» устройства, цикл удаления наледи проводится только в случае реальной необходимости, так как каждая установка для удаления наледи является высоко энергоемкой и требует остановки работы линии.

В холодильных установках обычно применяются другие методы. Одним из них является использование датчиков контроля потока, чувствительных к скорости движения воздуха. Следует подчеркнуть, что их использование может привести к возникновению опасности возврата масла в установках, не рассчитанных на этот метод. Действительно, датчик потока воздуха срабатывает только при скоплении на испарителе достаточно большого количества наледи, в зависимости от условий, это может происходить с разной периодичностью: от нескольких часов до нескольких дней.

Во многих установках на низких температурах часть циркулирующего масла постепенно скапливается при функционировании установки в испарителе и на линии всасывания, поскольку скорость движения холодильного агента часто является недостаточной для его подачи в компрессор. Обычно это не приводит к большим проблемам, поскольку при проведении цикла удаления наледи скорость движения газообразного холодильного агента возрастает, и остающееся масло переносится в испаритель. Если цикл удаления наледи производится часто и с нужной периодичностью, в компрессоре сохраняется достаточно высокий уровень масла, несмотря на некоторое его скапливание между двумя циклами. Однако при использовании датчиков потока воздуха циклы удаления наледи производятся менее часто, поэтому возникает опасность удаления большей части масла из компрессора с его скапливанием в испарителе перед очередным циклом удаления наледи. Последствием этого может оказаться недостаточная смазка компрессора. Для предупреждения этой опасности необходимо правильно выбрать тип испарителя и спроектировать линию всасывания для обеспечения достаточно высокой скорости движения газа для перемещения всего объема масла к компрессору. Если это невозможно, при продолжительных промежутках времени между двумя циклами удаления наледи целесообразно использовать сепаратор масла (рисунок 7.8).

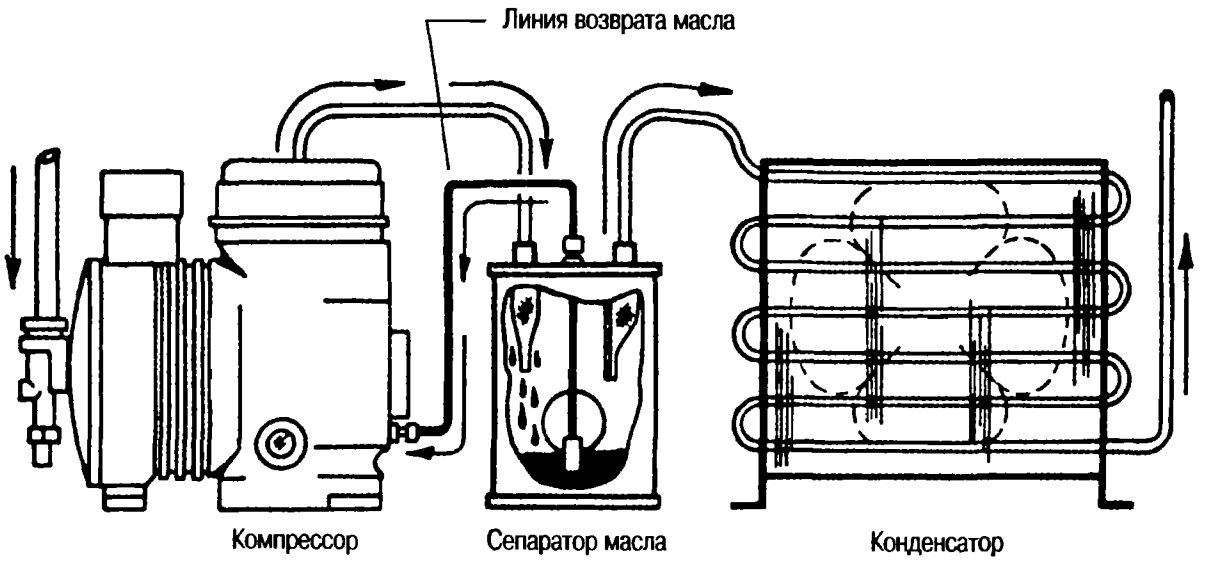


Рисунок 7.8. Сепараторы масла для холодильных установок. В модели, показанной в разрезе, виден сетчатый фильтр, удерживающий капли масла, падающие затем под действием силы гравитации на дно, где может быть расположен клапан с поплавком. Через специальный штуцер масло возвращается в компрессор. Показана схема установки.

Функционирование при высоких внешних температурах

В России редко сталкиваются с работой при высоких температурах внешней среды, поэтому часто недооценивают их влияние на компрессоры холодильных установок, учитывая лишь некоторое понижение производительности работы установки. В действительности же, высокие температуры могут часто возникать локально вследствие особых условий монтажа линии. В большинстве случаев агрегаты *(компрессорно-конденсаторные блоки и холодильные группы с воздушным охлаждением) расположены на крышах, покрытых черными смоляными составами, где могут возникать условия, соответствую-*

щие работе при высоких температурах внешней среды. Это является следствием солнечного излучения, когда при отсутствии ветра слой воздуха в 50–100 см от уровня крыши может прогреться до значительно более высокой температуры, иногда на 10–15°С, чем окружающий воздух. В результате, при температуре воздуха 30–32°С температура нижнего слоя воздуха на крыше может достигать 40–45°С. В этих условиях могут возникнуть гораздо более опасные проблемы функционирования оборудования, чем простое снижение производительности. При остановке системы в результате срабатывания термостата повторный запуск установки может оказаться невозможным вследствие срабатывания реле высокого давления, или оно может сработать после запуска, приводя к остановке системы, не говоря уже о том, что даже если повторный запуск прошел успешно, компрессор начинает испытывать гораздо большие нагрузки, чем при нормальных условиях.

При высоких температурах внешней среды необходимо обращать особое внимание на выбор компрессора и регулировку режимов его работы. Следует избегать монтажа агрегатов на поверхностях, покрытых черными смоляными составами: применение даже простых приемов при строительстве (посыпка белым гравием достаточно большой зоны в месте расположения агрегатов) может способствовать снижению перегрева окружающего воздуха.

Разница температур

Самой уязвимой частью установки, подверженной воздействию высокой температуры внешней среды, является конденсатор. При заданном давлении конденсации, чем выше температура конденсации, тем больше коэффициент компрессии и тем выше температура воздуха на подаче. В общем плане, при наличии высоких температур внешней среды, в зависимости от области применения, опытные изготовители компрессоров рекомендуют выдерживать специальные значения разницы температуры конденсации и температуры внешнего воздуха:

— высокая температура (кондиционирование воздуха), от 10 до 13°С;
— средняя температура (холодильная установка для свежих продуктов), от 7 до 10°С;
— низкая температура (холодильная установка для продуктов глубокой заморозки), от 5,5 до 7,5°С.

Поддержанию приемлемой температуры масла в компрессоре способствует направление на него прямого потока воздуха, в то же время рекомендуется поддерживать на минимальном уровне перегрев всасываемого газа на входе в компрессор. В критических ситуациях может оказаться необходимым изолировать линию всасывания.

Охлаждение электродвигателей

Появление неполадок в однофазных эл. двигателях напрямую связано с нагрузками при запуске ввиду низкого напряжения питания и высоких значений разницы давлений. Поэтому во всех однофазных поршневых компрессорах рекомендуется использовать дополнительные устройства для запуска.

В свою очередь, выбор типа компрессора является определяющим для продолжительности и надежности его функционирования. Конструкции компрессоров бывают очень различными: поршневые герметичные, компрессоры scroll и полугерметичные компрессоры; эти отличия заметно влияют как на цену, так и на рабочие показатели.

С точки зрения функционирования компрессора самым важным отличительным показателем является его способность перерабатывать тепло окружающего воздуха. Полугерметичные, поршневые или винтовые компрессоры имеют эл. двигатель, находящийся в непосредственном контакте с корпусом самого компрессора, поэтому передача тепла на внешнюю поверхность облегчена; еще более важным является тот факт, что головки поршневых компрессоров, где газ выпускается из цилиндров при высокой температуре, находятся непосредственно в помещении (рисунок 7.9). Аналогичную конструкцию имеют и винтовые компрессоры, где двигатель также находится в контакте с корпусом компрессора (рисунок 7.10).

В герметичном же запаянном компрессоре как двигатель, так и корпус компрессора полностью окружены газообразным холодильным агентом, и имеет место очень незначительная теплопроводность металл-металл с внешней средой (рисунок 7.11). Вследствие этого больший процент вырабатываемого тепла снимается непосредственно холодильным агентом, находящимся в газообразном состоянии.

В компрессорах scroll, в зависимости от фирмы-изготовителя и модели, могут быть установлены, как и в полугерметичных компрессорах, как эл. двигатели, находящиеся в контакте с внешней оболочкой, *(рисунок 7.12), так и изолированные от внешней среды с использованием для их охлаждения холодильного агента. Во втором случае некоторые изготовители оборудования располагают эл. двигатель таким* образом, чтобы понизить температуру нагрева обмоток.

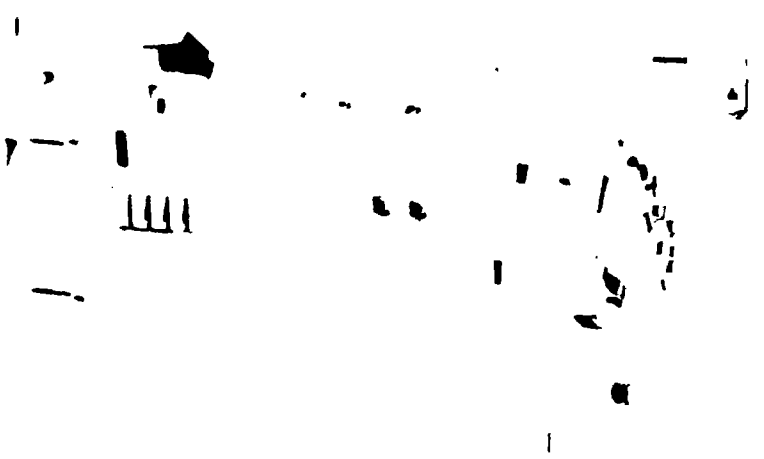


Рисунок 7.9. В полугерметичных компрессорах электродвигатель находится в прямом контакте с корпусом компрессора, что способствует передаче тепла во внешнюю среду; головки также передают тепло в окружающий воздух.



Рисунок 7.10. Одновинтовой компрессор в разрезе. Электродвигатель находится в прямом контакте с корпусом компрессора, что способствует передаче тепла во внешнюю среду.



Рисунок 7.11. Поршневой герметичный компрессор в разрезе. Двигатель и корпус компрессора не находятся в прямом контакте с оболочкои и выработанное тепло переходит главным образом на холодильный агент.



Рисунок 7.12. Компрессор scroll в разрезе. В этой модели двигатель, расположенный в нижней части, находится в прямом контакте с оболочкой и может эффективно отдавать тепло во внешнюю среду.

При эксплуатации установок в зонах с высокой температурой внешней среды переработка тепла является наиболее уязвимым участком в работе компрессора, поэтому важно проявлять осторожность в выборе рабочего режима установки. Это относится в большей степени к герметичным компрессорам, чем к полугерметичным и к компрессорам scroll. Несмотря на то, что пользователь зачастую заинтересован в установлении предельной для компрессора температуры, обеспечить это не так просто, поскольку не менее важно и то, как долго компрессор должен функционировать в подобных тяжелых для него условиях. Например, ресурс компрессора может соответствовать предусмотренным показателям продолжительности работы даже при условии работы на предельных режимах в течение многих часов, если большую часть времени он будет функционировать с меньшей нагрузкой. Если же работа на предельных режимах осуществляется постоянно и продолжительно, рабочий ресурс компрессора существенно сокращается. В таких условиях не следует ожидать достижения проектных показателей рабочего ресурса, рассчитанных на нормальные условия функционирования.

Влияние соотношения давлений

Критические условия температурного режима почти никогда не возникают при работе с максимальной нагрузкой, а возникают в связи с повышением значений соотношения давлений, являющихся следствием высокой температуры конденсации и низкой температуры испарения.

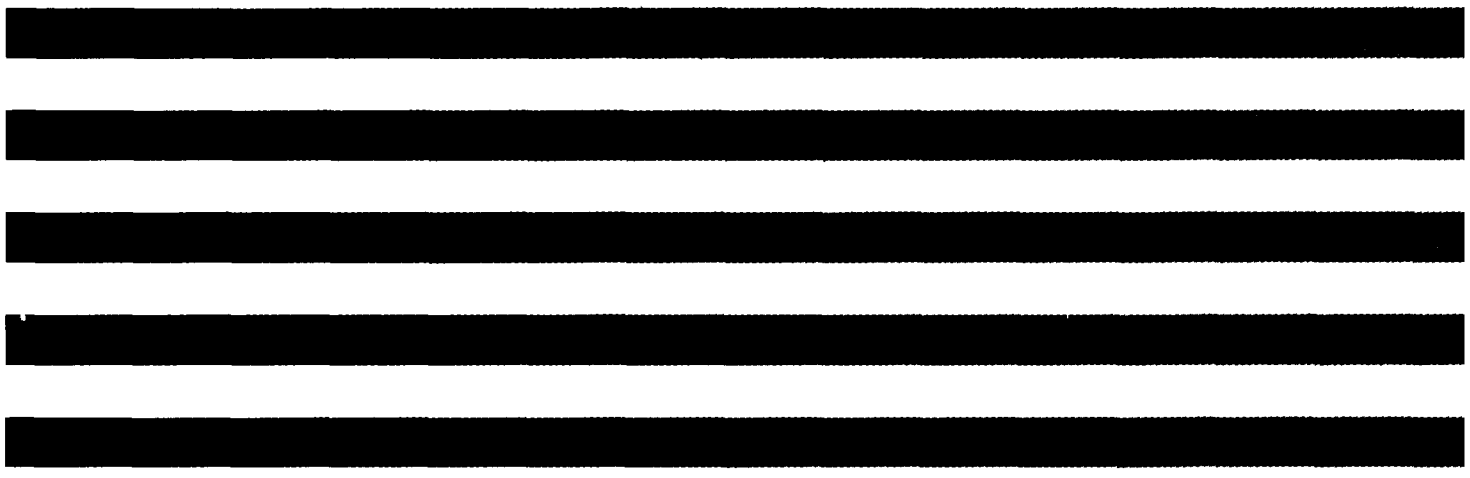
При эксплуатации в условиях высокой температуры внешней среды следует проводить испытания функционирования установки для уточнения рабочих показателей при нормальных температурах испарения.

Подгорание масла

Процесс подгорания большой части масел для холодильных установок начинается при температуре 177°C. Скорость и степень глубины химических реакций зависят от количества кислорода и влаги в установке. В связи с тем, что на практике, особенно в больших установках, контуры редко бывают свободными от загрязнений, возникновение опасных условий функционирования начинается раньше значений, полученных в лаборатории. Наиболее высокие температуры возникают на входе в выпускной клапан и, как правило, на линии нагнетания. На расстоянии 15 см от клапана температура составляет на 28–42°C ниже, чем на входе в указанный клапан. Поэтому положение, при котором температура на линии нагнетания составляет 135°C, является критическим, 120°C считается уже опасно высокой температурой, и только при температуре ниже 105°C можно ожидать нормальной и продолжительной работы компрессора.

Компрессоры scroll некоторых изготовителей, в отличие от поршневых, укомплектованы аварийным термостатом на линии выхода, срабатывающем при превышении установленных значений температуры на выходе.

ГЛАВА 8



Эксплуатация низкотемпературных холодильных установок

Функционирование при низких температурах и опасность перегрева 95
Установки для низких температур 97
Установки для средних температур 99
Снижение потребления электроэнергии в низкотемпературных установках 100
Клапаны регулирования перегрева компрессора 101
Жидкостно-газовые теплообменники на участке всасывания 102
Проблемы эксплуатации установок с рекуперацией тепла 102
Возврат тепла от конденсатора 102
Двухступенчатые компрессоры 103
Переохлаждение жидкости 104
Элементы системы безопасности 105
Терморегулирующий вентиль расширения промежуточной стадии 105
Установки с промежуточным хладоносителем 106

Использование холодильных установок с одним контуром при низких температурах (под таковыми подразумеваются температуры испарения до –25°С) часто является недостаточно надежным решением. В больших магазинах температура –29°С требуется для хранения продуктов глубокой заморозки; в установках для производства замороженных продуктов требуется создание температуры –40°С для ускорения процесса заморозки; при перевозке таких продуктов внутри транспортного средства требуется поддержание температуры на уровне –32°С. При приобретении соответствующего оборудования часто не учитываются все характеристики компрессора. Обычный предел температуры испарения однофазных поршневых компрессоров составляет –40°С, и несмотря на то, что на короткие промежутки времени возможно снижение температуры до –45°С, функционирование на пониженных температурных режимах связано с настолько высоким значением разогрева газа на выходе, что возникает опасность поломки компрессора.

Аналогично, если при установке или изготовлении компрессора в целях экономии или удобства пользования отключить вентилятор охлаждения или установить компрессор таким образом, что охлаждающий воздух достигает его не в полной мере, может быть создана критическая температура функционирования (рисунок 8.1).

Функционирование при низких температурах и опасность перегрева

При функционировании при низких температурах происходит совмещение снижения вязкости газообразного холодильного агента и повышения температуры, создаваемой при высоких значениях компрессии, что приводит к перегреву газа на выходе, который не удается компенсировать простым охлаждением холодильного агента. Поэтому для продления ресурса компрессора и для переработки избыточного тепла необходимо обязательно обеспечить его прямой воздухообдув. Любое уменьшение подачи воздуха относительно рекомендованных значений может привести к избыточному перегреву цилиндров. На стадии проектирования компрессоров существует ряд способов уменьшить соответствующие негативные проявления: выполнение внешней поверхности с хорошими показателями теплообмена, прямой контакт «металл-металл» между двигателем и корпусом компрессора, снижение теплообмена между участками низкого и высокого давления компрессора, сокращение объема «мертвого» пространства, хорошая конструкция двигателя и использование охладителей масла.

Однако, следует учитывать, что приходится иметь дело с законами физики, и при экстремальных условиях эксплуатации температура может превысить допустимые пределы любого, даже самого лучшего компрессора.

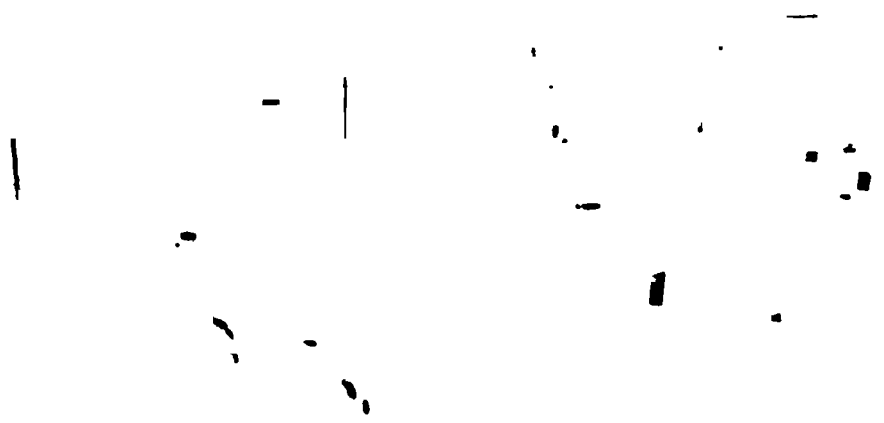
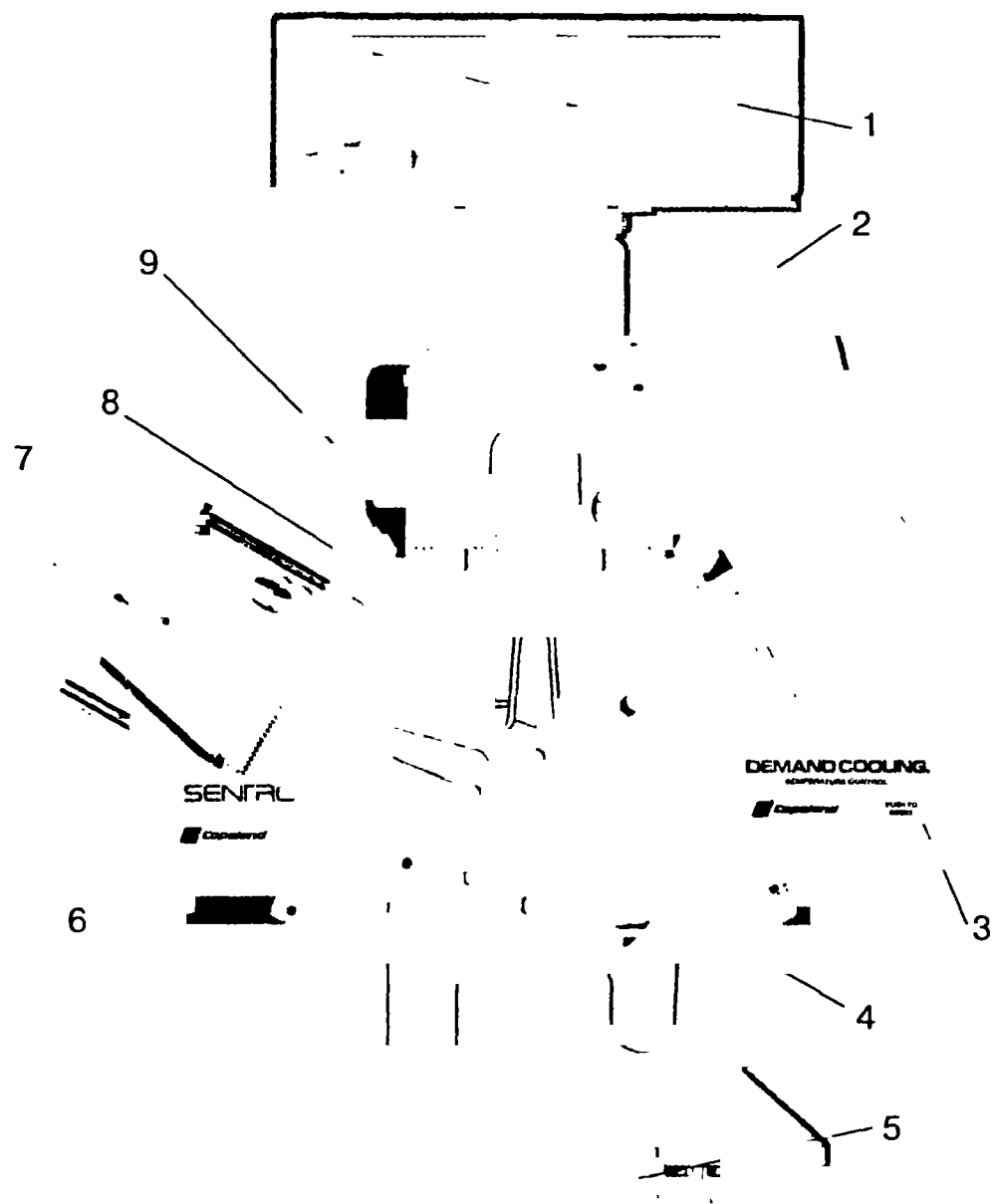


Рисунок 8.1. Промышленная холодильная установка. Расположение компрессоров, как и других агрегатов, имеет большое значение для обеспечения их охлаждения в низкотемпературных установках.



1) Вентилятор охлаждения головок
2) Охладитель масла
3) Система инжектирования жидкого холодильного агента между двигателем и цилиндрами для предотвращения возникновения перегрева газа на подаче (Demand Cooling)
4) Участок давления масла
5) Разогреватель картера
6) Аварийный модуль давления масла
7) Клапан контроля мощности
8) Устройство для инжектирования жидкого холодильного агента
9) Датчик системы Demand Cooling

Рисунок 8.2. Применение вспомогательного вентилятора для охлаждения головок полугерметичного компрессора, функционирующего при низких температурах.

Опыт показывает, что поломки компрессоров, связанные с их перегревом в низкотемпературных установках, не сокращаются, а наоборот, возрастают. Для обеспечения большей надежности необходимо обращать внимание на следующие общие рекомендации по использованию однофазных компрессоров при низких температурах:

1. Использовать хороший холодильный агент для низких температур.
2. Использовать компрессор, специально спроектированный для работы при низких температурах. До недавнего времени почти всегда при мощности более 1 кВт использовались полугерметичные поршневые компрессоры для холодильных установок. Сегодня на рынке имеются компрессоры *scroll для холодильных установок, имеющие аналогичные характеристики.*
3. Сделать все возможное для сокращения экстремальных режимов эксплуатации. Абсолютными значениями предельных условий эксплуатации однофазного компрессора являются температура испарения –40°С и температура конденсации 55°С. Любое дальнейшее понижение температуры конденсации и повышение температуры испарения способствуют существенному продлению ресурса компрессора. С практической точки зрения конденсатор с воздушным охлаждением должен быть рассчитан на разницу температур конденсации и внешней среды в пределах 5,5 и 7,5°С. Поверхность испарителя, объем прохождения воздуха через испаритель и конструкция самой установки, по возможности, должны обеспечивать поддержание температуры испарения выше –35°С. Если условия эксплуатации связаны с неизбежным наличием высоких температур, например, в странах Ближнего Востока (где температура внешней среды может подниматься выше 52°С), необходимо поддерживать более высокую температуру испарения.
4. В интересах пользователя и установщика оборудования необходимо обеспечить максимально эффективные условия для охлаждения газа на линии всасывания, возвращающегося в компрессор. Рекомендуется изолировать все участки линии всасывания: от ресивера на линии всасывания (если

имеется) до самого компрессора. Проверки, проведенные на месте эксплуатации, показывают, что температура всасываемого газа может повыситься на 5–11°С в линиях, не имеющих изоляции на входе в машинное отделение к компрессору. Существует прямая зависимость между температурой всасываемого газа на подаче в компрессор и температурой газа, выходящего из самого компрессора.

5. Температура всасываемого газа на подаче в компрессор должна при любой возможности поддерживаться ниже 10°С. Существуют ограничения минимально допустимых температур для линий всасывания: при температуре ниже 0°С может образоваться лед и повредить расположенный под ним пол.
6. В конденсатных элементах, где охлаждение компрессора осуществляется вентилятором конденсатора, рекомендуется использовать вспомогательный вертикальный вентилятор охлаждения (рисунок 8.2), включающийся при остановке вентиляторов конденсатора, либо тогда, когда их производительность понижается в связи со срабатыванием системы контроля давления конденсации.
7. При постоянной и продолжительной эксплуатации установки следует иметь в виду, что температура на линии выхода никогда не должна превышать 110°С, а температура в картере не должна превышать 75°С. Кратковременные колебания режима за указанные пределы значения температуры являются приемлемыми, если условия эксплуатации возвращаются к норме в течение короткого времени.

В заключение следует сказать следующее. Как показывает опыт обслуживающему персоналу необходимо знать об опасности низкотемпературных режимов эксплуатации холодильных установок. В этих условиях оборудование работает почти на предельно допустимых режимах с минимальным запасом ресурса безопасности.

Установки для низких температур

Низкотемпературный компрессор часто может функционировать в режимах, близких к предельно допустимым. Как уже было сказано, чем ниже температура испарения и выше температура конденсации, тем более критичной становится температура газа на выходе.

В таблице 8.1 приводятся некоторые типичные значения температуры, возникающей в низкотемпературном компрессоре на R-502 с температурой газа около 18,3°С. Значения температуры в цилиндрах получены путем добавления 41°С к значениям температуры всасываемого газа после его поступления в компрессор и до подачи в цилиндр на такте всасывания. Повышение температуры на 41°С является, как установлено в результате лабораторных испытаний, типичным и связано с передачей тепла газу от двигателя и корпуса компрессора. В последней колонке таблицы показаны значения температуры входящего в компрессор газа, необходимой для поддержания температуры в цилиндрах ниже 150°С.

Таблица 8.1. Типичные значения температуры в низкотемпературном компрессоре на R-502.

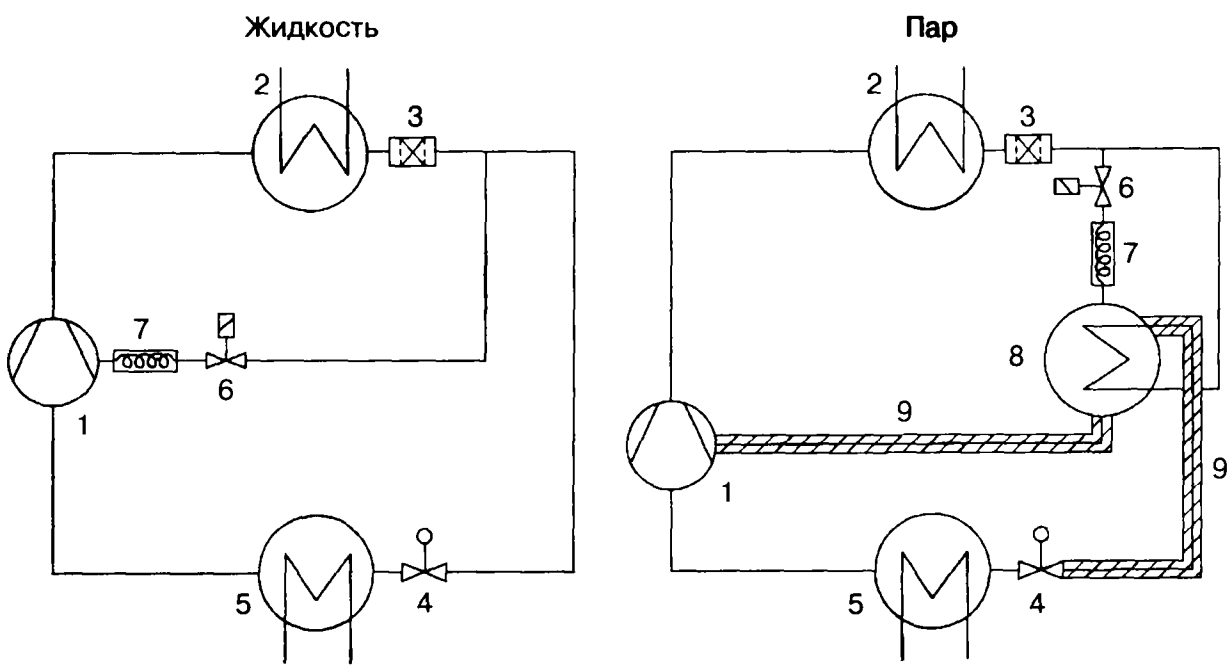
Температура испарения, соответствующая давлению всасывания в компрессор	Температура конденсации, соответствующая давлению на выходе из компрессора	Типичная температура газа возврата	Температура газа на выходе из цилиндра	Температура возвратного газа, необходимая для поддержания температуры на выходе ниже 150°С
–40	54,5	18,3	171	–6,7
–40	48,9	18,3	168	1,7
–40	43,3	18,3	160	7,2
–32	54,4	18,3	160	7,2
–32	48,9	18,3	154	12,8
–32	43,3	18,3	149	18,3

Бесспорно, по мере износа температура поднимается до еще более высоких значений. Данные, приведенные в таблице 8.1, рассчитывались на базе лабораторных испытаний, реальные условия функционирования установки имеют другие показатели, поэтому на расстоянии 15 см от компрессора следует поддерживать температуру на выходе на уровне 105°С и ниже.

Из-за опасности обледенения линий и для того, чтобы не допустить образование конденсата в случае их нахождения в открытом атмосферном воздухе, линии всасывания низкотемпературных установок с мощностью от 5,5 кВт и выше должны быть всегда полностью изолированы.

Как показывает опыт, увеличение количества поломок, связанных с перегревом в низкотемпературных установках, свидетельствует о необходимости внесения серьезных изменений в их конструкцию для повышения надежности их функционирования.

Недавно были разработаны компрессоры scroll специально для низких температур. Для ряда этих агрегатов производства фирмы Copeland (ZF) для обеспечения температуры газа на линии всасывания в безопасных пределах требуется инжектирование холодильного агента в виде жидкости или пара (рисунок 8.3); инжектирование производится в два выделенных участка спиралей, не оказывая воздействия на процесс всасывания.



1) Компрессор
2) Конденсатор
3) Фильтр-осушитель
4) Устройство для расширения
5) Испаритель
6) Соленоидный клапан
7) Капилляр инжектирования
8) Экономайзер
9) Изоляция

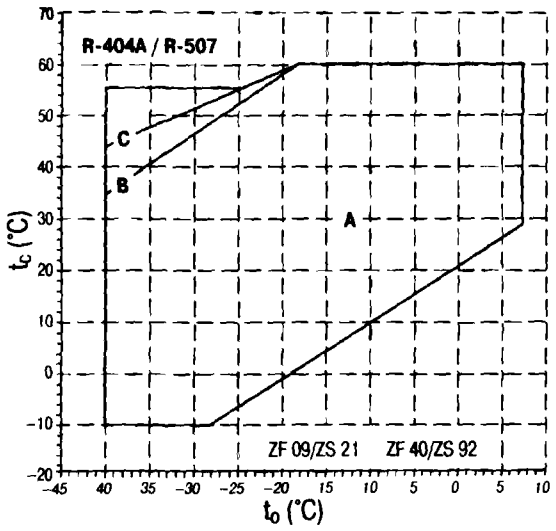
Рисунок 8.3. Контуры инжектирования холодильного агента в низкотемпературном компрессоре scroll.

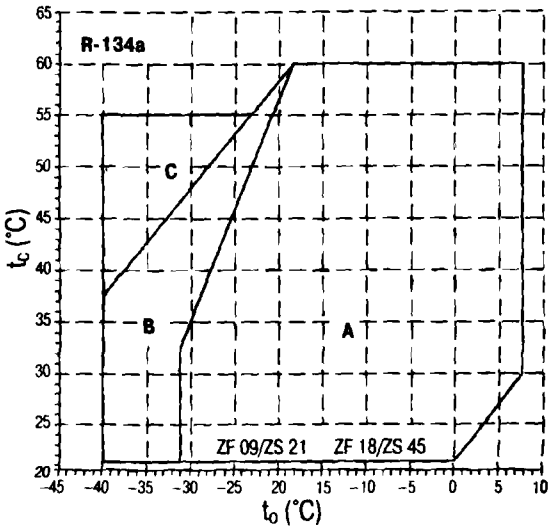
Оба типа инжектирования ненамного повышают общую производительность конденсатора. При инжектировании пара при помощи экономайзера повышается показатель переохлаждения жидкости в испарителе с улучшением рабочих показателей установки. При инжектировании пара охлаждается сжатый газообразный холодильный агент и повышается рабочий интервал.

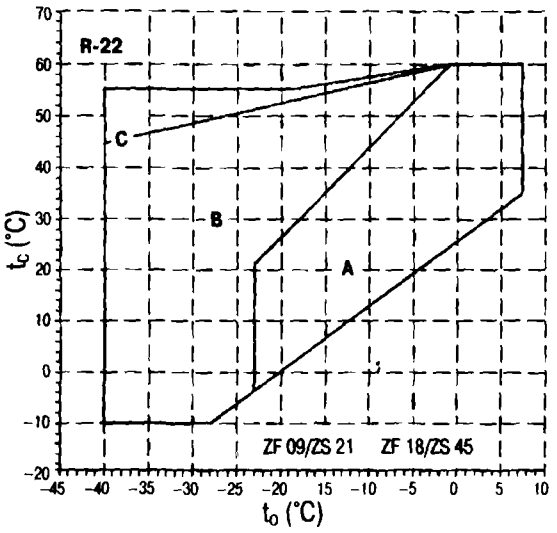
При инжектировании жидкости происходит еще большее расширение рабочего интервала по сравнению с инжектированием пара, как показано на рисунке 8.4. Наибольшая эффективность переохлаждения достигается, когда оба потока, газ и жидкость, перемещаются в противоположных направлениях. Для обеспечения нормального перемещения масла газ должен выйти из экономайзера в нижней его части. Это необходимо в основном при использовании теплообменников на пластинах, смонтированных вертикально.

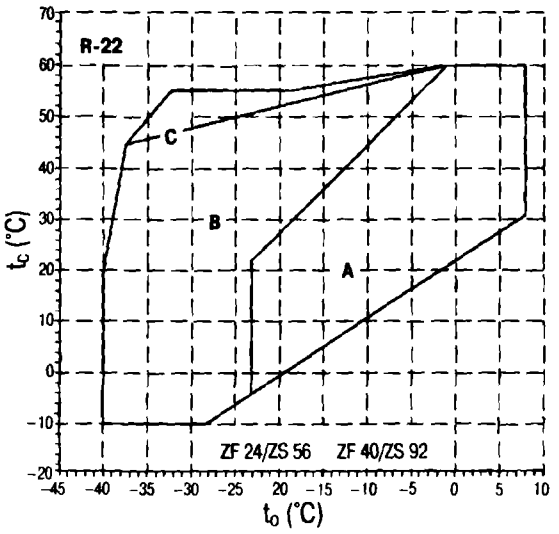
Капилляр позволяет производить точную дозировку жидкого холодильного агента, попадающего в компрессор или эквалайзер. Он состоит главным образом из капиллярной трубки, обернутой по внутренней поверхности гильзы, закрепляемой на штуцере инжектора хомутиком.

Соленоидный клапан должен быть отрегулирован таким образом, чтобы он оставался открытым при функционировании компрессора и закрывался при:
— остановке компрессора;
— удалении наледи горячим газом;
— проведении цикла продувки pump-down.









t_0 Температура испарения

t_C Температура конденсации

A Инжектирования не требуется

B Зона инжектирования пара или жидкости

C Зона инжектирования жидкости

Температура всасываемого газа 25°C

Рисунок 8.4. Область применения компрессоров scroll для низких температур с использованием различных холодильных агентов.

Установки для средних температур

Критические ситуации могут возникать также и на установках на R-22 с температурой испарения ниже −12°C. К сожалению, многие установки на R-22, спроектированные для температуры −12°C или −15°C, функционируют с давлением всасывания, соответствующим температуре −23°C или даже ниже. В этих случаях могут возникать серьезные неполадки. Следует учесть, что критически важной является именно температура всасывания в компрессор, а не температура испарения в холодильном шкафу, поскольку во многих случаях опасность возникает в связи с утечкой между холодильным шкафом и компрессором.

В таблице 8.2 показаны некоторые типичные значения температуры в компрессоре установок для средних температур на R-22. Как и в случае с R-502, температура в цилиндрах рассчитывалась путем прибавления 41°C к значению температуры газа после его входа в компрессор и до попадания в цилиндр.

В установках для средних температур некоторые модели компрессоров scroll также имеют схожие или лучшие показатели, чем традиционные поршневые компрессоры.

Функционирование осуществляется без инжектирования холодильного агента. Область применения ряда компрессоров scroll без инжектирования (ZS) была показана ранее на рисунке 8.4.

Таблица 8.2. Типичные значения температуры в компрессоре на R-22

Температура испарения, соответствующая давлению всасывания в компрессор	Температура конденсации, соответствующая давлению на выходе из компрессора	Типичная температура газа возврата	Температура газа на выходе из цилиндра	Температура возвратного газа, необходимая для поддержания температуры на выходе ниже 150°C
-23,3	54,4	18,3	184	-15
-23,3	48,9	18,3	177	-3,9
-23,3	43,3	18,3	171	1,7
-17,8	54,4	18,3	168	-3,9
-17,8	48,9	18,3	160	7,2
-17,8	43,3	18,3	154	10
-12,2	54,4	18,3	160	7,2
-12,2	48,9	18,3	149	18,3
-12,2	43,3	18,3	143	18,3

Снижение потребления электроэнергии в низкотемпературных установках

В больших магазинах потребление электроэнергии очень велико, особенно в холодильных установках, холодильных шкафах, функционирующих круглосуточно, а также в установках для кондиционирования воздуха: в США потребление электроэнергии в супермаркетах составляет, по оценкам, около 4% всего национального потребления электроэнергии; из этого числа, по данным института EPRI (*Electric Power Research Institute*), примерно 50% приходится на холодильные установки.

Подобная «прожорливость» холодильных установок дополняется потреблением энергии установок для кондиционирования воздуха, в большинстве случаев превосходящее показатели потребления электроэнергии холодильным оборудованием. Действительно, обычные установки для кондиционирования воздуха в супермаркете не обеспечивают поддержания уровня относительной влажности в помещении ниже 50–55%. Этот показатель, являющийся удовлетворительным для человеческого комфорта, в действительности является слишком большим для функционирования холодильных лотков.

Излишняя относительная влажность вызывает чувствительное повышение потребления электроэнергии холодильными лотками, поскольку:

— ускоряет образование инея на батареях охлаждения и снижает температуру испарения, приводя к потере эффективности;
— приводит к увеличению времени функционирования противоконденсатных обогревателей на поверхности лотков;
— повышает частоту циклов удаления обледенения на батареях.

На практике создается ситуация, при которой холодильные лотки как бы «вынуждены» осушать окружающий их воздух в помещении для обеспечения нормального режима своего функционирования. Подобное вынужденное, а не запланированное, осушение воздуха со стороны холодильных лотков сильно увеличивает расходы на электроэнергию, достаточно сказать, что для конденсации 1 кг воды из воздуха требуется:

— 3,5–5,5 кВт со стороны низкотемпературных холодильных лотков для замороженных продуктов;
— 1,2–2,2 кВт со стороны среднетемпературных холодильных лотков для свежих продуктов;
— 0,5–0,9 кВт со стороны установки для кондиционирования воздуха.

Эти значения суммированы в графике на рисунке 8.5.

Для повышения эффективности потребления электроэнергии в больших магазинах достаточно было бы спроектировать установку для кондиционирования воздуха таким образом, чтобы она осуществляла существенное осушение в местах расположения холодильных лотков, где относительная влажность воздуха должна быть не выше 40%, но по разным причинам, это встречается крайне редко.

Упомянутые ранее исследования института EPRI позволяют также сделать вывод о том, что 30% электроэнергии, потребляемой на холодильных установках супермаркетов, приходится на компрессоры

холодильных линий (рисунок 8.6), таким образом, именно этот компонент оборудования является виновником повышенного потребления электроэнергии в абсолютных цифрах.

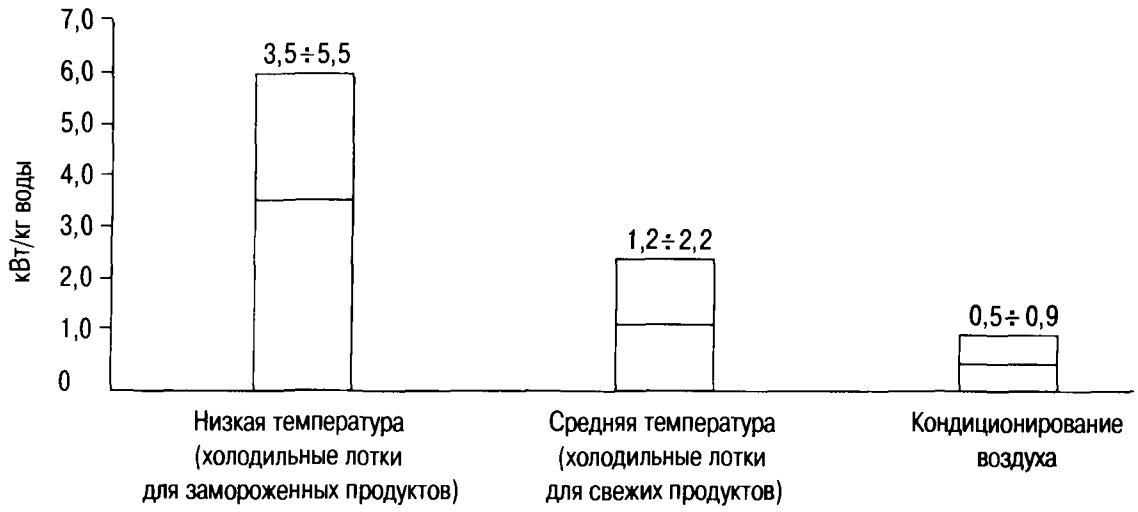


Рисунок 8.5. Потребление электроэнергии холодильными лотками супермаркета для конденсации 1 кг воды.

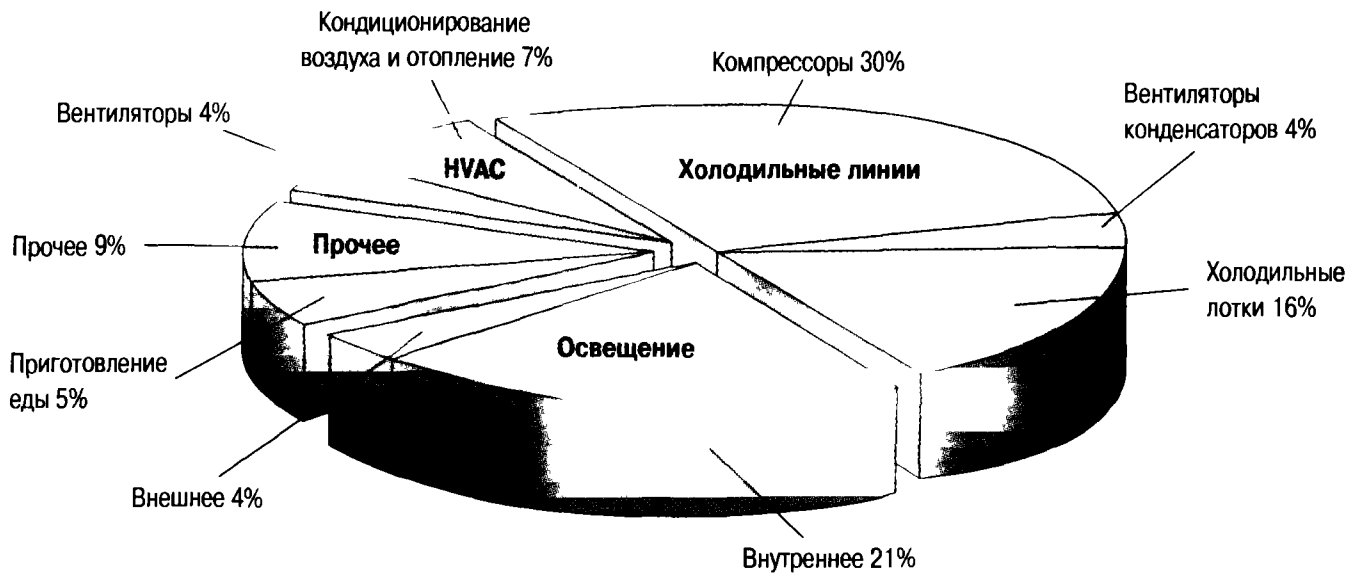


Рисунок 8.6. Типичное распределение потребления электроэнергии в супермаркете: доля компрессоров холодильных линий достигает 30%.

Клапаны регулирования перегрева компрессора

В установках с неизолированными линиями всасывания, в которых невозможно изменить условия работы, единственным способом понизить температуру хладагента на линии нагнетания до приемлемых параметров является установка клапана предотвращения перегрева, предоставляющего собой терморегулирующий вентиль малой производительности, термобаллон которого закреплен на линии нагнетания компрессора, осуществляющий впрыск парожидкостной смеси хладагента во всасывающий трубопровод компрессора.

Исследования в этой области показали, что температура на выходе может быть снижена почти на ту же величину, на которую снижается температура всасываемого газа. Часто имели место случаи, когда установки, работающие при температуре на нагнетании в пределах 121–127°С и температуре всасываемого газа 15,5°С, после установки клапана регулирования перегрева выходили на показатели температуры на выходе компрессора ниже 105°С и температуры всасываемого газа около –2°С. Клапан устанавливается на всасывающей линии на расстоянии 1–1,5 м перед компрессором, обеспечивая снижение перегрева на всасывании и нагнетании до требуемых значений. Наилучшие результаты были получены с использованием клапанов номинальной холодопроизводительностью 2,5 кВт для компрессоров с холодопроизводительностью от 5 до 18 кВт.

Жидкостно-газовые теплообменники на участке всасывания

В холодильных установках жидкостно-газовые теплообменники на участке всасывания служат для повышения температуры возвратного газа, поступающего в компрессор, предотвращая появление конденсата или инея на линии и производя испарение капель жидкости, переносимых всасываемым газом. Кроме того, они осуществляют переохлаждение жидкого холодильного агента, препятствуя тем самым образованию «flash gas» (закипания жидкости с выделением пара) на линии жидкости.

Похоже, специалисты еще не пришли к общему мнению относительно повышения холодильной мощности за счет теплообменников. В установках с неизолированными линиями всасывания все тепло, поглощенное газом и переданное внешней среде жидкостью, приводит к повышению холодильной мощности. Однако простое перемещение тепла от жидкости к газу не приводит к существенному повышению эффективности работы и холодильной мощности установки. Действительно, в то время как теплосодержание жидкости уменьшается, приводя к увеличению обмена теплосодержания на килограмм в испарителе, более горячий холодильный пар имеет большее значение удельного объема ($дм^3/кг$), вследствие чего мощность компрессора уменьшается. Два этих процесса находятся во взаимном противоречии, приводя к тому, что чистая выгода невелика и, если линия жидкости подвержена понижению температуры, выигрыш практически равен нулю.

При изолированных линиях всасывания установка теплообменника не только не дает каких-либо преимуществ, но может даже вызвать опасность чрезмерного повышения температуры возвратного газа. В частности, если он установлен в машинном зале, это может вредно сказаться на работе компрессора, приводя к возрастанию температуры возвратного газа, превышающей допустимые пределы.

Проблемы эксплуатации установок с рекуперацией тепла

Установки с рекуперацией зарекомендовали себя как важный источник экономии электроэнергии, в особенности в сочетании с холодильными установками для супермаркетов. При необходимости отопления супермаркета, тепло, обычно уходящее в атмосферу от конденсатора, может быть направлено на батарею теплообменника, находящуюся в установке для переработки воздуха или на одном из каналов таким образом, чтобы обеспечить подачу тепла с существенной экономией как с точки зрения износа оборудования, так и электроэнергии. При помощи теплообменников, остановленных на линии выхода из компрессора, можно также обеспечить разогрев воды в течение всего года. Правильно разработанная конструкция установки позволяет добиться экономии без ущерба для компрессоров. Однако следует учитывать, что компрессоры холодильных установок функционируют на уровнях температуры, близких к предельным, поэтому при модификации конструкции установки в целях возврата тепла необходимо обращать особое внимание на обеспечение безопасности ее функционирования.

Возврат тепла от конденсатора

Для соединения батареи возврата тепла с конденсатором применяются различные приемы как последовательного, так и параллельного соединения. В связи с трудностями балансировки параллельной конструкции наиболее приемлемой является последовательная схема соединения. На рисунке 8.7 показана схема типичной установки с рекуперацией тепла. Поскольку батарея возврата тепла и конденсатор выполняют роль конденсаторов в одном и том же контуре, необходимо предусмотреть создание какой-либо системы контроля за давлением конденсации для того, чтобы не допустить понижения давления до уровней, не позволяющих эффективно использовать возврат тепла.

При типичных температурах возвратного воздуха около 21°C, как правило, необходимо создание температуры конденсации на уровне 40°C и выше для достижения приемлемой разницы температуры, обеспечивающей наличие эффективного теплообмена.

На рисунке 8.7 показан контур, в котором теплообмен осуществляется с использованием клапана контроля давления конденсации с добавлением определенного количества холодильного агента.

Раньше в тепловозвратных установках неисправности компрессора возникали часто. Причиной этого, как показал опыт, являлась низкая температура конденсации в конденсатных группах, в которых

контроль давления конденсации осуществлялся при помощи fan cycling конденсатора. Многие виды однофазных компрессоров, действующие при температуре испарения ниже −18°C, должны охлаждаться посредством воздухообдува всего корпуса компрессора. В компрессорно-конденсаторных блоках с воздушным охлаждением, где вентилятор конденсатора используется также для охлаждения компрессора, вышеупомянутые неисправности возникали из-за того, что в режиме возврата тепла остановка вентилятора конденсатора приводила к продолжительному отсутствию необходимого охлаждения компрессора. Действительно, батарея возврата тепла полностью или частично играет роль конденсатора, что приводит к более или менее продолжительным остановкам вентилятора.

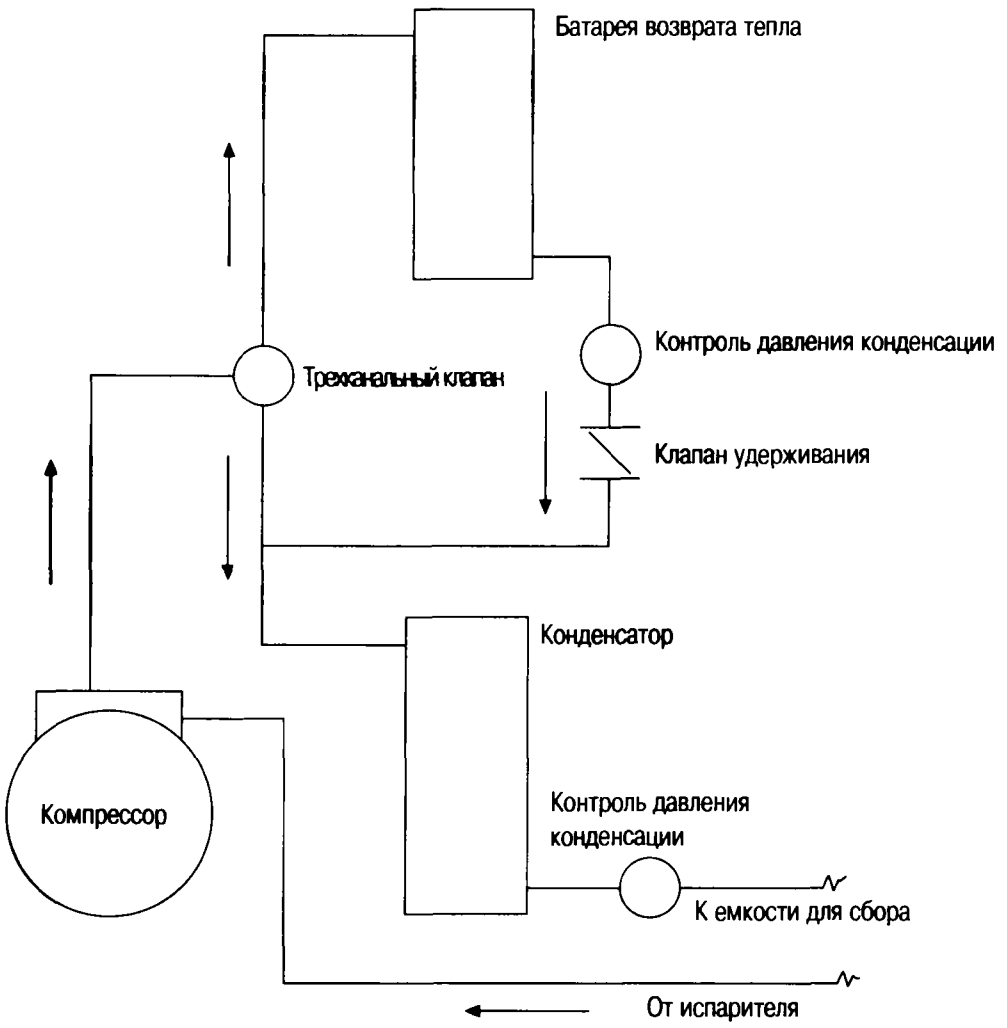


Рисунок 8.7. Схема типичной установки с рекуперацией тепла.

Fan cycling контроля температуры конденсации на агрегатах с одним вентилятором является нежелательным в случаях компрессоров для низких температур с мощностью, превышающей 3,7 кВт. Это допустимо только при использовании отдельного вспомогательного вентилятора компрессора.

В компрессорно-конденсаторных блоках с конденсатором на нескольких вентиляторах, соединенного с устройством для возврата тепла, для охлаждения компрессора необходимо использовать вспомогательный вентилятор, если только нет четких инструкций по этому поводу со стороны изготовителя.

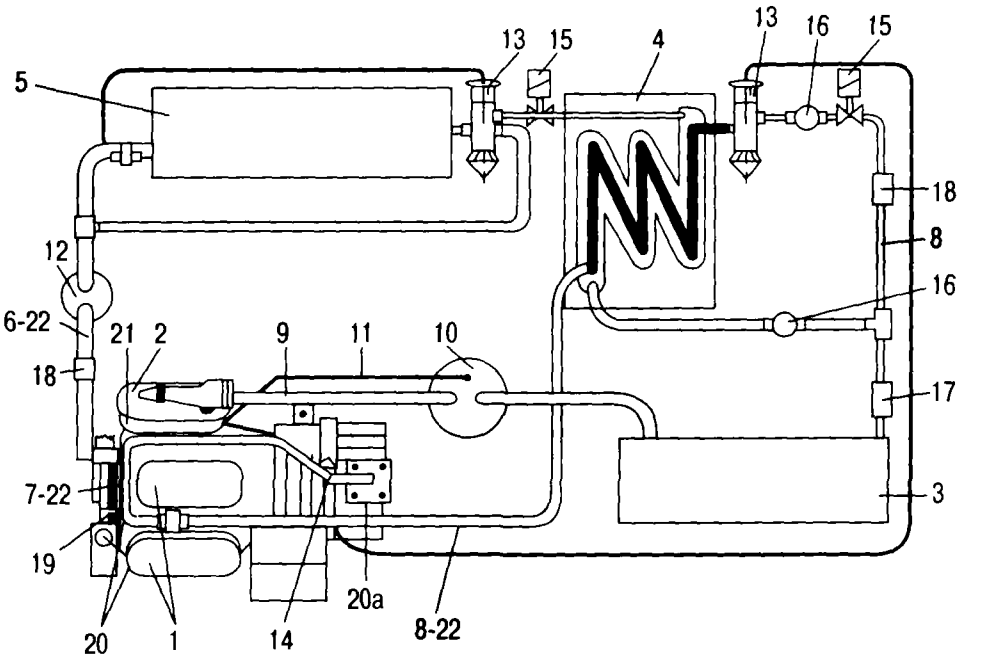
Двухступенчатые компрессоры

Двухступенчатые компрессоры позволяют обеспечить очень низкие температуры конденсации с R-22 (−50°C), R-502 (−60°C) и R-404 (−50°C). Эти агрегаты состоят из фазы низкого давления НД (2 цилиндра в компрессорах на 3 цилиндрах, 4 — в компрессорах на 6 цилиндрах) и из фазы высокого давления ВД (соответственно один цилиндр в компрессорах на 3 и 2 — в компрессорах на 6 цилиндров) (рисунок 8.8). Газ всасывается прямо в цилиндры НД и сжимается до средних значений давлений между давлением всасывания и давлением конденсации. На выходе из фазы НД газ имеет очень высокую температуру и, прежде чем попасть в фазу ВД, должен быть охлажден путем инжектирования жидкости. Сжатый до средних значений давления газ, охлажденный таким образом, направляется на фазу ВД, предварительно пройдя через двигатель компрессора для его охлаждения. В фазе ВД газ сжимается до

величины давления конденсации. Область двигателя и картер в двухступенчатых полугерметичных компрессорах имеют промежуточные значения давления. В двухступенчатых компрессорах места забора газа для определения его давления и подачи на реле давления находятся в точках, не совпадающих с аналогичными местами одноступенчатых компрессоров. Действительно, некоторые головки компрессора находятся под промежуточным давлением, а не под давлением конденсации.

Переохлаждение жидкости

Для повышения КПД двухступенчатых компрессоров предусматривается установка теплообменника, функционирующего как агрегат для переохлаждения жидкости (рисунок 8.8). Охлаждение жидкости происходит за счет тепла испарения жидкости, инжектируемой на промежуточной фазе с регулировкой со стороны терморегулирующего вентиля. Температура жидкости после переохлаждения примерно на 6°C выше температуры насыщенного газа, соответствующей значению промежуточного давления. Линия жидкости должна быть изолирована. При очень большой длине линий жидкости питания испарителя может быть перегрев, вызванный трением, способный нейтрализовать эффект переохлаждения. В этом случае необходимо установить газово-жидкостный теплообменник для дальнейшего переохлаждения жидкости. Обычно установка газово-жидкостного теплообменника на выходе из испарителя и/или изоляция линии всасывания позволяет снизить образование конденсата.



1) Цилиндр НД
2) Цилиндр ВД
3) Конденсатор
4) Переохлаждение жидкости
5) Испаритель
6) Всасывающая трубка НД
7) Коллектор промежуточной фазы
8) Линия жидкости для промежуточной фазы
9) Трубка подачи ВД
10) Сепаратор масла
11) Линия возврата масла
12) Накопитель на линии всасывания
13) Термостатический ТРВ
14) Положение датчика термостатического клапана
15) Соленоидный клапан
16) Датчик жидкости
17) Фильтр-осушитель
18) Сетчатый фильтр
19) Фитинг НД
20) Фитинг промежуточного давления
20a) Клапан Шредера
21) Фитинг ВД
22) Участок линии, требующий изоляции

Рисунок 8.8. Схема монтажа двухступенчатого компрессора на 6 цилиндрах с переохлаждением жидкости.

Перед терморегулирующим вентилем инжектирования жидкости в промежуточную фазу должен устанавливаться соленоидный клапан для перекрытия потока жидкости во время остановки компрессора. Этот клапан должен иметь датчик, срабатывающий в момент, запуска компрессора, и отключающийся при его остановке. Рекомендуется устанавливать ручной выключатель для случаев проведения продувки (pump-down).

На рисунке 8.9 показан двухступенчатый полугерметичный компрессор для холодильных установок. Видны его отличия от конструкции обычного одноступенчатого компрессора.

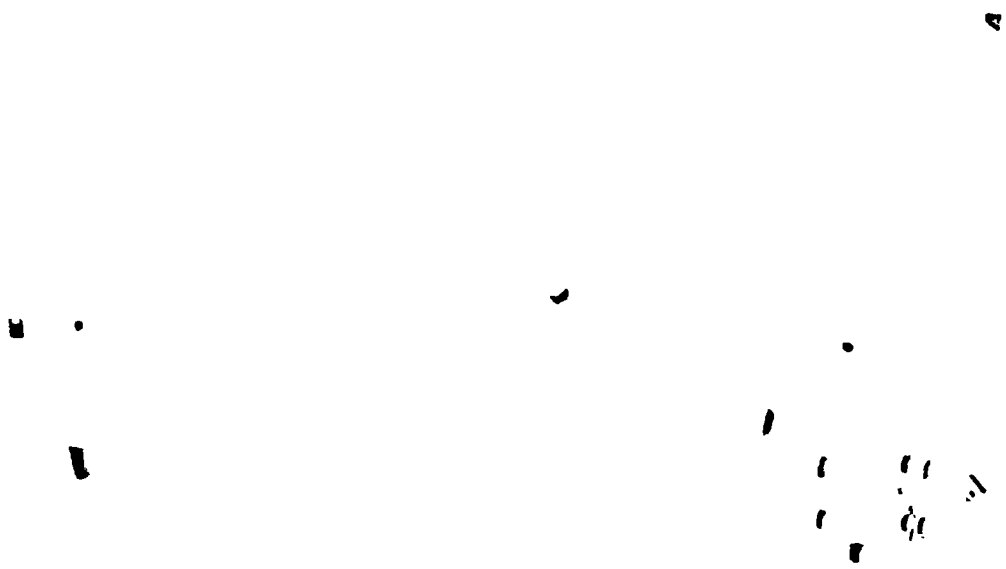


Рисунок 8.9. Двухступенчатый полугерметичный компрессор для холодильных установок.

Элементы системы безопасности

Установки с двухступенчатыми компрессорами функционируют при очень низких температурах испарения, поэтому возврат масла, особенно при большой длине линий, осложнен. Рекомендуется устанавливать сепараторы масла для снижения количества смазки в установке, учитывая то, что они не решают проблемы возврата масла в компрессор, поэтому необходимо обеспечить очень точную проектировку установки при ее подборе.

Терморегулирующий вентиль промежуточной стадии

Терморегулирующий вентиль обеспечивает инжектирование жидкого холодильного агента в промежуточную фазу для снижения перегрева газа, выходящего из фазы НД. Если температура газа в этой фазе не снизится на достаточно большое значение, необходимо проверить, нет ли неполадок в фильтре соленоидном клапане и, в последнюю очередь, в ТРВ. Если после прочистки и проверки этих компонентов проблема не устраняется, необходимо заменить ТРВ; если нет в наличии вентилей с фиксированной калибровкой, можно использовать вентили с регулируемой калибровкой.

В этом случае вентиль должен быть откалиброван таким образом, чтобы температура газа на промежуточной фазе, измеренная с помощью термометра, была на 8–16°С выше температуры насыщения, соответствующей величине давления на манометре, подсоединенном к промежуточной фазе. Перегрев может быть увеличен при заворачивании винтов калибровки по часовой стрелке. Опыт показывает, что можно использовать один и тот же вентиль как для R-22, так и для R-502.

Для предотвращения возврата жидкости или масла в компрессор рекомендуется устанавливать накопитель на трубке всасывания. При использовании двухступенчатых компрессоров это имеет большое значение, поскольку газ не поступает напрямую в цилиндры фазы НД. Накопитель должен быть рассчитан по меньшей мере на 50% объема холодильного агента, что позволит обеспечить постоянные значения возврата газа и масла в компрессор.

В указанных агрегатах должны быть установлены два датчика жидкости: один на линии жидкости питания терморегулирующего вентиля инжектирования промежуточной фазы, и другой — на линии жидкости питания контура испарителя. Для избежания колебаний вентиля необходимо обеспечить температуру перегрева на датчике в пределах 8–16°С. Если вентиль неправильно откалиброван, может возникнуть чрезмерный перегрев двигателя или иметь место возврат жидкости в картер через двига-

тель. Датчик жидкости на линии питания испарителя должен быть установлен перед устройством для переохлаждения. В противном случае, вследствие переохлаждения не будут просматриваться пузырьки газа, даже когда заправка холодильного агента является недостаточной.

Для защиты картера от чрезмерно высокого давления в промежуточной фазе во всех двухступенчатых компрессорах используется аварийный клапан, установленный между промежуточной фазой и камерой всасывания НД.

Установки с промежуточным хладоносителем

Холодильные установки с промежуточным хладоносителем очень распространены в промышленности и, в частности, при производстве продуктов питания. Используются различные составы с очень низкими температурами замерзания в промышленных морозильниках, супермаркетах, торгующих замороженными продуктами питания, в производстве напитков (вино, пиво, газированные воды), в производстве продуктов питания для их заморозки, в строительстве катков и во многих других областях.

Органическими составами, имеющими наибольшее применение в этой области, являются водные растворы гликоль-этилена, гликоль-пропилена и метанола. Используются также неорганические соли, такие как хлорид натрия и хлорид кальция, в частности, в виде водных растворов.

Рассмотр параметров применения, эксплуатации и технического обслуживания установок, использующих указанные составы, не входит в задачи настоящего Руководства в связи с тем, что использование незамерзающих хладоносителей связано с рядом проблем, обусловленных их химическим составом.

Одной из наиболее часто встречающихся проблем является проблема коррозии материалов конструкции установки со стороны этих хладоносителей в случае отсутствия соответствующих ингибиторов и специальных планов ведения технического обслуживания.

Не менее важной, а возможно, и гораздо более острой проблемой является воздействие этих установок на окружающую среду, если используемые в них хладоносители не обработаны правильным образом перед утилизацией.

В связи с этим, при эксплуатации и техническом обслуживании холодильных установок с промежуточным хладоносителем очень важно точно соблюдать рекомендации изготовителей этих хладоносителей.

ГЛАВА 9

Эксплуатация и рабочие режимы поршневых компрессоров

Реальное функционирование компрессоров 108
Давление/температура на участке всасывания 109
Давление на нагнетании 109
Температура на конечной фазе компрессии 109
Типы поршневых компрессоров 110
Цикл сжатие-расширение 112
Герметичный компрессор 113
Одноступенчатый полугерметичный компрессор 114
Запуск компрессоров 116
Охлаждение двигателя 117
Регулировка холодильной мощности 118
Параллельные полугерметичные компрессоры 119
Линии выравнивания давления 119
Подача и независимая регулировка масла 119
Всасывающий коллектор 120
Коллектор подачи 121
Открытый компрессор 121

Функция компрессора, как известно, заключается в поддержании определенной разницы давлений в холодильном контуре для обеспечения постоянной циркуляции жидкого холодильного агента и наличия холодильного цикла.

Подачу жидкого холодильного агента, циркулирующего в компрессоре, можно теоретически рассчитать по следующей формуле:

$$V = \frac{n}{60} \cdot Z \frac{\pi D^2}{4} \cdot S,$$

где:
V — объем подачи (м³/с);
n — скорость вращения (об./мин);
Z — количество цилиндров;
D — внутренний диаметр цилиндров (м);
S — ход поршня (м).

В компрессорах с обычными электрическими асинхронными электродвигателями с 4 полюсами и частотой тока 50 Гц скорость вращения составляет 1450 об./мин. Количество цилиндров может быть 2, 4, 6 или 8 в зависимости от модели и технических характеристик компрессора. Внутренний диаметр D зависит, естественно, от конструкции компрессора, так же, как и ход поршня S.

В некоторых моделях среднее значение мощности D составляет 0,095 м, а величина S — 0,08 м; этому соответствует объем подачи газа 197,5, 296 и 394,5 м³/час при наличии соответственно 4, 6 и 8 цилиндров.

В действительности, как мы увидим, на функционирование компрессоров холодильных установок оказывают воздействия разнообразные факторы.

Реальное функционирование компрессоров

По данным организации ASHRAE, основными факторами воздействия на рабочие значения поршневых компрессоров являются:
— неэффективная работа клапанов в связи с несоответствием фаз (преждевременное и позднее открытие и закрытие);
— падение давления газа внутри компрессора (краны всасывания и подачи, механические фильтры, двигатель — в герметичных и полугерметичных компрессорах, зазоры клапанов и пр.);
— расширение газа в «мертвом» пространстве;
— доразогрев холодильного агента из-за механического трения как на стенках цилиндров, так и в двигателе (в герметичных и полугерметичных компрессорах), передачи тепла компрессии и пр.;
— просачивание газа через поршневые кольца;
— нарушение нормальной циркуляции масла;
— отклонение кривой изоэнтропического давления.

Трудно проанализировать причины, которые могут присутствовать, все или каждую в отдельности, и их влияние на производительность разных типов компрессоров, поэтому ASHRAE выделяет четыре основных показателя, влияющих на общую производительность компрессора:

1. *Производительность компрессора* (η_c): относится только к процессам, происходящим внутри камеры компрессора. Представляет собой отклонение реальной величины компрессии от изоэнтропического и адиабатического. Определяется путем отношения требуемой для изоэнтропической компрессии газа работы к действительно производимой работе воздействия на газ в компрессионной камере (устанавливаемого путем измерений).
2. *Производительность механическая* (η_m): отношение между работой, производимой в отношении газа (определяемой путем измерений), и работой, производимой в отношении вала компрессора.
3. *Производительность объемная* (η_v): отношение действительного объема газа, попадающего в компрессор, и теоретического объема самого компрессора.

4. *Производительность адиабатическая* (η_a): отношение работы, требуемой для достижения изоэнтропической компрессии газа, и теоретическим объемом самого компрессора.

Займемся теперь изучением условий функционирования компрессора, оказывающих на него наибольшее влияние. Таковыми являются:

— давление всасывания;
— давление нагнетания;
— соотношение давлений;
— температура в конце компрессии.

Давление/температура на участке всасывания

Температура всасывания насыщенного газа связана с температурой испарения, оказывающей значительное влияние на рабочие характеристики компрессора. Действительно, она определяет удельный объем газа, попадающего в компрессор.

При снижении температуры всасывания, соответственно, снижается давление, что приводит к повышению удельного объема газа. Из-за того, что компрессор, работая на определенной скорости, изменяет постоянный объем газа, повышение удельного объема выливается в снижение весовых значений переносимого холодильного агента, а вследствие этого — в снижение вырабатываемой холодильной мощности.

К ухудшению рабочих показателей компрессора приводит также повторное расширение (реэкспансия) газа, оставшегося в «мертвом» пространстве: если давление нагнетания остается постоянным и снижается давление всасывания, газ, сжатый в «мертвом» пространстве, должен расшириться еще больше для того, чтобы сравняться с более низким давлением на всасывании и сделать возможным поступление газа в испаритель. Поэтому реальное количество газа, перемещаемого компрессором, уменьшается, что приводит к дальнейшему понижению холодильной мощности.

На практике при типичных значениях температуры кондиционирования снижение температуры испарения на 1°С приводит к снижению производительности примерно на 2–3% и потребляемой мощности примерно на 1,5%.

Давление на нагнетании

Давление на нагнетании также влияет на величину холодильной мощности компрессора, однако в меньшей степени по сравнению с давлением на всасывании. Повышение давления вынуждает компрессор работать на повышенных режимах с соответствующим повышением потребления электроэнергии, необходимой для осуществления перемещения газа к конденсатору. На уровне типичной величины давления/температура при кондиционировании повышение температуры конденсации на 1°С приводит к снижению холодильной мощности примерно на 1,5–2% с повышением потребляемой мощности примерно на 1,5%.

Температура на конечной фазе компрессии

Реальное значение температуры в конце компрессии определяет отклонение кривой реального значения компрессии от кривой изоэнтропической компрессии. Определить ее значение можно по следующей выведенным опытным путем формуле:

$$T_m = T_a \cdot \left(\frac{P_m}{P_a} \right)^{\frac{n-1}{n}},$$

где:

T_m — абсолютное значение температуры подачи газа (К);
T_a — абсолютное значение температуры всасывания газа (К);
P_m — абсолютное значение давления подачи газа (Н/м²);
P_a — абсолютное значение давления всасывания газа (Н/м²);
n — степень компрессии.

Значение степени компрессии *n* получают экспериментальным путем посредством испытаний, произведенных на компрессоре; таким образом, он применим к тем типам компрессоров, которые были подвержены соответствующим испытаниям, и зависит также от типа холодильного агента и соотношения давлений (P_m/P_a).

Реальное значение температуры в конце компрессии, определяемое в месте достижения реальной компрессии, позволяет оценить разницу между величиной изоэнтропической и реальной компрессии. В большей степени практическое значение имеет то, что это позволяет установить, не превышены ли предельные рабочие значения, после которых начинается подгорание, деформация клапанов и пр.

Типы поршневых компрессоров

До настоящего времени поршневые компрессоры остаются наиболее широко распространенным типом компрессоров в холодильных установках и установках для кондиционирования воздуха, хотя в секторе низких мощностей компрессоры scroll уже почти полностью вытеснили поршневые герметичные и полугерметичные компрессоры равной мощности.

Существуют следующие виды поршневых компрессоров:

— *Герметичные.* Двигатель и компрессор спарены напрямую и заключены в один корпус из стального листа. Электродвигатель охлаждается всасываемым газом (рисунок 9.1).
— *Полугерметичные.* Двигатель и компрессор остаются соединенными непосредственно, однако помещены в чугунный корпус, имеющий доступы для технического обслуживания и ремонта. Электродвигатель охлаждается всасываемым газообразным холодильным агентом (рисунок 9.2).
— *Открытые.* Компрессор помещается в чугунном корпусе, из которого выходит вал подсоединения к внешнему двигателю (рисунок 9.3).

Рисунок 9.1. Типичный герметичный компрессор. Двигатель и компрессор спарены непосредственно в запаянном корпусе.



Рисунок 9.2. Полугерметичный компрессор. Двигатель и компрессор соединены непосредственно однако имеются доступы к агрегату через крышки и пластины на болтах.



Рисунок 9.3. Открытый компрессор с электронным аварийным датчиком недостаточности смазки Виден выходящий вал для подсоединения к двигате ю.

Цикл сжатие-расширение

Представленные виды компрессоров имеют общие показатели цикла сжатия-расширения (рисунок 9.4). Условно цикл можно разделить на 4 фазы:

1. *Сжатие* (участок *AB*). Поршень начинает двигаться в цилиндре из нижней «мертвой» точки, сжимая имеющийся в нем холодильный агент в газообразном состоянии, с повышением температуры, всасывающий и выпускной клапаны закрыты.
2. *Подача* (участок *BC*). Когда поршень достигает течки *B*, давление газа становится достаточным для открытия выпускного клапана. Происходит подача (выход) газа, продолжающаяся вследствие движения поршня к точке *C*. Теоретически, на протяжении всей этой фазы, давление остается постоянным и соответствует давлению конденсации. Поршень достигает верхней мертвой точки (точка *C*). Между головкой поршня и головкой цилиндра имеется вредное («мертвое») пространство (которое по причинам механического порядка не может быть равно нулю), где остается некоторое количество газа, не выходящего наружу.
3. *Повторное расширение* (участок *CD*). От точки *C* поршень начинает двигаться в обратную сторону, что приводит к снижению давления в цилиндре. Выпускной клапан закрывается, а оставшийся в цилиндре газ повторно расширяется, передавая поршню накопившуюся до этого энергию. Давление в точке *D* снижается, приводя к открытию всасывающего клапана. Газ, поступающий от испарителя, может поступать в цилиндр.
4. *Всасывание* (участок *DA*). Поршень продолжает двигаться в обратную сторону, одновременно в цилиндр поступает газ. При достижении поршнем нижней «мертвой» точки всасывающий клапан закрывается. Теоретически фаза всасывания также протекает при постоянном давлении.

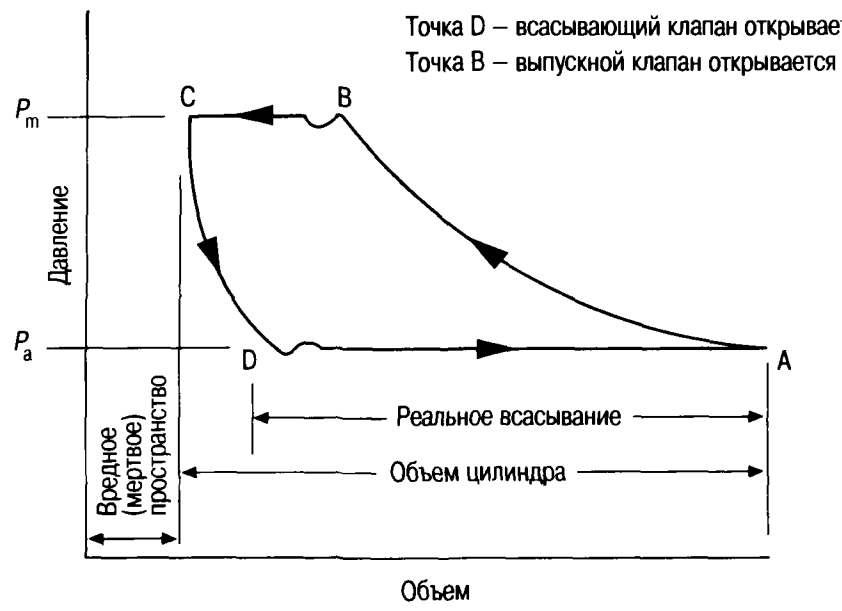


Рисунок 9.4. Теоретический цикл сжатия-расширения в поршневом компрессоре.

Реальный цикл сжатия-расширения значительно отличается от теоретического. Действительно, как всасывающий, так и выпускной клапаны приводят к утечке, которая должна быть компенсирована компрессором путем снижения давления всасывания и повышения давления подачи. Кроме того, необходимо учитывать утечки, связанные с повторным расширением газа, остающегося во вредном («мертвом») пространстве цилиндра. Повторное расширение возникает, когда поршень начинает двигаться по цилиндру вниз. Поэтому реальный график выглядит примерно так, как показано на рисунке 9.5.

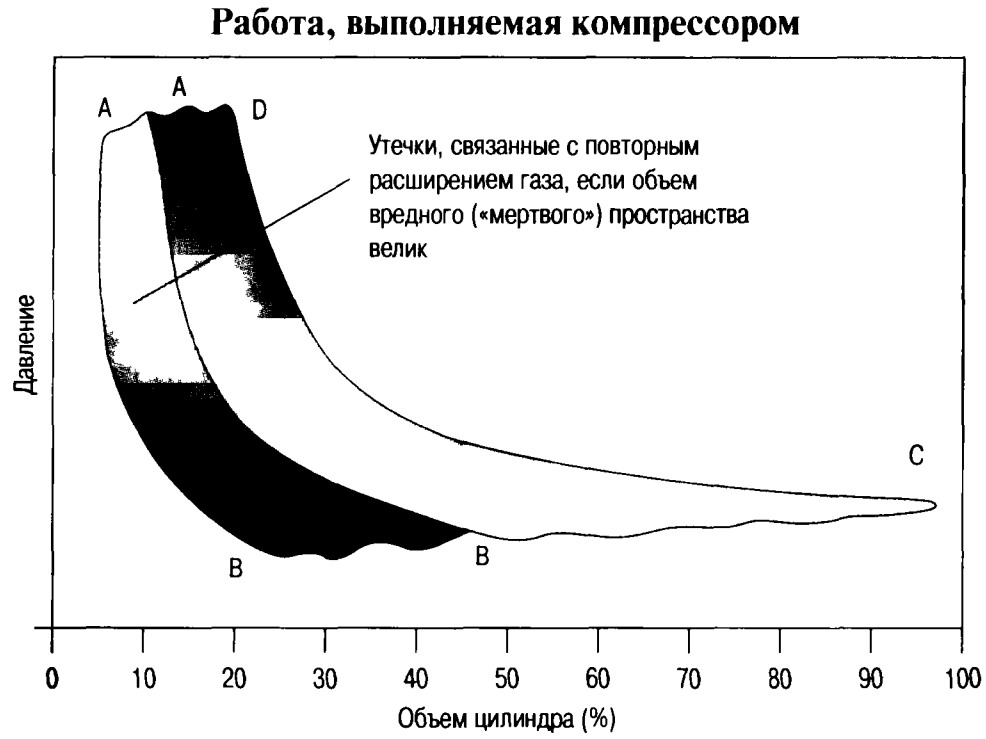


Рисунок 9.5. Реальный цикл сжатия-расширения в поршневом компрессоре. Показаны утечки, связанные с работой всасывающего и выпускного клапанов, приводящие, соответственно, к понижению или повышению давления (точки B и D), и утечки, вызванные повторным расширением газа, остающегося в цилиндре во вредном («мертвом») пространстве.

Герметичный компрессор

Герметичные компрессоры обычно имеют несколько цилиндров и используются для кондиционирования воздуха с использованием хладагентов CFC, HCFC, а в настоящее время и HFC. Внутренний корпус компрессора выполнен из алюминия и располагается в нижней части. В нем находятся цилиндры, основной подшипник вала, каналы подачи газообразного холодильного агента, а в моделях большей мощности — емкость для гашения пульсации холодильного агента и понижения шума и вибрации. В смонтированной на головке цилиндра панели клапанов расположены пластинчатые всасывающий и выпускной клапаны, имеется также аварийный обводной клапан (bypass). Конструкция клапанов оказывает влияние главным образом на объемную производительность, величину пиковых значений компрессии подачи, уровень шума и ресурс компрессора.

Коленвал для моделей малой мощности обычно выполнен из чугуна, а для моделей с мощностью выше 1 кВт — из стали. На нем укреплен ротор электродвигателя. Поршни и шатуны чаще всего алюминиевые.

Корпус представляет собой две оболочки (верхняя и нижняя) из штампованной стали, соединенные периферийной сваркой, из него выведен блок клемм и три медные трубки: всасывания, подачи и вспомогательная.

В моделях самой большой мощности смазка осуществляется шестеренчатым насосом, подсоединенным к коленвалу и погруженным в масленый картер. В моделях меньшей мощности смазка осуществляется с использованием трубочки, вставленной в коленвал, которая опускается ниже уровня масла при работающем агрегате. Специальная спиралеобразная насечка на коленвале позволяет маслу циркулировать под действием центробежной силы, достигая при этом вкладышей шатуна.

В герметичных компрессорах малой мощности используются асинхронные однофазные электродвигатели и трехфазные — в более мощных. Скорость вращения электродвигателей с двумя полюсами составляет примерно 2950 об./мин. Двигатели имеют особую конструкцию, позволяющую производить охлаждение с использованием газообразного холодильного агента, и имеют изоляцию, соответствующую химико-физическим характеристикам последнего. Предельные значения напряжения при нормальном функционировании этих электродвигателей обычно составляют от ±10% относительно номинального. Для облегчения запуска однофазных двигателей, имеющих низкую приемистость, при подключенном компрессоре должны применяться соответствующие меры.

Электродвигатели герметичных компрессоров имеют защиту от перегрева. При правильном использовании соответствующих устройств, располагающихся внутри или снаружи корпуса компрессора, происходит их быстрое срабатывание. В первом случае защитное устройство находится в контакте с обмотками двигателя и при появлении признаков перегрева может срабатывать очень быстро. Защитные устройства, установленные на внешней стороне корпуса компрессора, используются в компрессорах малой мощности, например, в бытовых холодильниках.

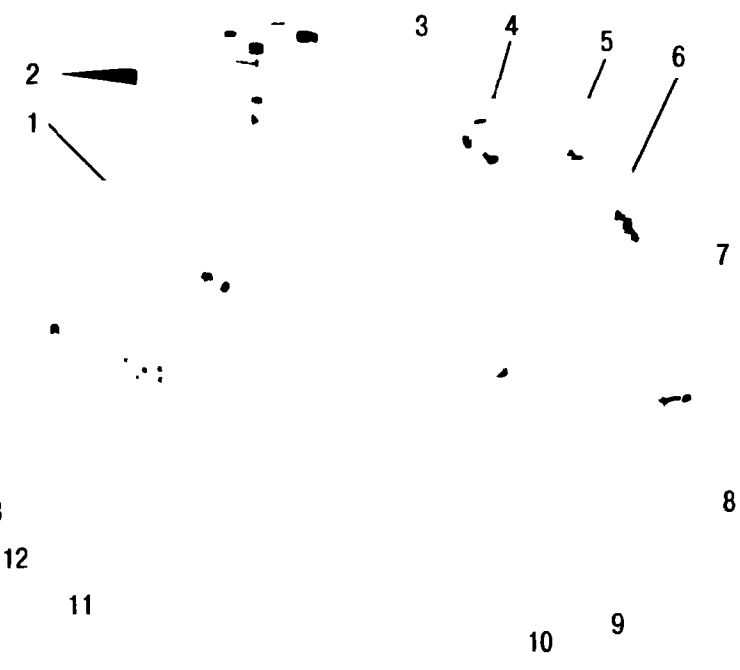
Корпус двигателя-компрессора смонтирован внутри единой оболочки на пружине.

Одноступенчатый полугерметичный компрессор

В настоящем разделе мы рассмотрим обычные компрессоры для кондиционирования воздуха; для компрессоров холодильных установок обычно применяются различные модификации конструкции.

Корпус, в зависимости от модели, может быть выполнен из чугуна с цилиндрами, сделанными непосредственно в корпусе, или в виде «оболочки» с цилиндрами со вставными гильзами (рисунок 9.6). Одна из сторон остается открытой для установки электродвигателя. Затем она закрывается крышкой на болтах. Масляный насос расположен на противоположной стороне. Панель клапанов, располагающаяся над блоком цилиндров, закрывается под соответствующей головкой

В центре корпуса сделано ложе для коленвала. Под ним расположен масляный картер с соответствующей крышкой снизу, крышка картера — на болтах.



1) Электродвигатель
2) Блок клемм
3) Блок шатун-поршень
4) Головка с защитной пружиной для гашения гидравлических ударов
5) Вставная гильза
6) Аварийный клапан
7) Клапан давления масла
8) Дисковый масляный фильтр
9) Контуры смазки
10) Коленвал
11) Ротор
12) Фильтр на линии всасывания
13) Фланец подсоединения линии всасывания

Шестеренчатый масляный насос не виден

Рисунок 9.6. Полугерметичный компрессор в разрезе. Цилиндры имеют вставные гильзы.

Коленвал обычно выполнен из легированной стали горячей штамповки и имеет осевое отверстие для подачи масла; в более мощных моделях применяется более жесткий коленвал из чугуна, менее подверженный вибрации. В обоих случаях он должен пройти статическую и динамическую калибровку.

Шатуны выполнены из алюминия с характеристиками антитрения без вкладышей, за исключением специальных компрессоров, выполненных из сплава алюминия и имеющих подшипники антитрения. Крепление ножки шатуна производится с использованием винтов или винтов и болтов.

Поршни обычно выполнены из алюминия и имеют плоскую либо выпуклую головку. На них имеется маслосъемное кольцо и одно (или несколько) компрессионных. В моделях большой мощности головка поршня обычно имеет выпуклую форму для уменьшения «мертвого» пространства, имеется также два или три компрессионных кольца и одно маслосъемное. Пальцы, выполненные из стали с термообработкой, закрепляются с двух сторон поршня стопорными кольцами. Всасывающий и выпускной клапаны, обычно пластинчатого типа из эластичной стали, установлены на панели клапанов и имеют одну рабочую плоскость. Они обеспечивают надежность функционирования и позволяют упростить конструкцию, что облегчает техническое обслуживание компрессора.

В компрессорах большей мощности применяются дисковые и кольцевые клапаны (рисунки 9.7 и 9.8), имеющие более высокие рабочие характеристики по сравнению с пластинчатыми и позволяющие обеспечить более высокие значения объемной производительности компрессора (рисунок 9.9).



Рисунок 9.7. Пластинчатый (а) и кольцевой (б) клапаны в разобранном виде.

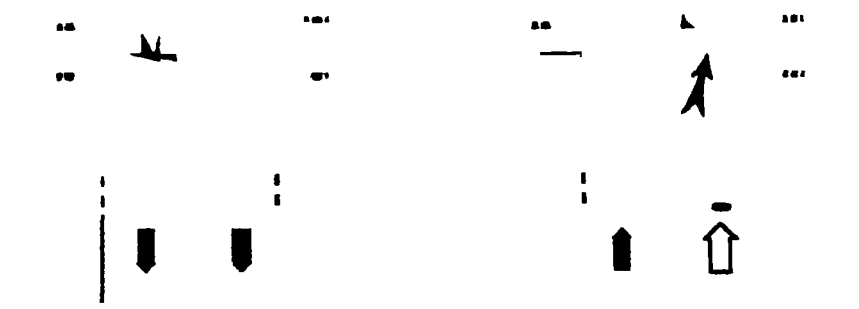
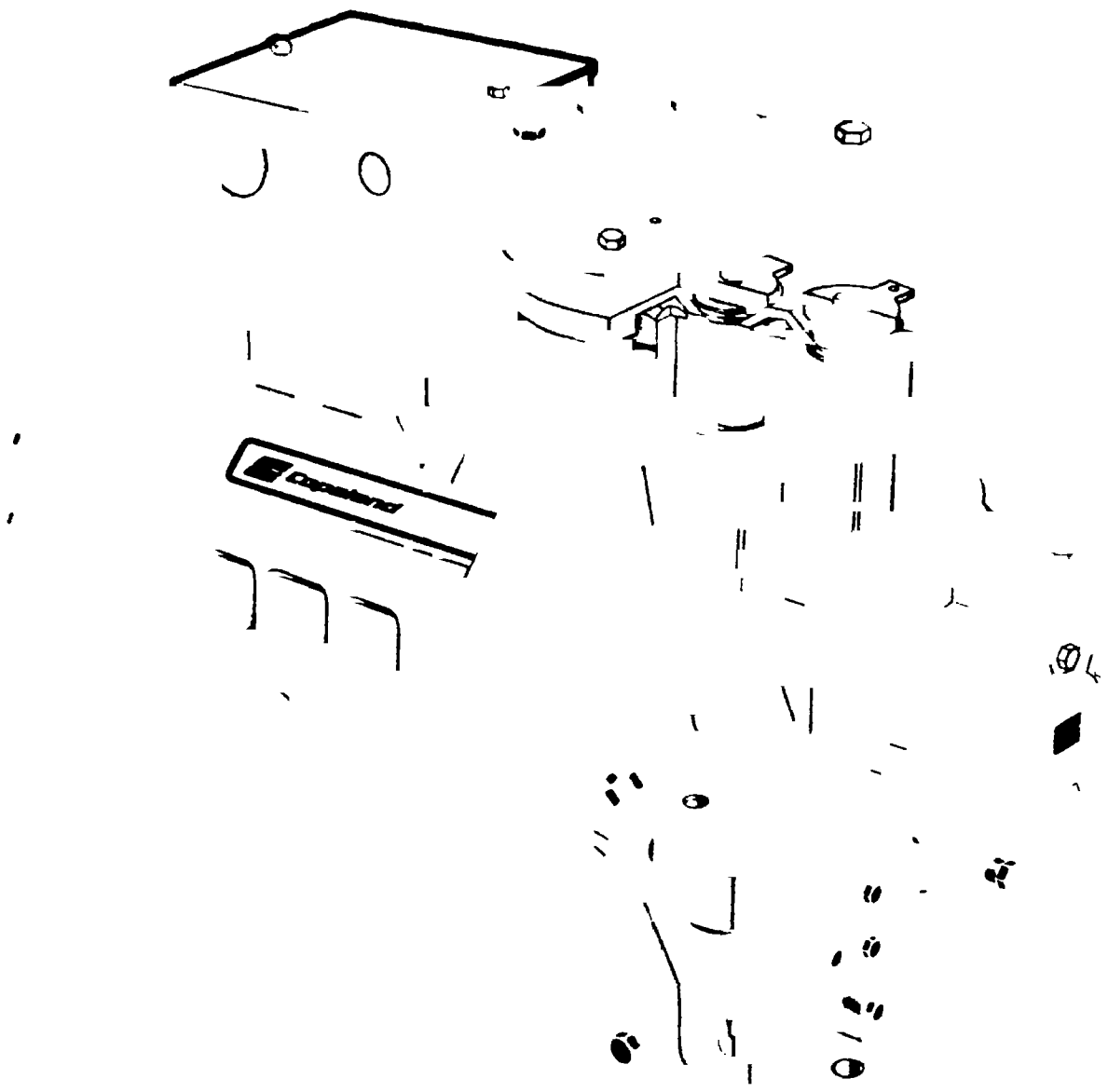


Рисунок 9.8. Типичная схема функционирования пластинчатых клапанов цилиндра на фазе всасывания и выпуска.

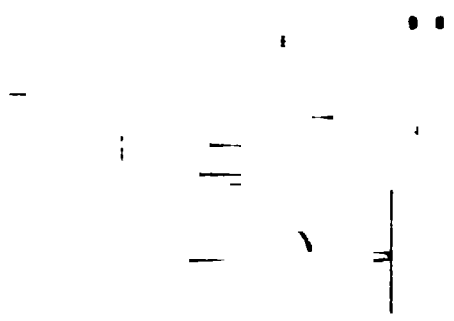
Для смазки обычно используется шестеренчатый масляный насос, приводимый в действие коленвалом и защищенный фильтром со стороны линии всасывания. В контуре смазки имеется магнитная пробка для уловления металлических частиц, образующихся при износе деталей. В масляном картере установлен гильзовый электрический нагреватель, срабатывающий при остановке компрессора. Его задача заключается в предотвращении смешивания масла с холодильным агентом (представляющим опасность при запуске) и миграции холодильного агента при отключенном агрегате.

В полугерметичных компрессорах чаще всего используется асинхронный трехфазный электродвигатель с ротором типа «беличьего колеса». Его коэффициент мощности изменяется с изменением нагрузки от 0,80 в моделях малой мощности, до 0,92 и более в моделях мощностью 75 кВт и более. Коэффициент мощности электродвигателя также возрастает с увеличением его размера.

а)



б)



в)

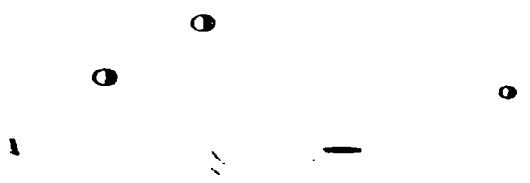


Рисунок 9.9. а) Поршневой полугерметичный компрессор в разрезе; б) внешний вид дискового клапана; в) ход потока газообразного холодильного агента.

Скорость вращения обычно составляет 1450 об./мин. (двигатель с 4 полюсами), но в торговой сети имеются эл. двигатели с двойной полярностью (с 4 и 8 полюсами), имеющими две рабочие скорости: 1450 и 725 об./мин, что позволяет изменять величину холодильной мощности.

Запуск компрессоров

В герметичных компрессорах наиболее часто используется прямой запуск. В полугерметичных же могут использоваться различные системы запуска:
— прямой запуск (для моделей малой мощности);

— запуск звезда-треугольник;
— запуск типа part winding, с разделенными обмотками статора.

Запуск звезда-треугольник. Эл. двигатели, предназначенные для запуска звезда-треугольник, позволяют обеспечить два различных типа подсоединений обмоток статора: звездой или треугольником, что позволяет производить запуск при небольших пусковых токах. Например, в эл. двигателе с номинальным напряжением 380 В с помощью специального коммутатора обмотки сначала соединяются по схеме звезда (получая возможность запуска при пониженном напряжении 220 В); через несколько секунд, когда эл. двигатель набирает рабочие обороты, срабатывает реле времени, производя размыкание соединений по звезде и устанавливая соединение по схеме треугольник, рассчитанное на полное значение напряжения (380 В). Таким образом, потребление электроэнергии понижается, и в еще большей степени понижается пусковой ток. В силу этой причины компрессоры часто запускаются вхолостую, для чего используются соответствующие регуляторы компрессора.

Запуск типа part winding. Эл. двигатели, рассчитанные на этот тип запуска, имеют две полностью изолированные друг от друга обмотки, например, 2/3 + 1/3, 3/5 + 2/5 или другие комбинации, в зависимости от конструкции изготовителя. Обмотки имеют внутреннее подсоединение и действуют параллельно. Соединения не являются сообщающимися, и двигатель может работать только на одном значении напряжения. Первая обмотка (например, 2/3) используется для запуска. С небольшим запозданием (примерно через секунду) должна подсоединяться и вторая обмотка (в нашем примере 1/3). В других случаях обмотки не являются полностью отделенными друг от друга. Преимущество запуска типа part winding заключается в обеспечении снижения потребления тока при запуске приблизительно в 2 раза. В этом случае также может быть использован холостой запуск компрессора.

Существуют другие системы запуска, предусматривающие использование инвертора для обеспечения плавного запуска двигателя, однако они мало распространены и применяются в основном в агрегатах малой мощности.

Охлаждение двигателя

Технические характеристики изоляции обмотки эл. двигателя должны обеспечивать совместимость с химико-физическими характеристиками холодильного агента, как и в случае герметичных компрессоров. Полезно напомнить, что двигатели, установленные в полугерметичных и герметичных компрессорах, охлаждаются газообразным холодильным агентом, а потому имеют установочную мощность ниже эл. двигателей, функционирующих на открытом воздухе, при равенстве величин производимой работы. Наоборот, тепло, передаваемое от двигателя холодильному агенту, вызывает понижение общих показателей функционирования агрегата. В общем плане, при одинаковых объемах цилиндров компрессоров холодильная машина с герметичным компрессором может обеспечить более высокие значения холодильной мощности от 2 до 5%, чем в агрегате с полугерметичным компрессором.

Таким образом, проблеме охлаждения двигателя полугерметичных и герметичных компрессоров следует уделять особое внимание, особенно при переменном режиме функционирования. Как уже говорилось, при снижении температуры испарения увеличивается удельный объем всасываемого газа и в связи с этим уменьшается вес газа, циркулирующего в единицу времени. Если при определенной весовой производительности компрессора не удается переработать все тепло, вырабатываемое двигателем, происходит повышение температуры в обмотках, которое может привести к нарушению изоляции обмотки и к сгоранию самого эл. двигателя. Повышение температуры конденсации также приводит к перегрузкам в работе эл. двигателя с повышением температуры в обмотках и температуры газа в конце цикла сжатия.

Но есть и еще одна опасность в отношении величины перегрева газа на выходе из испарителя, составляющего обычно 4–8°C. Если перегрев по каким-то непредвиденным причинам превышает допустимые нормы, обмотки двигателя подвергаются перегреву, поскольку газ не успевает охлаждать их соответствующим образом из-за их слишком высокой температуры. Еще одной потенциальной причиной неисправностей являются слишком частые запуски, поскольку эл. двигатель не успевает переработать тепло, накапливаемое после каждого пикового режима.

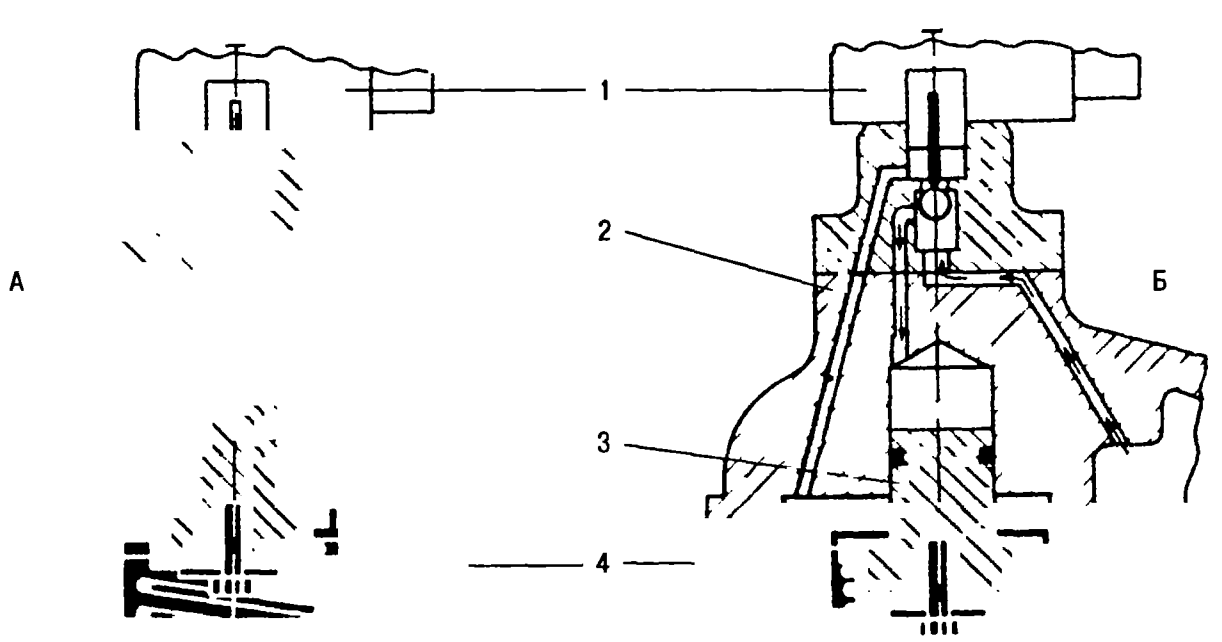
Защита двигателя от перегрева обеспечивается чаще всего путем установки электронных устройств, срабатывающих быстро и своевременно. Нередко применяются два встроенных термистора, устанавливаемых в обмотках эл. двигателя, один со стороны входа и один на выходе холодильного агента из двигателя. Термисторы соединены с внешним электронным блоком, который в случае разбалансировки подает сигнал отключения электропитания, вызывая остановку компрессора.

Существует также тенденция устанавливать датчик температуры на линии нагнетания газообразного холодильного агента компрессора для контроля температуры в конце компрессии. Устанавливаются также автоматические выключатели, калиброванные таким образом, чтобы обеспечить защиту от скачков тока.

Регулировка холодильной мощности

Регулировка холодильной мощности широко применяется в полугерметичных компрессорах выше определенного номинала мощности. Кроме приведения в соответствие потребности объекта и производительности компрессора, она имеет два других позитивных момента: поддерживает постоянный режим функционирования компрессора, ограничивая число запусков/остановок, что позволяет снизить потребление электроэнергии.

Современные устройства регулировки холодильной мощности, вмонтированные в компрессор, обеспечивают, главным образом, закрытие всасывающего клапана одного или нескольких цилиндров, что не допускает совершения полезной работы контролируемыми цилиндрами. Действительно, в них, происходит постоянное сжатие и расширение одного и того же газа. Обычно используют соленоидные клапаны, управляемые термостатом регулировки работы агрегата. На рисунке 9.10 показана принципиальная схема функционирования системы контроля холодильной мощности, используемой в ряде моделей одним из крупных изготовителей компрессоров. Она основана на использовании соленоидного клапана, установленного в головке контролируемого цилиндра. Когда соленоидный клапан срабатывает по команде с термостата, его приводной поршень присоединен к участку высокого давления компрессора посредством специального канала. Давление на подаче сохраняет всасывающий клапан в положении «закрыто вниз», прижимая соответствующую пружину. Тем самым клапан перекрывает канал всасывания на панели клапанов и препятствует поступлению газа в цилиндр. Компрессор же продолжает функционировать с частичной загрузкой с меньшими величинами холодильной мощности. Почти в той же пропорции снижается величина потребляемой электроэнергии, вследствие чего компрессор работает с большой эффективностью даже при частичных нагрузках. Распространены также прессостатические клапаны, приводящиеся в действие давлением сжатого газа, перекрывающие доступ к контролируемым цилиндрам при понижении давления ниже определенного уровня.



А) Функционирование с полной нагрузкой
Б) Функционирование с частичной нагрузкой
1. Соленоидный клапан
2. Головка цилиндра
3. Приводной поршень
4. Панель клапанов

Рисунок 9.10. Схема функционирования устройства для регулировки холодильной мощности ряда полугерметичных компрессоров.

Еще одной системой регулировки холодильной мощности, получающей все большее распространение, является контроль скорости, изменение которой является важным элементом оптимизации потребления энергии. В герметичных компрессорах малой мощности для изменения режима функционирования и связанных с этим значений часто используют инверторы; в компрессорах же большей мощности подобное решение является пока нерентабельным.

Параллельные полугерметичные компрессоры

При параллельном соединении большинства полугерметичных компрессоров используется общий холодильный контур. Установки, выполненные с этим типом соединения компрессоров, должны быть специально спроектированы с особыми нормами изготовления и эксплуатации для надежного обеспечения нужных режимов функционирования.

Основным преимуществом параллельного соединения компрессоров является увеличение холодильной мощности за счет использования нескольких (обычно не более 6) компрессоров на одном и том же контуре. Такая схема позволяет лучше регулировать холодильную мощность при частичных нагрузках.

В подобных установках особенную роль играет выравниватель (эквалайзер) давления масла и всасываемого газа между разными компрессорами. Действительно, возникновение разницы давления в картерах компрессоров при их функционировании может привести к утечкам масла из картера, находящегося в худших условиях, с риском полной потери им смазки. Эта опасность существует также при функционировании с частичной нагрузкой, когда один или несколько компрессоров отключены. В настоящее время используют две наиболее распространенные методики решения этой проблемы:

— установка эффективных линий выравнивания давления между компрессорами;

— обеспечение смазки с индивидуальной регулировкой подачи масла в каждый компрессор.

Помимо решения проблемы циркуляции масла, необходимо в то же время обеспечить достаточно высокую температуру перегрева на терморегулирующем клапане даже при минимально возможной частичной нагрузке.

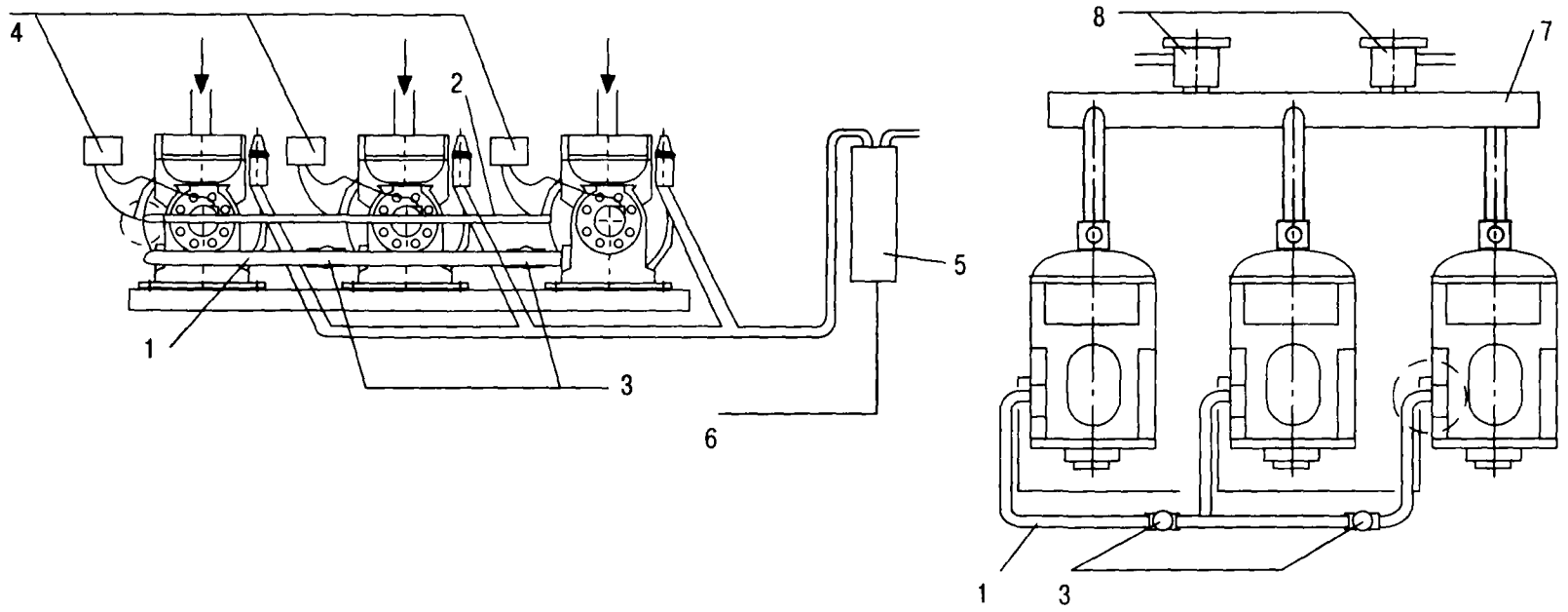
Линии выравнивания давления

При функционировании компрессора значения давления в картере и в линиях всасывания коллектора не совпадают. Хотя разница давлений на этих участках является незначительной, ее достаточно для влияния на уровень масла. Необходимое выравнивание давления масла может быть обеспечено путем установки специальной линии, соединяющей все компрессоры на уровне их смотровых стекол: речь идет о трубке со строго горизонтальным положением, заполненной маслом только наполовину для обеспечения выравнивания давлений без изменения самого уровня масла. Диаметр такой трубки зависит от мощности компрессора. Как правило, чем он больше, тем лучше значения выравнивания давлений. Кроме того, необходимо предусмотреть еще одну линию на уровне отверстий для залива масла, ее диаметр должен быть не менее 10 мм. Соответствующая схема монтажа показана на рисунке 9.11.

Однако, установка подобных линий требует большого практического опыта. Необходимо убедиться, что скорость газа в контурах всегда достаточная для перемещения масла при самых низких рабочих режимах. Поэтому такая система используется чаще всего на моноблочных агрегатах заводского изготовления, на уже установленном оборудовании предпочтение отдается независимой подаче масла.

Подача и независимая регулировка масла

Система независимой подачи масла к отдельным компрессорам из общей резервной емкости позволяет обеспечить нормальное функционирование даже при небольшой разнице давлений между картерами различных компрессоров. Эта методика заключается в установке общего сепаратора масла, общей резервной емкости для масла и нескольких регуляторов уровня масла, по одному на каждый компрессор. Регуляторы устанавливаются на место смотрового стекла. Рабочая схема показана на рисунке 9.12. Регуляторы уровня масла имеют свои смотровые стекла для обеспечения возможности контроля уровня масла, производимого через 10 секунд после остановки компрессора. Если контроль произвести раньше, на значения будут оказывать влияние продолжающие действовать компрессоры.



1) Комбинированная линия выравнивания давления и масла
2) Линия выравнивания давления
3) Смотровое стекло
4) Аварийный прессостат масла
5) Сепаратор масла
6) Линия возврата масла
7) Всасывающий коллектор
8) Ложе фильтра

Рисунок 9.11. Параллельные компрессоры с комбинированными линиями выравнивания давления и масла.

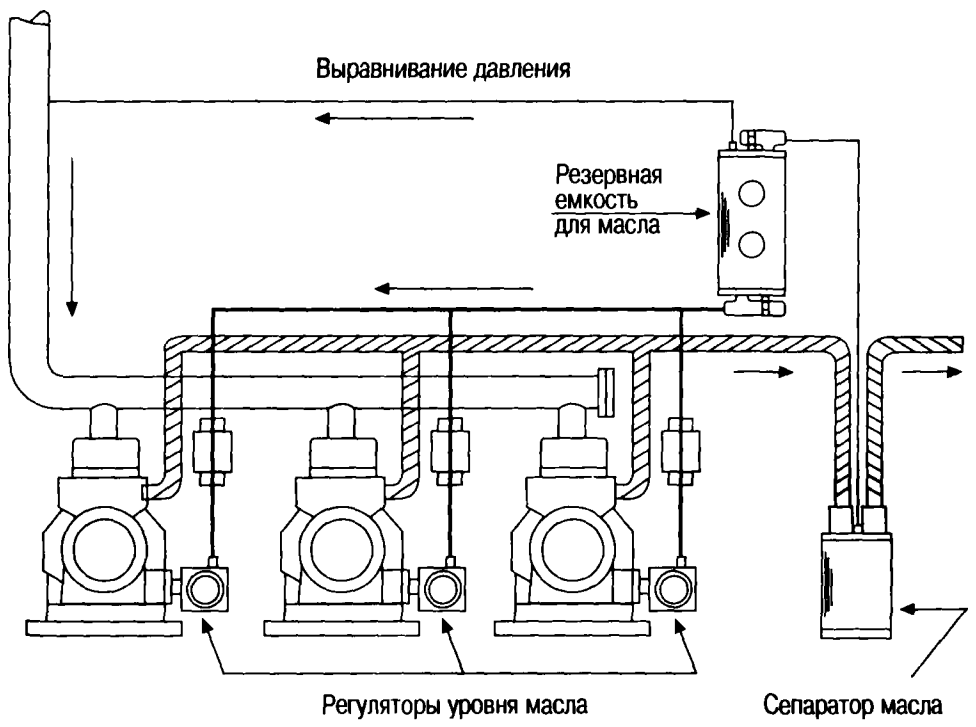


Рисунок 9.12. Параллельные компрессоры с независимой системой питания и регулировки масла для каждого компрессора.

Всасывающий коллектор

Линии всасывания отдельных компрессоров должны соединяться общими коллекторами, позволяющими производить выравнивание давления, которое тем больше выравнивается, чем больше диаметр коллекторов. Соединительные трубки между компрессором и коллектором должны иметь одинаковый диаметр и длину. Всасывающий коллектор должен выполнять также роль сепаратора жидкости, поскольку некоторая часть жидкого холодильного агента может случайно вернуться к компрессорам. Кроме того, учитывая особенности линий, для каждого компрессора рекомендуется установить соответствующий фильтр на участке всасывания. Это может быть как простой сетчатый фильтр, так и фильтр-осушитель.

Коллектор подачи

Для предотвращения возврата холодильного агента в цилиндры отключенных компрессоров необходимо установить коллектор на линии подачи слегка под наклоном в сторону, противоположную направлению движения газа. Его значение заключается в том, что при охлаждении цилиндров они начинают выполнять функцию конденсаторов, вызывая конденсацию газа и образование жидкости. Что приводит к возникновению гидравлических ударов при следующем запуске со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Типичная конструкция установок этого типа предусматривает монтаж одного компрессора вблизи другого, даже с отличающимися характеристиками, для обеспечения лучших условий питания масла и выравнивания давлений. На рисунке 9.13 показана подобная холодильная установка с тремя параллельными компрессорами.



Рисунок 9.13. Холодильная установка с тремя параллельными компрессорами. Следует обратить внимание на вентиляторы охлаждения головок компрессоров.

Открытый компрессор

Основным отличием открытого компрессора от герметичного является использование в нем внешнего двигателя. Этот компрессор оснащен валом, выступающим за пределы корпуса и служащим для подсоединения к двигателю. Сегодня открытые компрессоры используются в основном в промышленных установках и на транспорте: автомобилях, автобусах, контейнерах-холодильниках, судах и пр. Кроме отличий, связанных с использованием двигателя, между открытыми и полугерметичными компрессорами существуют основные схожие черты.

Выход вала за пределы корпуса компрессора обуславливает необходимость соответствующего уплотнения для предотвращения утечек газа и проникновения воздуха. Среди различных типов уплотнений вала наиболее распространенным является вращающееся уплотнение (рисунок 9.14), состоящее из металлического рукава-гармошки, параллельного коленвалу, и кольца из углеродистого материала, прижимаемого пружиной к пластине крышки самого уплотнения.

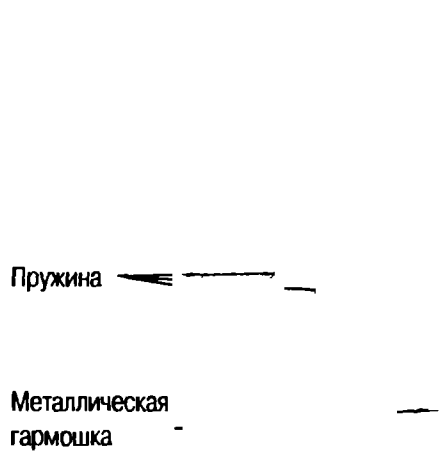


Рисунок 9.14. Схема вращающегося уплотнения вала, используемая в открытых компрессорах.

Рукав-гармошка вращается вместе с коленвалом, в то время как графитовое кольцо скользит по гладкой поверхности пластины крышки.

Соединение компрессора с двигателем бывает двух типов:

– прямое;
– шкивно-ременное.



При прямом соединении, наиболее распространенном в настоящее время, компрессор вращается с той же скоростью, что и двигатель; соединение производится с использованием эластичного уплотнения между валом двигателя и валом компрессора (рисунок 9.15).

Рисунок 9.15. Открытый компрессор, соединенный напрямую с внешним двигателем. Соединение осуществляется с использованием эластичного уплотнения (на фото закрыто защитным экраном).

Соединение с использованием клино-ременной передачи позволяет обеспечить желаемую скорость вращения вала компрессора простым подбором шкивов подходящих диаметров. Ремни имеют трапециевидную форму, и их количество определяется мощностью передачи. При этом типе соединения возникают нагрузки на изгиб вала компрессора, которые не всегда имеют допустимые значения и, кроме того, приводят к ускоренному износу уплотнения вала.

Открытые компрессоры обычно снабжены устройством для обеспечения запуска на холостом ходу, что позволяет избежать перегрузок эл. двигателя.

ГЛАВА 10

Эксплуатация и рабочие режимы компрессоров scroll

Механические и рабочие характеристики 125
Трехразмерная адаптация 125
Отсутствие износа и повышение ресурса 126
Условия запуска 126
Механическая надежность 127
Смазка 127
Холодильные показатели и показатели потребления энергии 129
Функционирование в режиме кондиционирования 130
Функционирование в режиме теплового насоса 130
Параллельные компрессоры 132
Компрессоры типа «Тандем» 132
Эксплуатация компрессоров scroll 133
Действия при запуске 133
Кратковременные сбои напряжения в сети 134
Действия для остановки работы 134
Подсоединения электропитания 134
Распайка компонентов установки 135

Компрессоры scroll отличаются наличием двух расширяющихся спиралей, или спиралей Архимеда (рисунок 10.1), расположенных одна в другой; при этом создаются зазоры (карманы) серповидной формы.

Во время компрессии верхняя спираль остается неподвижной, в то время как нижняя спираль, укрепленная на эксцентрике вала, совершает эллипсовидные (не круговые) движения. При этом газ засасывается в два больших внутренних кармана, расположенных диаметрально противоположно по отношению к друг другу. Сначала они прогрессивно закрываются, затем перемещаются к центру спиралей, уменьшаясь в объеме и производя сжатие газа. Когда карманы доходят до центра спирали, газ находится уже под давлением подачи и выпускается наружу через отверстие, имеющееся в центре неподвижной спирали.

Рисунок 10.1. Монтаж двух спиралей, составляющих основу компрессора scroll. Нижняя спираль вращается (на рисунке она уже установлена в корпус компрессора), верхняя спираль остается неподвижной (в руке сборщицы).

В ходе компрессии при каждом витке спирали газ, находящийся в разных симметричных карманах, одновременно сжимается, создавая очень однородный, лишенный пульсации поток газа. Как фаза всасывания (во внешней части спиралей), так и фаза подачи (во внутренней части) происходят почти непрерывно (рисунок 10.2). Особенности описанного процесса определяют некоторые характеристики компрессоров scroll, перечисленные ниже:

— отсутствие клапанов всасывания и подачи, имеющее два важных преимущества перед поршневыми компрессорами:
  а) повышение КПД цикла вследствие отсутствия потерь давления, вызываемых работой самих клапанов;
  б) снижение общего уровня шума вследствие отсутствия шума, создающегося при открытии и закрытии клапанов в момент их соприкосновения с панелью клапанов.
— повышение объемной производительности, приближающейся к 100% вследствие отсутствия вредного («мертвого») пространства;
— сокращение количества подвижных деталей, вследствие чего уменьшается опасность возникновения поломок.

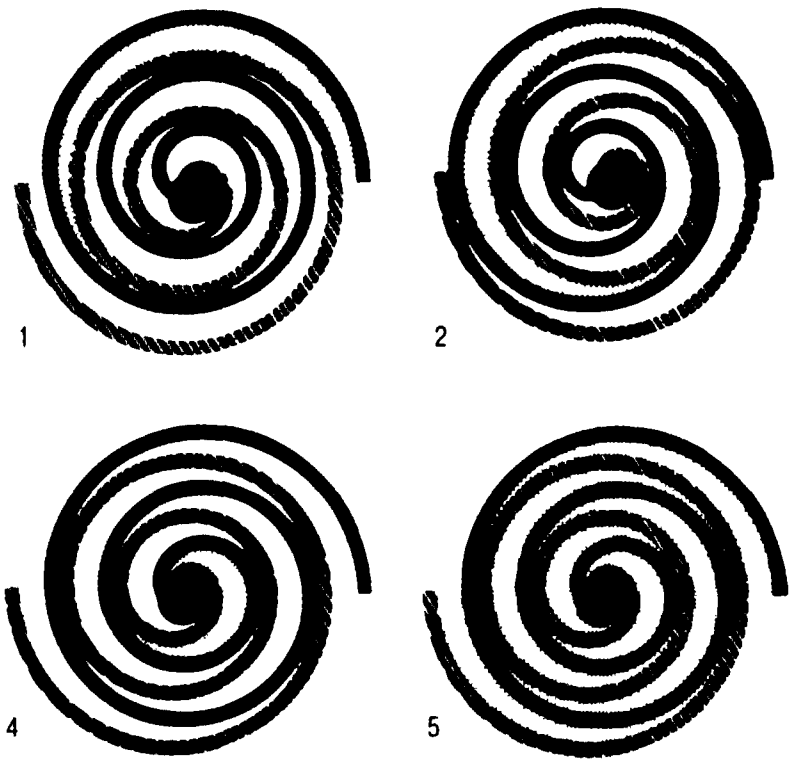


Рисунок 10.2. Фазы всасывания, сжатия и подачи газа между спиралями компрессора scroll. Создается 6 карманов серповидной формы с газом, обеспечивающих на различных стадиях компрессии, при нормальном функционировании, почти постоянный поток газа на всасывании и подаче.

Механические и рабочие характеристики

Функционируя на основе одного принципа, компрессоры scroll, в зависимости от модели и изготовителя, имеют значительные технологические и механические различия.

Компрессоры scroll «Compliant», производимые известной мультинациональной компанией, отличаются особой «адаптацией» (приспосабливаемостью), являющейся важным механическим свойством для нормального и продолжительного функционирования.

Трехразмерная адаптация

Типичный образец компрессора «Compliant» показан на рисунке 10.3. Электродвигатель находится в нижней части жесткого корпуса, вал при помощи эксцентрика обеспечивает эллипсовидное движение подвижной спирали, вставленной в неподвижную спираль, установленную в верхней части компрессора. Штуцер подключения линии всасывания газообразного холодильного агента находится выше уровня двигателя, который не охлаждается холодильным агентом, если не считать косвенное охлаждение. Штуцер подачи расположен в верхней части корпуса, выше уровня выпускного отверстия неподвижной спирали.

При нормальных условиях функционирования подвижная спираль надавливает на неподвижную спираль под действием центробежной силы, в то время как давление газа противодействует сжатию. Несмотря на это, взаимодействие указанных сил рассчитано таким образом, чтобы обеспечить оптимальный режим поддержания давления между двумя спиралями даже при очень незначительном объеме поступления газа, при этом устраняется также вредное воздействие имеющихся в газе загрязнений и капель жидкости.

Осевые силы контакта между спиралями регулируются, главным образом, за счет давления газа на неподвижную спираль, смонтированную на эластичной основе, компенсирующей ее колебания. Это сбалансированное взаимодействие приводит к уменьшению как нагрузки на основные плоскости подвижной спирали, так и сил трения между двумя спиралями. Осевой контакт вследствие этого продолжительное время поддерживается на постоянном уровне, не приводит к износу деталей при значительном снижении потребления электроэнергии по сравнению с другими моделями компрессоров, использующих жесткий монтаж спиралей.

Адаптация двух спиралей происходит в трехмерном измерении, то есть они могут отдаляться друг от друга при компрессии как в радиальной плоскости, так и по оси. Таким образом, понижается вредное воздействие на компрессор проникновения холодильного агента в жидком состоянии или твердых частиц загрязнения, поскольку две спирали расходятся в радиальной плоскости, или, в чрезвычайных

случаях, подвижная спираль приподнимается, и таким образом жидкость и загрязнения выталкиваются во внешнее пространство.

Благодаря этой особенности компрессоры scroll «Compliant» являются более устойчивыми, чем поршневые компрессоры и компрессоры с вращающимся ротором, в отношении гидравлических ударов, которые могут возникать при запуске или впоследствии в процессе работы с пониженной тепловой нагрузкой. В силу этих причин в большинстве случаев не возникает необходимость устанавливать на холодильном контуре сепаратор жидкости или накопительную емкость на линии всасывания, являющуюся неотъемлемым атрибутом поршневых компрессоров и компрессоров с вращающимся ротором.

Рисунок 10.3. Компрессор scroll «Compliant» в разрезе: электродвигатель расположен в нижней части, две спирали находятся в верхней части. Видно отверстие выпуска газа подачи и отсутствие клапанов.

Отсутствие износа и повышение ресурса

Как уже говорилось, в компрессоре scroll «Compliant» две спирали производят между собой контакт типа «металл-металл» как в радиальной плоскости (бок о бок), так и по вертикали (между срезом одной спирали и дном другой). Второй тип контакта разработан таким образом, чтобы исключить установку уплотнительной прокладки, устанавливающейся на других типах компрессоров scroll'в желобок на краях спиралей.

Преимущества отсутствия прокладок достаточно очевидны, учитывая их неизбежный износ. Кроме того, контакт «металл-металл» приводит по мере функционирования к прогрессивному возрастанию плотности прилегания спиралей, поскольку происходит своего рода их притирка. Поэтому не только не происходит снижения рабочих значений, наоборот, при функционировании компрессора эффективность его работы со временем возрастает.

Действительно, из-за того, что подвижная спираль «вращается» по поверхности неподвижной спирали с минимальным трением, примерно через 70 часов функционирования поверхности спиралей доводятся до «зеркального» состояния. Повышающаяся таким образом эффективность работы компрессора сохраняется на весь срок его эксплуатации.

Условия запуска

Характерной особенностью компрессора scroll «Compliant» является то, что он всегда запускается вхолостую, даже при несбалансированном давлении в контуре. Это происходит за счет установки обратного клапана на линии подачи компрессора, закрывающемся при его остановке. В этих условиях в картер возвращается только газ, сжатый в компрессоре до места установки клапана, проходя при этом через спирали; тем самым осуществляется выравнивание внутреннего давления При остановке компрессора две спирали размыкаются, как по вертикали, так и по горизонтали.

При новом запуске компрессор не испытывает нагрузки, поскольку возрастание давления происходит постепенно: только при достижении им рабочего давления в контуре подачи клапан открывается и неразрывность контура восстанавливается.

Пиковые режимы имеют меньшее воздействие на компрессор и при пониженном напряжении. Одноступенчатые компрессоры не требуют ни установки конденсатора запуска, ни соответствующего реле. Нагрузка на двигатель как при пуске, так и при нормальном рабочем режиме ниже, чем для других моделей компрессоров потому, что процессы всасывания и компрессии являются практически непрерывными. Для сравнения, нагрузка при вращении компрессора scroll при одном полном обороте вала является гораздо более равномерной, чем в поршневом компрессоре, где она меняется на каждом участке движения поршня; это также приводит к уменьшению нагрузки на обмотки эл. двигателя.

Механическая надежность

Компрессор scroll оснащен соответствующей внутренней системой защиты от повышенных соотношений давлений, состоящей из подвижного кольца (плавающее уплотнение), расположенного между неподвижной спиралью и полостью создания давления для нагнетания. При нормальном функционировании оно служит механическим уплотнением между участками высокого и низкого давления. Когда же в моделях для кондиционирования воздуха соотношение давлений превышает 10:1 (при чрезвычайных ситуациях в контуре), плавающее уплотнение отделяется от своего ложа, позволяя газу под высоким давлением перемещаться со стороны линии подачи к участку низкого давления. Модели для холодильных установок могут функционировать при более высоких показателях соотношения давлений, до 20:1.

В некоторых моделях используется система защиты против слишком большой разницы давлений, которая может возникнуть вследствие непредвиденного случая (например, при поломке вентилятора конденсатора). Эта система состоит из внутреннего обводного клапана (bypass), расположенного между участками высокого и низкого давления, открывающегося при превышении установленного значения разницы давлений (28 бар).

Защита от повышенных температур на линии подачи в зависимости от модели может осуществляться с использованием термостата или эквивалентного ему датчика. В компрессоре scroll температура газа на подаче, при прочих равных условиях, ниже, чем в поршневом компрессоре, поскольку всасываемый газ в меньшей степени подвержен разогреву со стороны электродвигателя. Это позволяет обеспечить функционирование конденсаторов и холодильных групп при более низких температурах конденсации со всеми вытекающими отсюда положительными последствиями.

При функционировании компрессоров scroll «Compliant» не возникает вибрации вследствие равномерности процессов всасывания и сжатия газа. Это положительно сказывается на работе всего холодильного контура, на котором установлен этот компрессор: значительно ниже вибрация, передаваемая на другие детали и соединения, в отношении которых имеется опасность возникновения поломки, что способствует повышению ресурса всей установки.

Смазка

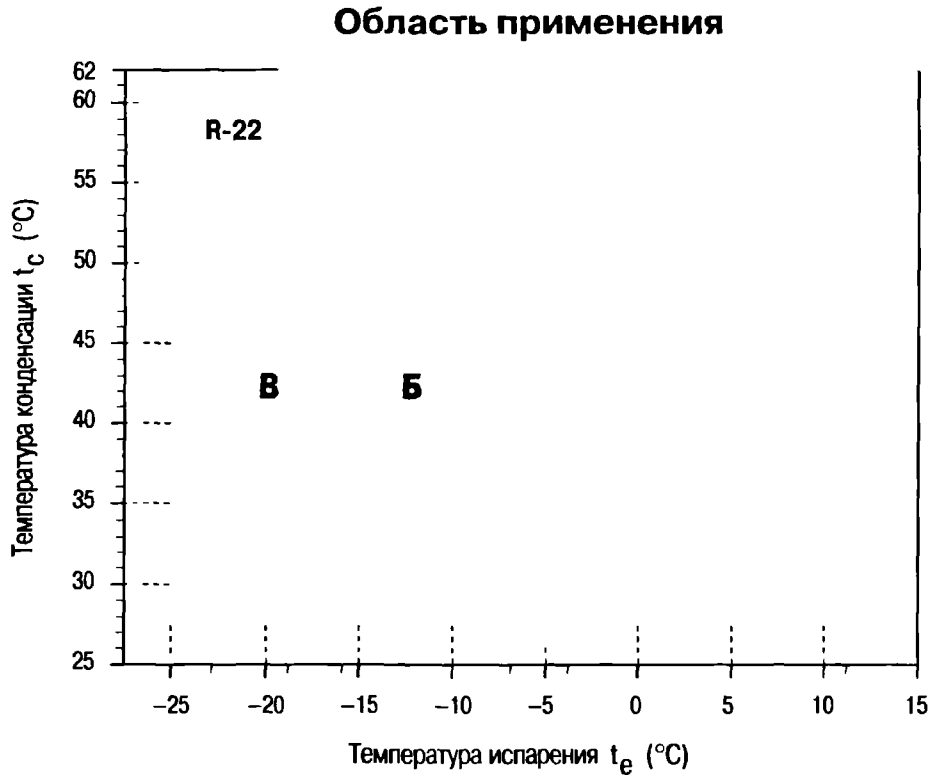
Еще одним существенным отличием компрессоров scroll от традиционных поршневых компрессоров является система смазки; действительно, масло в них служит только для смазки подшипников и плавающего уплотнительного кольца, тогда как прямой смазки спиралей не требуется вследствие малой скорости вращения и силы трения в каждой точке контакта. Взвеси масла в перемещаемом газообразном холодильном агенте более чем достаточно для обеспечения необходимой смазки, ввиду чего масло не подвергается воздействию высоких температур и давления компрессии, которые могли бы со временем привести к нарушению его характеристик, как это происходит в поршневых компрессорах, сохраняя большее время свою стабильность и продлевая срок службы смазки. Другим позитивным моментом является более высокая способность противодействия миграции масла, например при запуске, или возникновению кратковременных периодов переноса масла со стороны жидкого холодильного агента.

Область применения компрессоров scroll для кондиционирования воздуха распространяется на все виды кондиционирования гражданских объектов, на системы тепловых насосов (ввиду возможности работать при высоких температурах конденсации) и на многие виды промышленных холодильных систем.

На рисунке 10.4 показана область применения при температурах испарения от –23 до 12,5°С. В ее пределах существуют ограничения, обусловленные различными условиями на линии всасывания. Во всех случаях не требуется обеспечения дополнительной вентиляции.

Наличие упомянутых выше ограничений продиктовано необходимостью ограничения температуры подачи газа в пределах 143°С.

Наряду с моделями для кондиционирования воздуха разработан ряд специальных компрессоров «Compliant» для холодильных установок, способных функционировать при средних и низких температурах с использованием или без инжектирования пара или жидкости. Область применения таких компрессоров представлена на рисунке 10.4.



Диапазоны:

А) Температура всасывания газа 25°С

Б) Перегрев всасываемого газа 20 К

В) Перегрев всасываемого газа 11 К

Рисунок 10.4. Область применения ряда компрессоров scroll «Compliant» для кондиционирования воздуха с использованием холодильного агента R-22.

Схемы инжектирования пара или жидкости в компрессорах scroll для холодильных установок представлены на рисунке 10.5.

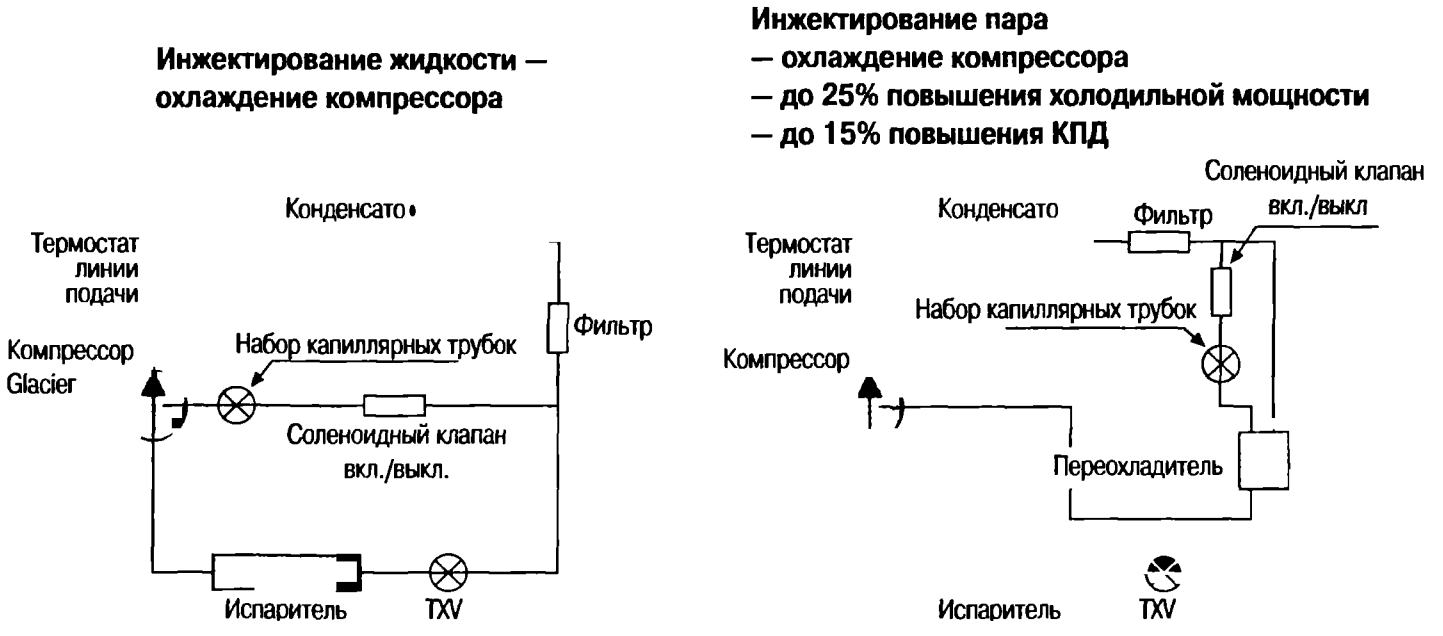


Рисунок 10.5. Схема инжектирования пара и жидкости в компрессоре scroll для холодильной установки. Инжектирование исключает случаи опасного повышения температуры газа на подаче при очень низкой температуре испарения. Инжектирование пара, кроме того, повышает энергетическую эффективность функционирования.

Холодильные показатели и показатели потребления энергии

Компрессор scroll, как уже говорилось, обеспечивает очень высокую объемную производительность, близкую к 100%, поэтому его рабочий объем меньше равного по мощности поршневого компрессора.

На рисунке 10.6 приводится сравнение объемной производительности компрессора scroll и соответствующего ему поршневого компрессора: разница между производительностью двух компрессоров существенно возрастает с увеличением соотношения давлений.

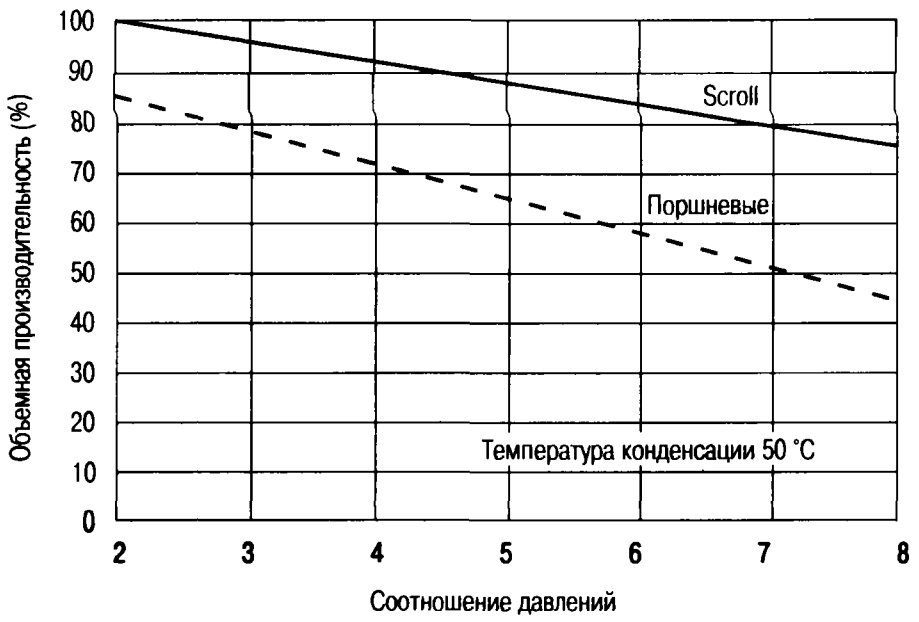


Рисунок 10.6. Сравнение значений объемной производительности компрессора scroll «Compliant» и поршневого компрессора равной мощности с R-22.

Необходимо учитывать, что в компрессоре scroll сжатый газ не расширяется в конце цикла, как это происходит в поршневых компрессорах, и, соответственно, не возникает потерь энергии. Следует также иметь в виду, что в них не происходит предварительного разогрева всасываемого газа за счет контакта с газом подачи, поскольку два потока газа разделены между собой многочисленными перегородками спиралей, затрудняющих теплообмен. Это позволяет перекачивать большие массы газа при том же его объеме, что повышает общую производительность компрессора. Отсутствие трубок и клапанов внутри компрессора также способствует повышению энергетической эффективности.

Благодаря всему этому комплексу преимуществ компрессор scroll «Compliant» имеет более высокую производительность, чем традиционные поршневые компрессоры. При условиях ARI, касающихся компрессоров для кондиционирования воздуха, средний холодильный коэффициент (COP) составляет 3,3, что на 10–20% выше, чем у поршневых компрессоров с мощностью от 1,5 до 10 кВт (рисунок 10.7).

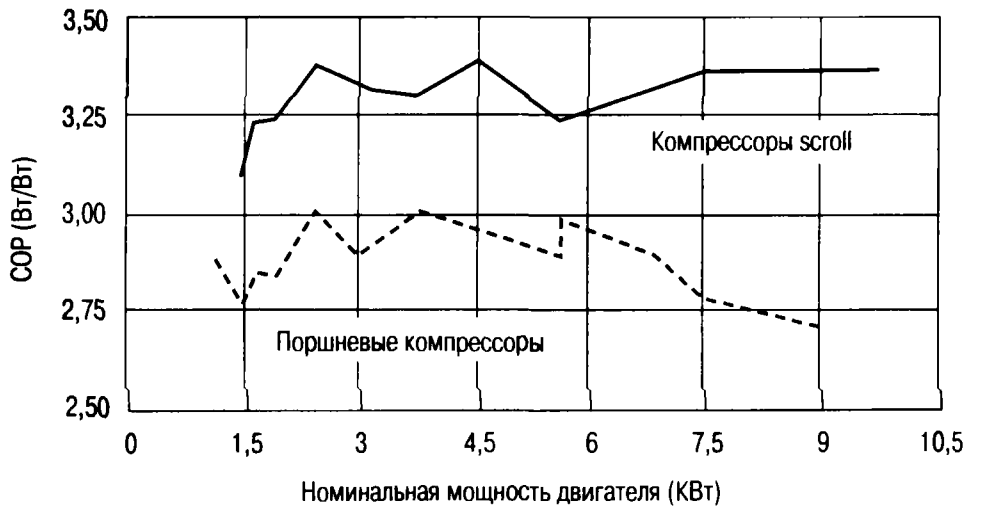


Рисунок 10.7. Сравнение холодильного коэффициента (COP) компрессора scroll «Compliant» и поршневого компрессора при работе в режиме кондиционирования воздуха с использованием R-22.

Функционирование в режиме кондиционирования

Высокая объемная производительность компрессора scroll имеет значительный положительный эффект при его использовании для обеспечения комфорта в помещении: кривая вырабатываемой компрессором мощности относительно температурной нагрузки имеет пологий наклон. Это отличие от поршневого компрессора можно увидеть на рисунке 10.8, иллюстрирующем зависимость холодильной мощности относительно температуры конденсации. В компрессоре scroll холодильная мощность сохраняется практически неизменной, что равнозначно постоянному режиму функционирования компрессора с меньшим количеством циклов остановки/запуска по сравнению с типичными поршневыми компрессорами; благодаря этому обеспечивается более эффективный и продолжительный контроль относительной влажности в помещении. Для сравнения, поведение поршневого компрессора противоположное, вследствие чего возникают частые остановки/запуски при снижении нагрузки, неизбежно приводящие к сокращению ресурса компрессора.

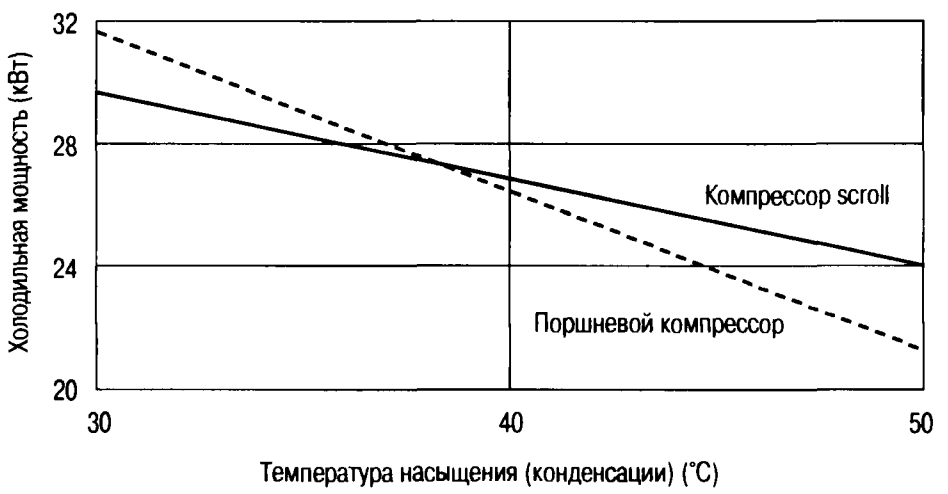


Рисунок 10.8. Зависимость холодильной мощности компрессора от температуры конденсации. При повышении температуры конденсации кривая холодильной мощности компрессора scroll имеет меньший наклон, чем у поршневого компрессора.

Компрессор scroll, учитывая его большую объемную производительность, перерабатывает меньшее количество газа по сравнению с поршневым компрессором при равных значениях холодильной мощности.

Температура газа на нагнетании у компрессора scroll ниже, поскольку органичен внутренний перегрев всасываемого газа, вследствие чего уменьшается и давление конденсации.

Функционирование в режиме теплового насоса

Компрессор scroll «Compliant» функционирует с большой эффективностью также в режиме теплового насоса, по сравнению с поршневым компрессором. Низкая температура испарения оказывает меньшее влияние на его работу. На рисунке 10.9 приводится сравнение кривых мощности нагрева относительно температуры испарения при постоянном значении температуры конденсации 50°C. По сравнению с компрессором scroll, кривая поршневого компрессора является более крутой. Это означает, что поршневой компрессор при снижении температуры испарения ниже нуля имеет большие потери тепловой мощности, в то время как компрессор scroll лучше сохраняет значения производимой тепловой мощности при снижении внешней температуры.

На рисунке 10.10 приводится сравнение кривых тепловой и холодильной мощности компрессоров scroll и поршневых, можно увидеть, что при работе в режиме теплового насоса тепловая мощность компрессора scroll понижается меньше, а в режиме охлаждения его функционирование является более сбалансированным. На рисунке 10.11 показаны графики эффективности работы компрессора, выраженные в соответствующих значениях COP. Показатели компрессора scroll явно лучше при охлаждении и при работе в режиме теплового насоса при внешней температуре до 0°C. При более низкой температуре его показатели близки к показателям поршневого компрессора.

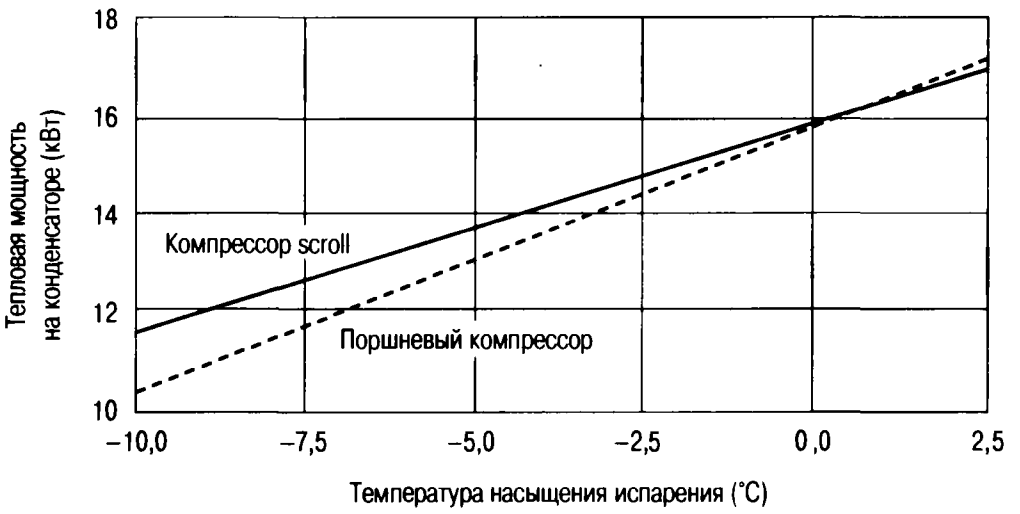


Рисунок 10.9. Кривые функционирования в режиме теплового насоса компрессора scroll «Compliant» и поршневого относительно температуры испарения. Кривая компрессора scroll менее наклонная по сравнению с кривой поршневого компрессора: при низких внешних температурах компрессор scroll вырабатывает большую тепловую мощность.

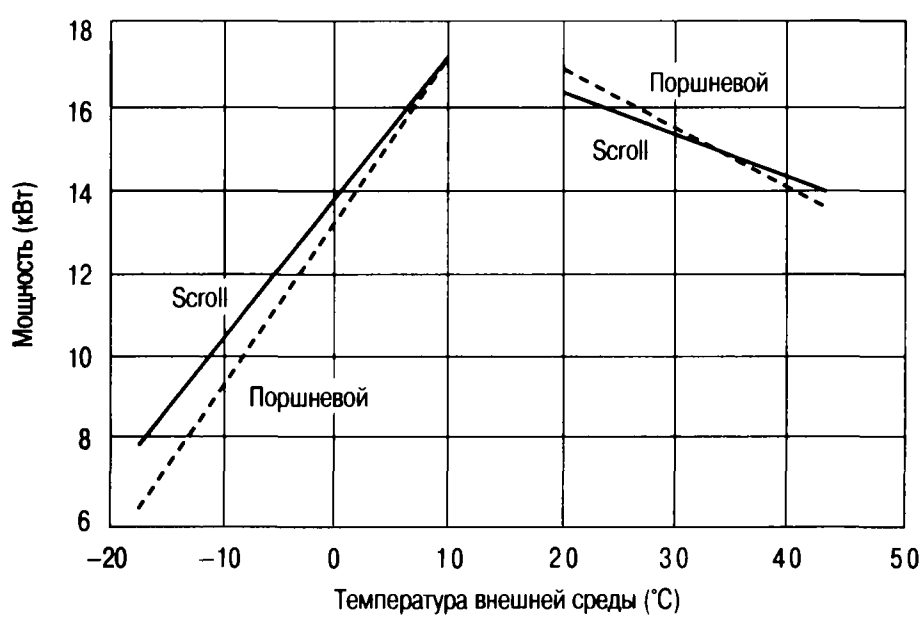


Рисунок 10.10. Сравнение значений холодильной мощности и тепловой мощности, вырабатываемой двумя агрегатами воздушного охлаждения, один из которых имеет компрессор scroll, а другой — поршневой компрессор аналогичной мощности, относительно температуры внешней среды. Очевидны более высокие показатели компрессора scroll при работе в режиме теплового насоса при низких температурах внешней среды, при работе в режиме охлаждения — при более высокой температуре.

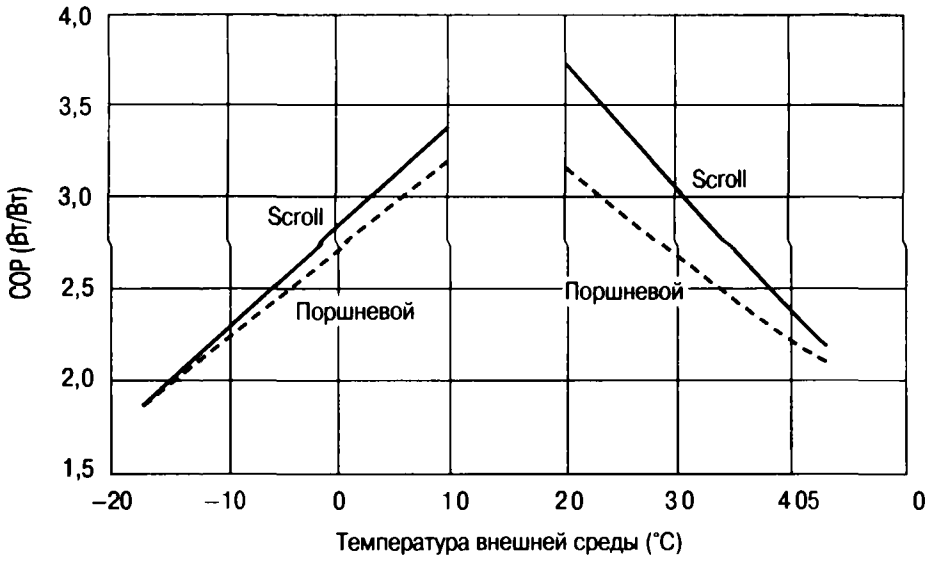


Рисунок 10.11. Сравнение показателей COP при работе в режиме теплового насоса и в режиме охлаждения двух агрегатов воздушного охлаждения (с R-22), один из которых имеет компрессор scroll, а другой — поршневой компрессор аналогичной мощности, относительно температуры внешней среды

$$COP\ (\text{холодильный коэффициент}) = \frac{\text{мощность охлаждения (либо нагрева)}}{\text{потребляемая мощность}}$$

Параллельные компрессоры

Компрессоры scroll могут работать в параллельном режиме с использованием соответствующей системы выравнивания уровня масла с применением индивидуальных клапанов на поплавке для каждого компрессора, питаемых от общих сепаратора масла и резервной емкости. Обычно для установки клапана на поплавке необходимо снять смотровое стекло и навинтить специальный адаптер в его гнездо. Линии всасывания компрессоров должны иметь одинаковую длину и форму и подсоединяться к единому всасывающему коллектору. Хорошая конструкция коллектора способствует выравниванию давлений всасывания и обеспечивает нормальный возврат масла, являясь также одновременно и накопителем жидкости, препятствуя ее возврату в компрессор. Опыт в этой области показал, что основные проблемы связаны с ошибками при проектировке системы параллельного подсоединения; в этих случаях необходимо использовать специально спроектированные установки, прошедшие соответствующие испытания.

Коморессоры типа «Тандем»

Компрессоры типа «Тандем» состоят из двух компрессоров, поставляемых параллельно подсоединенными друг к другу на заводе-изготовителе (рисунок 10.12). По сравнению с одним компрессором равной мощности, они имеют некоторые преимущества:

— эффективный контроль мощности с возможностью отключения одного из компрессоров (модуляция);
— более высокая надежность, меньшее число циклов запуска/остановки по сравнению с одним компрессором большой мощности;
— снижение пускового тока, компрессоры могут запускаться с некоторой паузой между запуском каждого из них;
— запас надежности, поскольку при выходе из строя одного из компрессоров функционирование с частичной нагрузкой продолжается;
— меньшие расходы по замене, в случае поломки одного из компрессоров, расходы на его замену ниже, чем при замене отдельного компрессора большей мощности.

Когда работает только один компрессор, давление в корпусе действующего компрессора несколько ниже давления всасывания. Создается поток газообразного холодильного агента через корпус неработающего компрессора до корпуса действующего компрессора. Этот поток может переносить масло от корпуса неработающего компрессора до корпуса действующего компрессора. Линия выравнивания давлений газа помогает сбалансировать давление между двумя корпусами и поддерживать одинаковый уровень масла в обоих компрессорах. Если соединительные каналы нарушаются, компрессор может быть использован в установках на отдельном компрессоре как штатная единица.

При эксплуатации в параллельном режиме каждый компрессор должен иметь смотровое стекло. Уровень масла должен проверяться после запуска установки, а также периодически, когда оба компрессора отключены для того, чтобы обеспечить наличие масла под индикатором смотрового стекла.

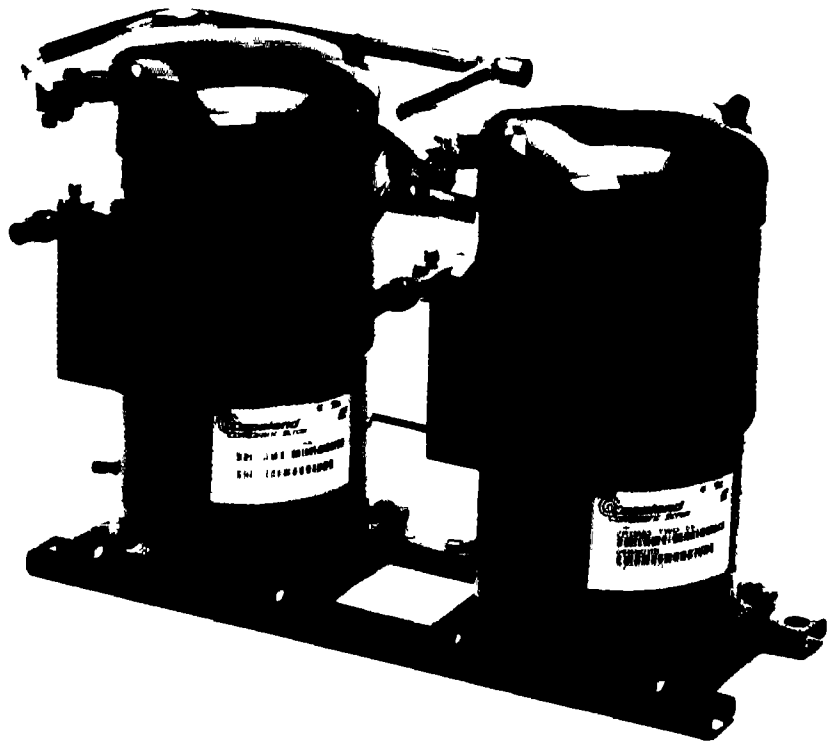


Рисунок 10.12. Компрессоры scroll «Тандем».

Два компрессора, соединенные в «Тандем», жестко закрепляются на стальных рамах с использованием стальных шайб. Жесткий монтаж необходим для ограничения нагрузки на трубки двух компрессоров. Компрессоры должны монтироваться как можно ближе друг к другу для того, чтобы уменьшить длину соединительных линий выравнивания давления газа и масла, так как чем короче линии, тем выше показатели выравнивания. Схема системы «Тандем» показана на рисунке 10.13.

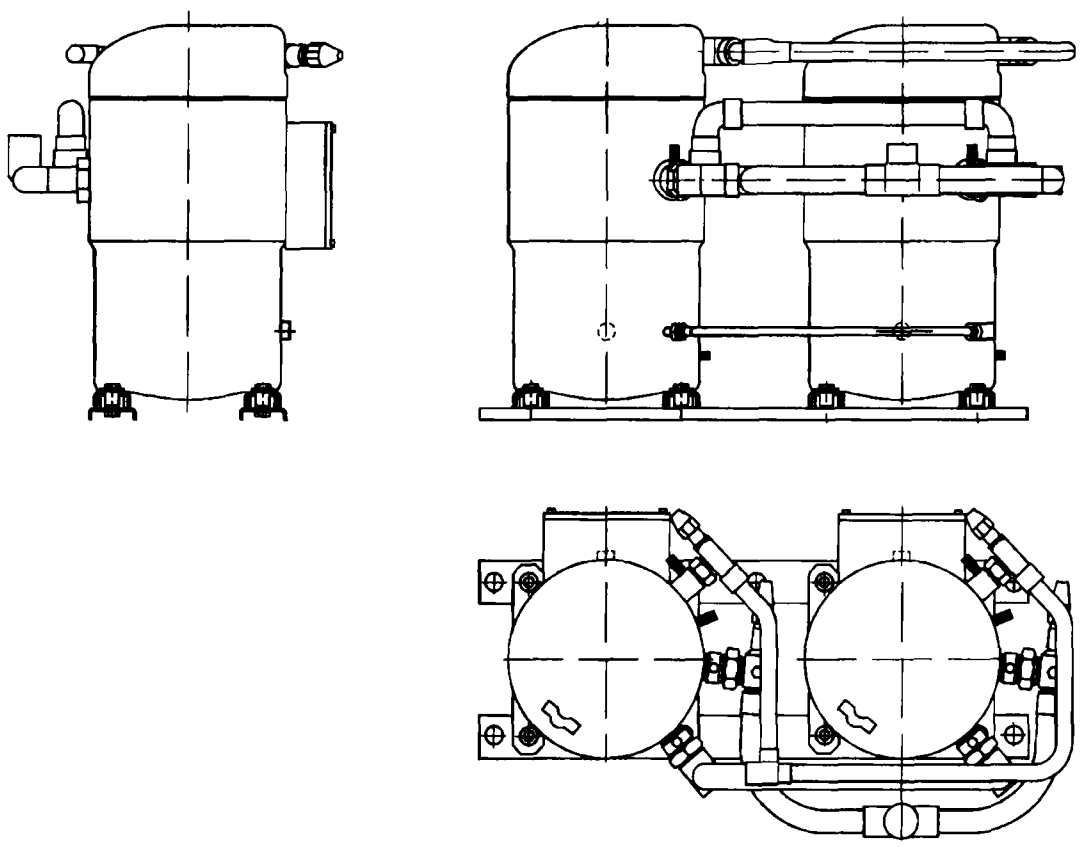


Рисунок 10.13. Схема монтажа системы «Тандем» с двумя параллельными компрессорами scroll.

Агрегат крепится болтами к раме, устанавливающейся на идеально ровном основании для обеспечения эффективного выравнивания уровней обоих компрессоров. Между основанием и компрессорами должны быть проложены антивибрационные резиновые прокладки. Для подсоединения всасывающих и нагнетательных трубок используются гибкие трубки или антивибрационные муфты.

Рекомендуется отрегулировать агрегат таким образом, чтобы при запуске компрессоры меняли свою очередность. Это обеспечивает равномерность их износа и делает работу агрегата более надежной. Кроме того, таким образом исключается возникновение нежелательных ситуаций, когда при функционировании на малых режимах один компрессор продолжительное время остается отключенным ввиду отсутствия необходимости.

При увеличении холодильной мощности обычно требуются более сложные конструкции контуров. В этом случае рекомендуется установка сепаратора масла.

Эксплуатация компрессоров scroll

Компрессоры scroll имеют отличные от поршневых компрессоров технические характеристики, поэтому их функционирование на некоторых рабочих режимах также имеет некоторые отличия, которые должны быть изучены специалистами, ведущими техническое обслуживание и эксплуатацию установки. Основные отличия проявляются при запуске и остановке агрегата.

Действия при запуске

В момент запуска компрессоров scroll слышится характерный непродолжительный и несильный металлический звук, создаваемый вступлением спиралей в соприкосновение. Для одноступенчатых компрессоров не требуется использование какого-либо устройства для запуска, даже если на установке имеются терморегулирующие вентили без системы выравнивания давления (эквалайзера).

Ввиду особенностей конструкции компрессоров scroll, компрессия всегда начинается без наличия холодильного агента на начальной фазе, даже если не производится балансировка давления в установке. Кроме того, в связи с тем, что величины давления внутри компрессоров при запуске являются всегда сбалансированными, компрессоры scroll лучше запускаются при низком напряжении.

Кратковременные сбои напряжения в сети

В некоторых одноступенчатых компрессорах scroll старой конструкции при коротком (менее полсекунды) прерывании напряжения в сети может возникнуть инверсия направления вращения вала. Это связано с высоким давлением перекачиваемого газа, расширяющегося в промежутках между спиралями из-за отсутствия тока, вызывая вращение подвижной спирали в обратном направлении. Если при вращении спирали в обратном направлении восстанавливается напряжение в сети, компрессор в течение нескольких минут может продолжать функционировать с вращением спирали в том же направлении с созданием характерного шума, пока не сработает внутренний предохранитель. Это никак не сказывается на сроке службы компрессора. Когда предохранитель возвращается в исходное положение, компрессор возобновляет нормальное функционирование.

Для устранения шума и потери холодильной мощности, вызванной вращением спирали компрессора в противоположном направлении, изготовители рекомендуют устанавливать электронные датчики, определяющие сбой напряжения и отключающие компрессор на пять минут от контура. Этот датчик должен быть соединен с другими рекомендуемыми устройствами для регулировки работы установки. В трехфазных компрессорах он не требуется.

Действия для остановки работы

Компрессоры scroll позволяют обеспечить хорошие показатели расширения газа, поэтому при остановке может возникнуть вращение в обратную сторону на непродолжительное время при выравнивании внутренних давлений. Это мгновенное изменение направления вращения спиралей, как и в случае сбоев напряжения в сети, никак не сказывается на ресурсе компрессора и является нормальным. В некоторых моделях клапан предотвращения возврата на выпускном штуцере препятствует вращению компрессора в обратном направлении более чем на одну–две секунды. В других компрессорах при трехфазном питании используется внутреннее устройство, так называемый «гидравлический тормоз», снижающий, хотя и не устраняющий совсем, шум при остановке.

Подсоединения электропитания

Компрессоры scroll, как и многие другие типы компрессоров, производят компрессию только при определенном направлении вращения. В однофазных компрессорах проблема направления вращения не возникает, поскольку они запускаются и функционируют всегда с одним и тем же направлением вращения (за исключением вышеупомянутых случаев). Трехфазные компрессоры могут вращаться в обоих направлениях в зависимости от подключения фаз к клеммам. Поскольку существует 50%-ная вероятность подключения фаз, способных вызвать обратное вращение компрессора, необходимо разместить таблички с инструкциями и рекомендациями по подключению в соответствующих местах агрегата для обеспечения правильного направления вращения при монтаже и функционировании установки.

Проверка правильности направления вращения производится методом визуального наблюдения за снижением давления всасывания и увеличением давления подачи при запуске компрессора. При вращении в неправильном направлении возникает больший шум, чем при нормальном функционировании, и уменьшается потребляемая электроэнергия по сравнению с величинами, указанными в таблице производительности. Кроме того, через несколько минут работы срабатывает внутренний предохранитель, останавливающий компрессор.

Также желательно устанавливать фазовый монитор (реле контроля фаз), отключающий компрессор при изменении чередования фаз.

Распайка компонентов установки

В случае удаления холодильного агента из установки, имеющей компрессор scroll (что производится простым выпуском его со стороны высокого давления), может иметь место закрытие спиралей, пре-

пятствующее выравниванию давлений в компрессоре; в этом случае часть корпуса со стороны низкого давления и линии всасывания может оказаться герметично закрытой. Если при ремонте поднести пламя сварки к этим компонентам установки, то учитывая, что сторона низкого давления компрессора и линия всасывания находятся под давлением, смесь холодильного агента и масла при выходе из контура может воспламениться. Для предупреждения этой опасности, прежде чем производить распайку компонентов установки, необходимо проверить манометры высокого и низкого давления. При ремонте агрегата рекомендуется производить выпуск холодильного агента с обеих сторон, как высокого, так и низкого давления. Персонал, производящий работы, должен получить соответствующие инструкции.

ГЛАВА 11

Эксплуатация и рабочие режимы винтовых и центробежных компрессоров

Компрессоры с двойным винтом 137
Всасывание, сжатие, выпуск 139
Смазка, уплотнение, охлаждение 140
Рабочие режимы 141
Регулировка холодильной мощности 141
Одновинтовые компрессоры 144
Всасывание, сжатие, выпуск 145
Смазка, уплотнение, охлаждение 145
Регулировка холодильной мощности 146
Механические характеристики 146
Соединения запараллеленных винтовых компрессоров 146
Эксплуатация винтовых компрессоров 148
Циркуляция масла 148
Охлаждение масла 150
Перегрев всасываемого газа и переохлаждение жидкости 152
Заправка холодильного агента 152
Техническое обслуживание винтовых компрессоров 152
Центробежные компрессоры 152
Работа насоса 157
Техническое обслуживание 157

Винтовые компрессоры для холодильных установок и установок для кондиционирования воздуха изготавливаются в двух решениях: с двойным и с одинарным винтом. Оба типа имеют горизонтальную полугерметичную конструкцию. Для промышленных холодильных установок эти компрессоры изготавливаются также с конструкцией открытого типа, с внешним двигателем. Кроме того, по крайней мере одна фирма-изготовитель на мировом рынке производит также ряд вертикальных компрессоров с двойным винтом герметичного типа, то есть заключенных в герметичный (запаянный) корпус.

Винтовые компрессоры, используемые обычно исключительно в промышленных целях или для переработки продуктов, сегодня все больше распространяются и в бытовом применении для кондиционирования воздуха. По сравнению с промышленными моделями бытовые являются в значительной степени более облегченными и компактными.

В настоящее время большая часть винтовых компрессоров работает на холодильных агентах HCFC-22 и HFC-134a, однако существуют и одновинтовые агрегаты новой разработки, в которых используется новый холодильный агент HFC-410A. Некоторые другие модели в холодильном секторе работают на HFC-404A и HFC-507.

Винтовые компрессоры завоевывают все больше позиций в диапазоне мощности от 300 до 1000 кВт, обычно в холодильных агрегатах с воздушным или водяным охлаждением. В этом диапазоне мощностей их использование позволяет значительно снизить количество необходимых компрессоров по сравнению с поршневыми компрессорами, что имеет ряд следующих преимуществ: меньшие габариты и вес, меньший объем технического обслуживания, большая надежность и более продолжительный ресурс. У винтовых компрессоров гораздо меньше подвижных частей конструкции по сравнению с поршневыми, что снижает потребность в техническом обслуживании и повышает надежность функционирования.

Холодильные группы, снабженные винтовыми компрессорами, являются технически более совершенными, чем поршневые компрессоры, и характеризуются рядом следующих особенностей:

- использование электронных клапанов расширения;
- наличие сепаратора и охладителя масла (не на всех моделях);
- система регулировки и управления микропроцессорами с особыми характеристиками, позволяющими дистанционно управлять холодильной установкой;
- компрессия только при одном определенном направлении вращения (в отличие от поршневых компрессоров). При ошибочном подсоединении ступеней запуск не производится, так как срабатывает предохранитель;
- охлаждение двигателя при помощи инжектирования жидкости (в некоторых моделях);
- прямой привод компрессора со стороны двухполюсного двигателя (2950 об./мин) или посредством шестеренчатой передачи (до 14000 об./мин и более);
- очень большая роль системы смазки, где масло имеет три функции: сама по себе смазка, уплотнение между винтами для удержания газа и охлаждение винтов.

Ответственные за техническое обслуживание и эксплуатацию должны хорошо знать отличия агрегатов таких типов от других, иметь соответствующую подготовку и понимать отличия их технических характеристик.

Компрессоры с двойным винтом

Компрессоры с двойным винтом имеют два стальных ротора, «мужской» и «женский», с асимметричным профилем, входящих один в другой наподобие шестерней, находясь в одном корпусе. Асимметричный профиль (рисунок 11.1) имеет более сложную конструкцию по сравнению с симметричным, использовавшимся ранее. Благодаря такой конструкции повышается эффективность его работы. Допуски при обработке поверхностей роторов являются минимальными: 10 мкм.

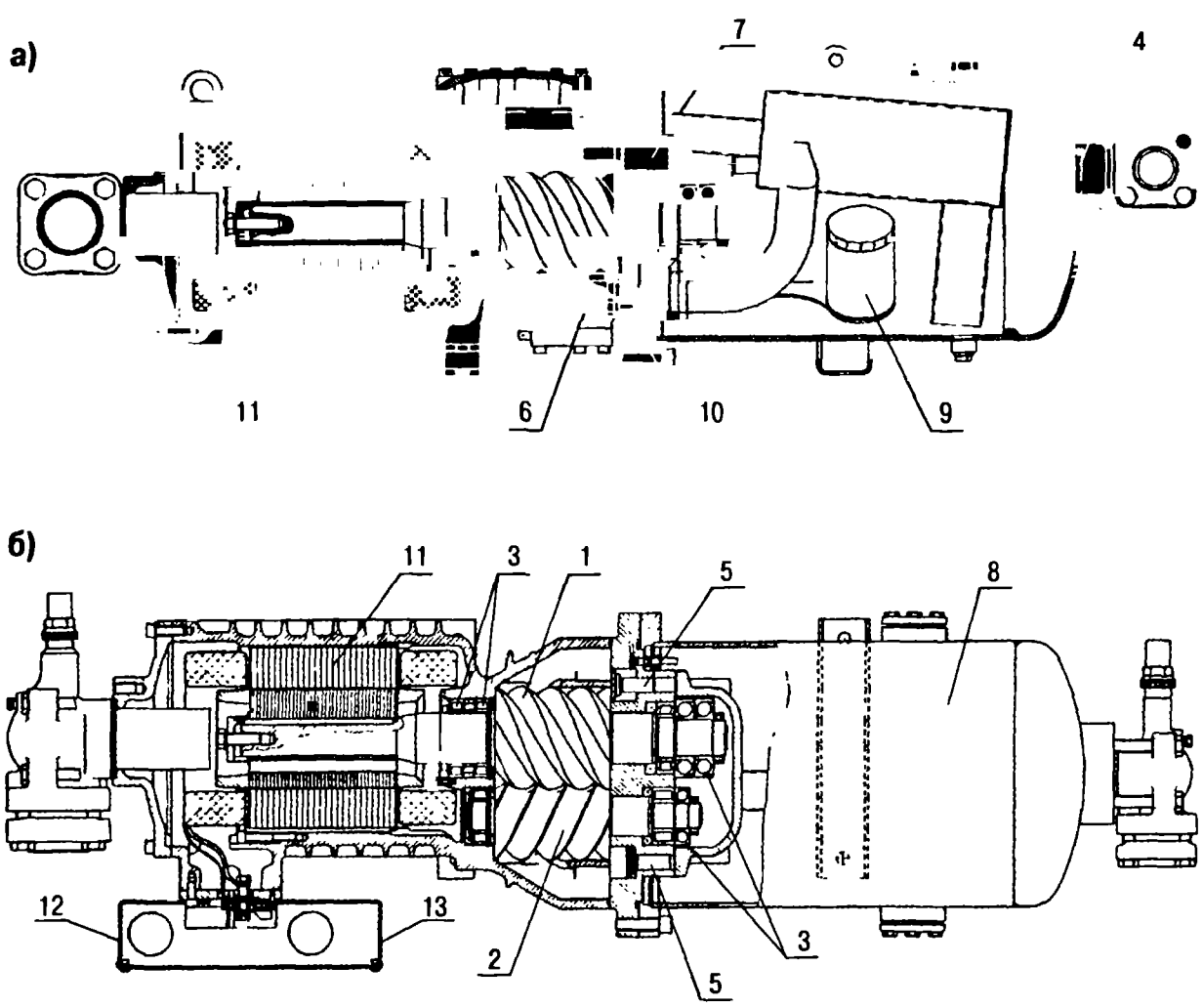
Существуют три наиболее распространенных типа конструкции таких роторов:

1. 4 витка мужских + 6 витков женских, используемые главным образом в холодильных установках большой мощности;
2. 5 витков мужских + 6 витков женских;
3. 5 витков мужских + 7 витков женских.

Роторы этого типа хорошо себя зарекомендовали в установках малой и средней мощности.

Вариант конструкции 5 + 7 витков имеет два преимущества: высокие значения жесткости самих роторов и более высокие значения регулировки холодильной мощности (в самых новых моделях). Передача вращательного момента от двигателя на роторы может производиться различными способами. Наиболее распространенным является прямое соединение мужского ротора с двухполюсным двигателем с передачей вращения на женский ротор. Скорость ротора при токе 50 Гц, равна 2950 об./мин (рисунок 11.2). В другом варианте используется шестеренчатая передача (рисунок 11.3).

Рисунок 11.1. Роторы компрессора с двойным винтом с асимметричным профилем 5 + 7 витков.



1) Ротор мужской
2) Ротор женский
3) Подшипники
4) Обратный клапан
5) Датчик мощности, холостой запуск
6) Датчик сверхкомпрессии
7) Аварийный клапан
8) Сепаратор масла
9) Масляный фильтр
10) Предохранитель на температуру газа подачи
11) Двигатель
12) Клеммы
13) Защита двигателя

Рисунок 11.2. Прямое соединение двигателя с компрессором с двойным винтом: а) вид сбоку; б) вид сверху.

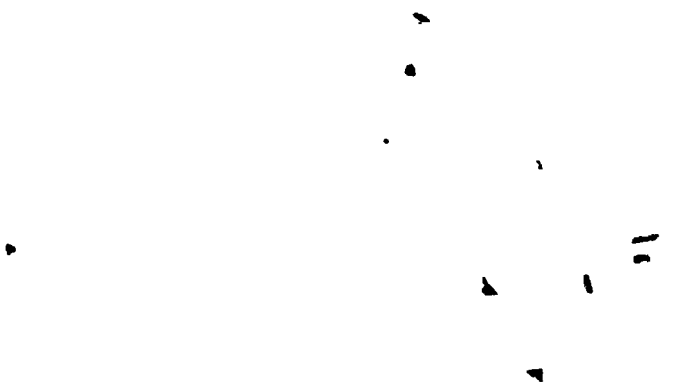


Рисунок 11.3. Монтажная схема компрессора с двойным винтом с шестеренчатой передачей.

Всасывание, сжатие, выпуск

Вращение роторов со стороны всасывания компрессора создает пониженное давление, способствующее всасыванию газообразного холодильного агента. Газ поступает в свободное пространство между витками роторов, которые образуют подобие карманов (рисунок 11.4), тогда как при постоянном вращении роторов создается новое свободное пространство для всасывания газа. Всасываемый газ перемещается в непрерывно совершающих поступательное движение карманах. Этот процесс происходит безостановочно, и с уменьшением пространства между витками роторов увеличивается давление газа. Когда тыльные стороны витков роторов достигают зоны выпуска, газ приобретает максимальное давление и выпускается через отверстие подачи.

Бесспорным преимуществом винтового компрессора, в отличие от поршневого, является непрерывность вращения роторов, позволяющих выпускать весь сжатый газ. В поршневых компрессорах в связи с наличием «мертвого» пространства часть сжатого газа остается в цилиндре, что приводит к снижению объемной производительности. По этой причине объемная производительность винтовых компрессоров близка к абсолютной.

Другим важным преимуществом этих компрессоров является отсутствие всасывающего и выпускного клапанов, имеющихся в поршневых компрессорах, и потерь перемещаемого газа, что повышает эффективность работы винтового компрессора. Кроме того, не менее важным является и акустический фактор, поскольку отсутствует стук клапанов о соответствующие ложа.

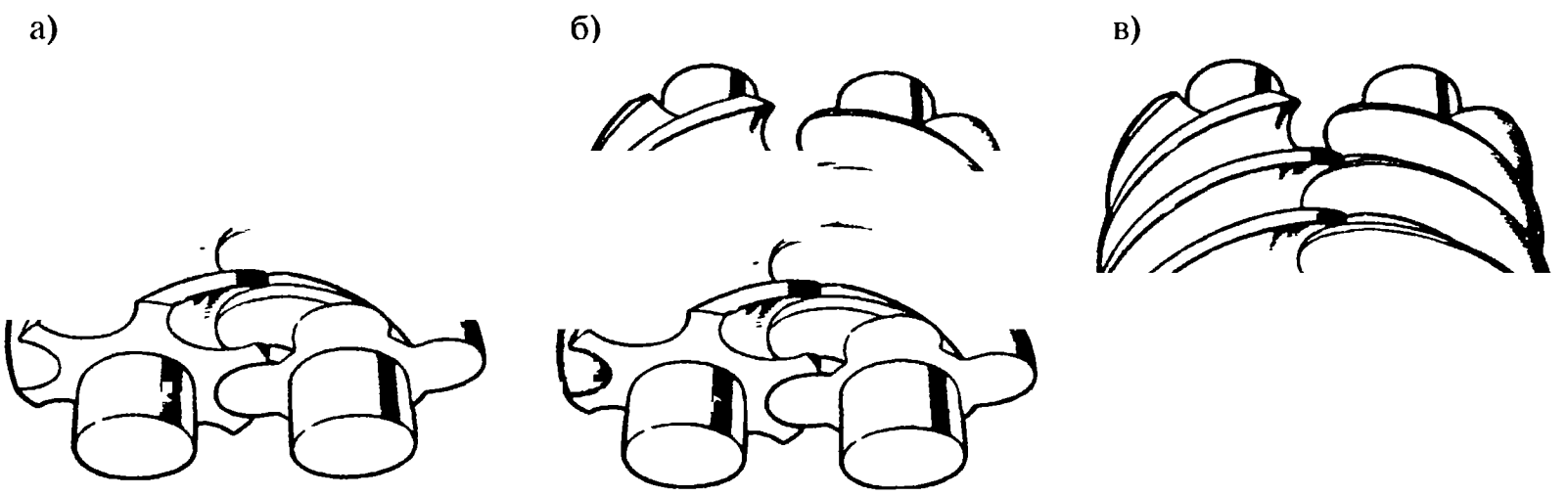


Рисунок 11.4. Два ротора компрессора с двойным винтом на фазе всасывания (а), сжатия (б), выпуск (в).

Смазка, уплотнение, охлаждение

Сегодня почти во всех компрессорах с двойным винтом используется масло, рассчитанное на выполнение трех основных функций: уплотнения, охлаждения и смазки (рисунок 11.5). Действие масла способствует повышению объемной производительности. Происходит передача тепла от газа к маслу, что обеспечивает поддержание температуры подачи на умеренном уровне, способствует как повышению безопасности функционирования, так и поддержанию на высоком уровне смазочных свойств масла. Для выполнения этих функций производится инжектирование масла в соответствующие места компрессора: над роторами и на уровне подшипников.

Распределение масла может производиться разными способами. Один из них заключается в использовании соответствующего насоса, способного создать давление на 200–300 кПа выше, чем давление подачи компрессора. Однако он требует затрат мощности, составляющих 0,3–1% мощности двигателя компрессора.



Рисунок 11.5. Прохождение холодильного агента и масла внутри компрессора с двойным винтом.

Для того, чтобы обеспечить меньшее потребление энергии, используют разницу давлений, существующую в компрессоре между картером масла (давление подачи) и давлением всасывания. Масло выходит из компрессора в смеси с газообразным холодильным агентом на участке подачи. После охлаждения оно должно возвращаться в компрессор. Сепаратор масла может находиться как внутри, так и снаружи компрессора (рисунок 11.6). Затем собранное масло направляется в охладитель, где его температура понижается. Охлаждение масла производится двумя основными способами:

а) охлаждение за пределами компрессора;
б) охлаждение внутри компрессора.

Охлаждение за пределами компрессора производится с использованием соответствующего охладителя масла. В агрегатах с водоохлаждаемыми конденсаторами масло охлаждается за счет небольшой части воды самого конденсатора. При использовании конденсаторов с воздушным охлаждением охлаждение производится за счет части того же воздуха, который охлаждает конденсатор. С этой целью охладитель масла устанавливается на батарее. Бывают, впрочем, и отдельно устанавливаемые охладители.

Рисунок 11.6. Сепаратор масла повышенной эффективности винтового типа, придающий поступающему газу вращательное движение. Эффективность работы сепаратора составляет более 99%.

Охлаждение внутри компрессора может производиться следующими способами:

— посредством прямого инжектирования жидкого холодильного агента на фазе компрессии. Количество инжектированной жидкости составляет 0,02% объема циркулирующего холодильного агента и регулируется в зависимости от температуры газа на подаче. Инжектируется такое количество жидкости, которое позволяет поддерживать эту температуру постоянной. Этот метод имеет ряд недостатков и понижает рабочие характеристики компрессора на 1–10% номинальной холодильной мощности в зависимости от соотношения давлений;

— путем забора жидкого холодильного агента из накопительной емкости с использованием специального насоса и инжектирования его непосредственно в линию подачи компрессора. Снижение эффективности при таком методе связано с потерей мощности для активации насоса.

Рабочие режимы

На рисунке 11.7 показаны рабочие диапазоны ряда имеющихся на рынке компрессоров с двойным винтом при эксплуатации с различными холодильными агентами при полной или частичной загрузке.

На рисунке 11.8 показана принципиальная схема типичного холодильного контура с использованием этих же компрессоров при нормальных условиях функционирования. При чрезвычайных рабочих режимах с повышенной температурой конденсации и/или очень низкой температурой испарения может возникнуть необходимость дополнительного охлаждения двигателя методом инжектирования жидкого холодильного агента (рисунок 11.9).

В диапазонах использования компрессоров выделены зоны, в которых требуется дополнительное охлаждение со впрыскиванием жидкости.

Регулировка холодильной мощности

В большинстве винтовых компрессоров регулировка холодильной мощности производится путем изменения параметров потока газа, переработанного в компрессоре, с использованием соответствующей системы регулировочных клапанов.

В компрессоре с двойным винтом при снижении холодильной мощности понижается и его энергетическая эффективность, если одновременно с изменением потока переработанного газа не изменяется объемное соотношение (соотношение объема полостей винта ротора в начале компрессии и в начале фазы выпуска).

Скользящие клапаны — это перемещающиеся клапаны (кассетные), действующие в параллельном с ротором режиме, позволяющие в постоянном режиме изменять холодильную мощность со 100% до 10% от номинального значения. Они располагаются на участке высокого давления либо вблизи него, выше двух роторов или выше одного из них. Задача их функционирования заключается в замедлении начала компрессии путем обвода (bypass) части всасываемого газа в сторону участка всасывания в зависимости от точки их монтажа.

Скользящие клапаны изготавливаются в двух вариантах, рабочие характеристики которых отличаются друг от друга главным образом при функционировании с частичной нагрузкой компрессора, хотя внешне принцип их функционирования остается тем же.

1. С изменением конфигурации отверстия выпуска газа. В этом типе клапанов холодильная мощность регулируется путем изменения объема газа, проходящего обработку сжатием. Кроме того, пропорционально изменяется соотношение объемов путем изменения конфигурации и положения отверстия подачи. Благодаря этой особенности конструкции поддерживается высокая энергетическая эффективность компрессора при функционировании с частичной загрузкой.
2. Без изменения конфигурации отверстия выпуска газа. Эта модификация также позволяет изменять величину холодильной мощности, но без изменения выпускного отверстия. Поэтому компрессоры с этим типом клапана функционируют менее эффективно при частичных нагрузках с точки зрения потребления энергии.

Первый тип клапанов является более предпочтительным, поскольку обеспечивает более эффективную систему регулировки мощности компрессора, предоставляя к тому же возможность производить значительные изменения объема, не вызывая большого смещения скользящего клапана.

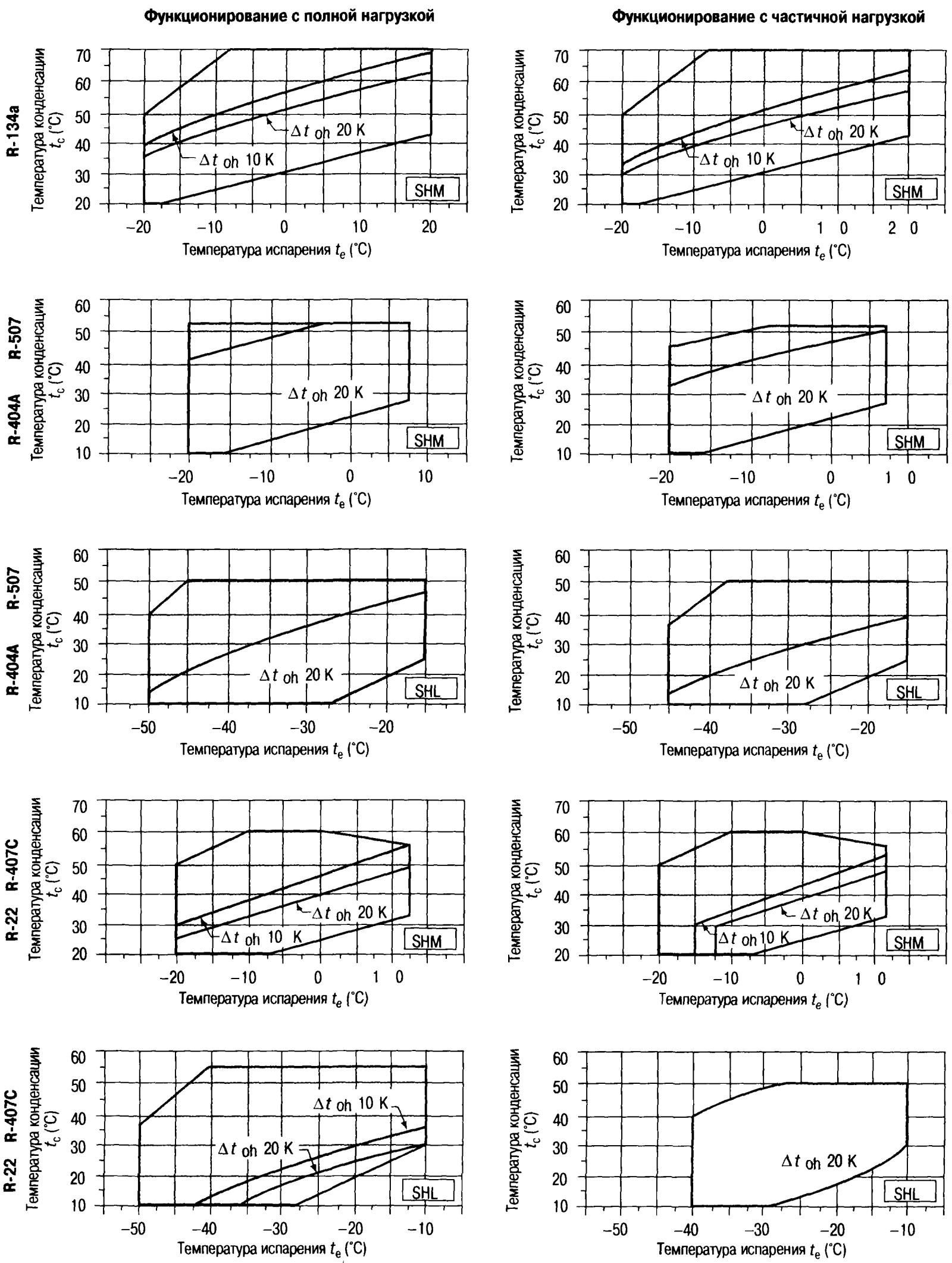
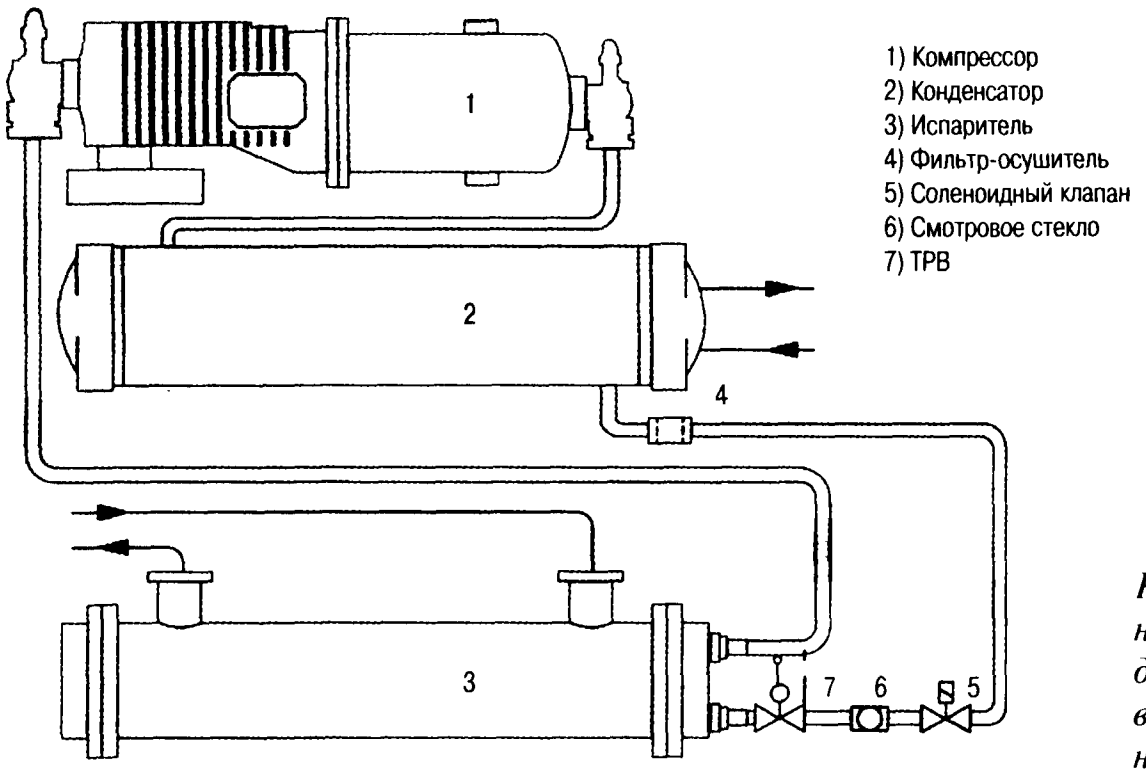
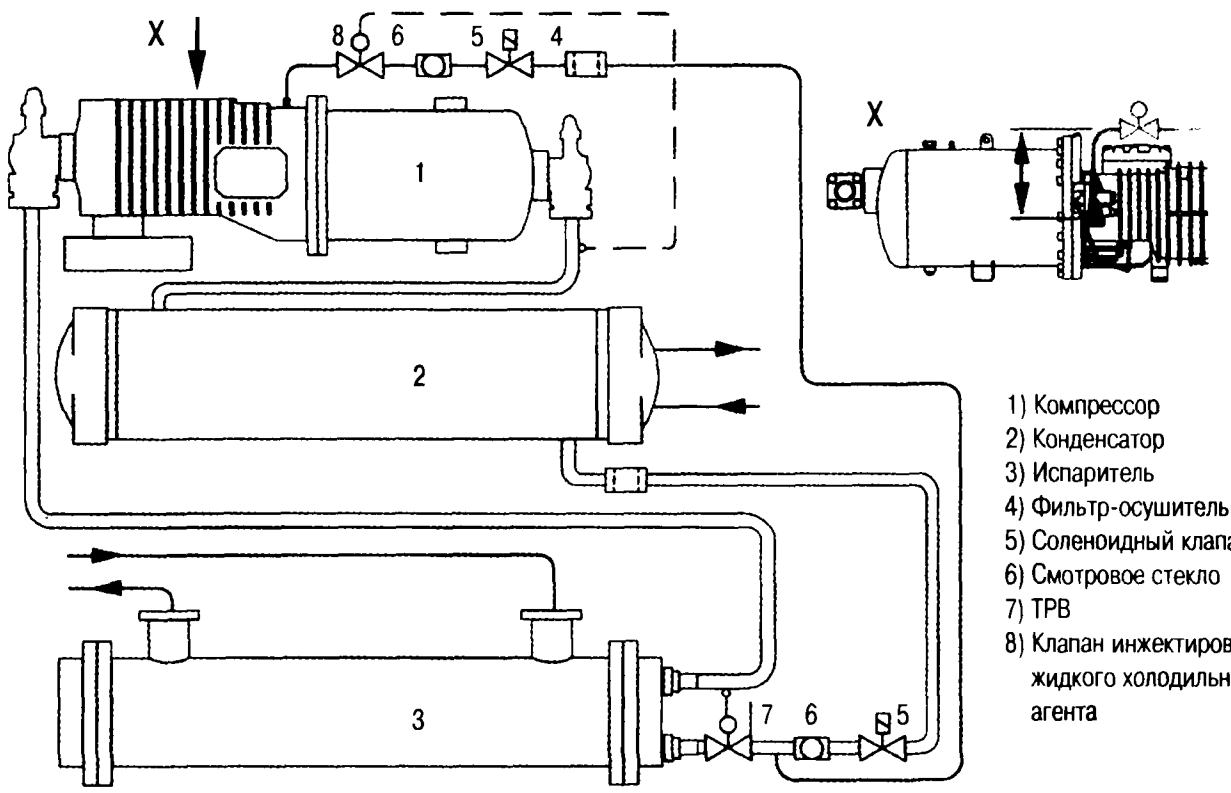


Рисунок 11.7. Диапазоны применения ряда компрессоров с двойным винтом: серым выделены зоны, в которых требуется дополнительное охлаждение двигателя с инжектированием жидкого холодильного агента.



1) Компрессор
2) Конденсатор
3) Испаритель
4) Фильтр-осушитель
5) Соленоидный клапан
6) Смотровое стекло
7) ТРВ

Рисунок 11.8. Принципиальная схема типичного холодильного контура с использованием компрессора с двойным винтом.



1) Компрессор
2) Конденсатор
3) Испаритель
4) Фильтр-осушитель
5) Соленоидный клапан
6) Смотровое стекло
7) ТРВ
8) Клапан инжектирования жидкого холодильного агента

Рисунок 11.9. Принципиальная схема холодильного контура с использованием винтового компрессора с охлаждением за счет инжектирования жидкости.

Клапан с отверстиями. Речь идет о ряде продольных отверстий над одним или обоими роторами. Отверстия постепенно открываются или закрываются с использованием соответствующего механизма. При функционировании они увеличивают объем компрессионной камеры и создают пути выхода газа, находящегося над роторами.

Ступенчатые клапаны состоят из соленоидных клапанов с одной или несколькими запорными частями, благодаря которым открываются или закрываются отверстия в камере, где расположены роторы. Клапаны могут быть сделаны над одним или над двумя роторами. Они не дают возможности плавного изменения холодильной мощности, изменяя ее на одну или несколько контрольных ступеней. Когда все запорные части закрывают соответствующие ложа клапанов, компрессор работает с полной нагрузкой. При понижении производительности открытие одного из запорных клапанов позволяет части газа поступить (bypass) на участок всасывания, замедляя тем самым фазу сжатия. В зависимости от коли-

чества клапанов, установленных в компрессоре, возможны одна или несколько ступеней контроля (рисунок 11.10). Некоторые модели компрессоров могут иметь смешанную систему регулировки с использованием одного клапана этого типа для первой ступени холодильной мощности и одного скользящего клапана для более высокого диапазона мощности. Ступенчатые клапаны не изменяют конфигурацию отверстия выпуска газа.

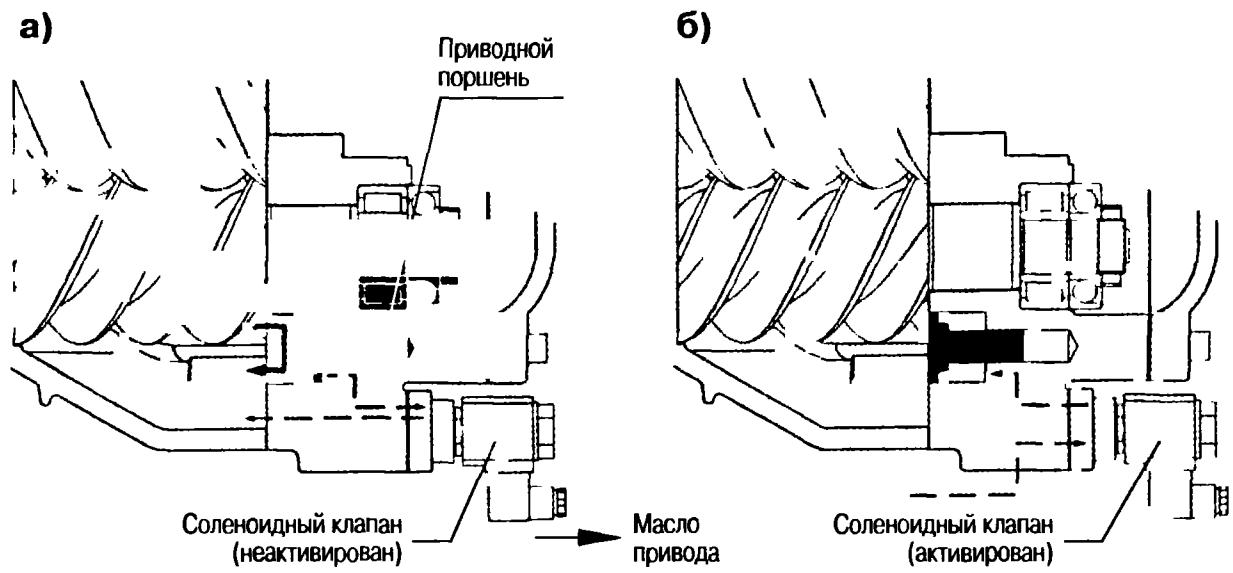


Рисунок 11.10. Устройство для регулировки холодильной мощности компрессора с двойным винтом. Показаны два положения: а) функционирование с частичной нагрузкой; б) функционирование с полной нагрузкой.

Одновинтовые компрессоры

Одновинтовые компрессоры состоят из одного центрально расположенного винта, с которым взаимодействуют по принципу шестерней два ротора, расположенных друг от друга диаметрально противоположно (рисунок 11.11), весь механизм помещается в корпус на уплотнении. Винт имеет 6 витков для соединения с двумя роторами, каждый из которых, в свою очередь, имеет 11 зубцов особого профиля, позволяющего осуществлять сцепление с витками самого винта. Скорость вращения роторов имеет соотношение 6:11 относительно скорости вращения винта. Винт приводится во вращение от электродвигателя, который может быть установлен вне корпуса (открытая конструкция) или внутри корпуса (полугерметичная конструкция); двигатель может быть соединен непосредственно, или через шестеренчатую передачу. Два ротора вращаются на нейтральном ходу и приводятся во вращение винтом.

Рисунок 11.11. Винт и роторы одновинтового компрессора.

Всасывание, сжатие, выпуск

На рисунке 11.12 показана схема трех фаз функционирования — всасывания, сжатия и выпуска — в том виде, в каком они происходят в одновинтовом компрессоре.

При вращении винта (1) газообразный холодильный агент поступает на витки, находящиеся в открытом контакте с камерой всасывания компрессора. Зубцы роторов, приводимые во вращение винтом, выполняют функцию поршней на фазе всасывания. При дальнейшем проворачивании роторов (2) газ, находящийся в витках, сжимается под воздействием роторов. Он не может распространяться в других направлениях, поскольку роторы закрыты через уплотнение в корпусе компрессора. При продолжении вращения (3) увеличивается компрессия газа до достижения точки, в которой окончание зубца ротора совмещается с выпускным отверстием: здесь сжатие заканчивается, и сжатый газ поступает на подачу до тех пор, пока объем витка не сокращается до нуля.

Особенностью одновинтового компрессора является то, что он подвергается сбалансированнои нагрузке, поскольку компрессия производится с обеих сторон винта (рисунок 11.13). Осевые нагрузки также невелики, поскольку выпуск происходит по поверхности цилиндра вокруг винта, и давление всасывания распределяется на оба его конца.

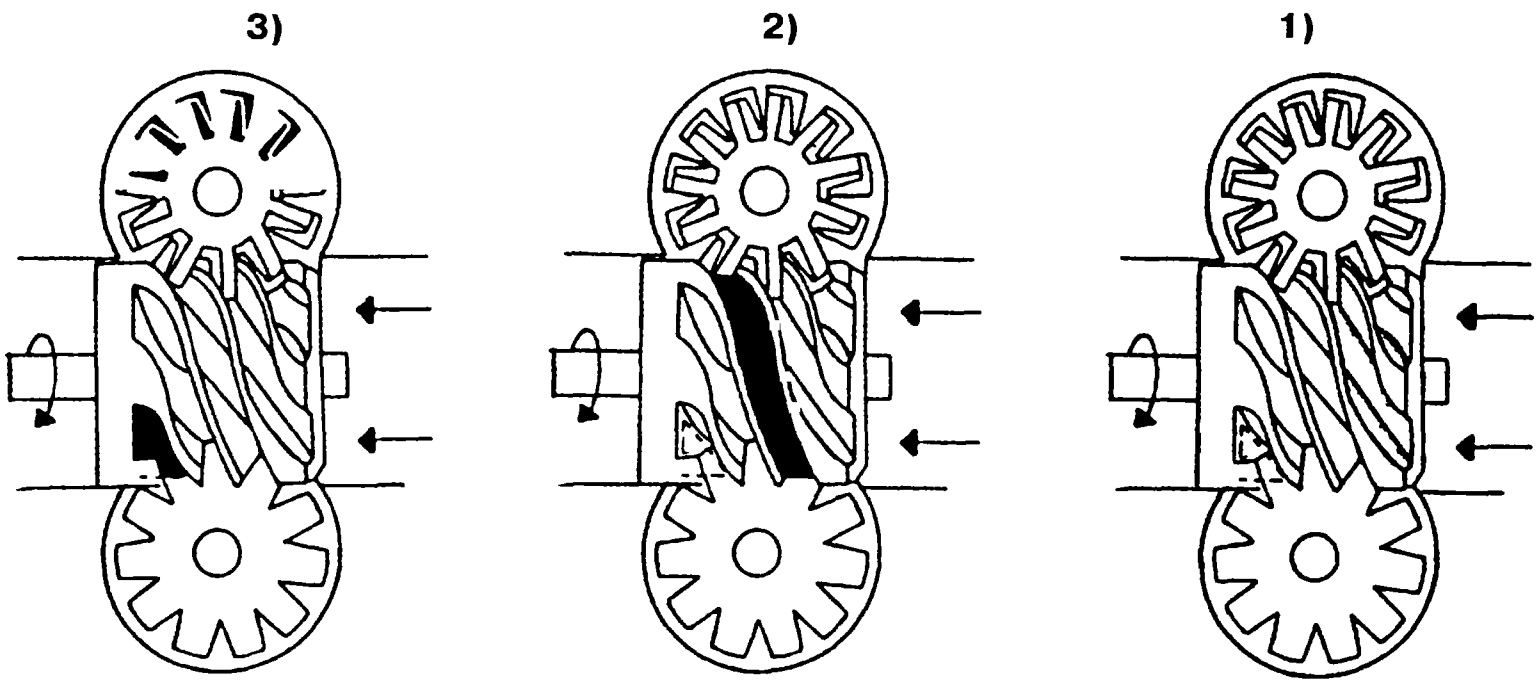


Рисунок 11.12. Фазы всасывания (1), сжатия (2) и выпуска (3) одновинтового компрессора

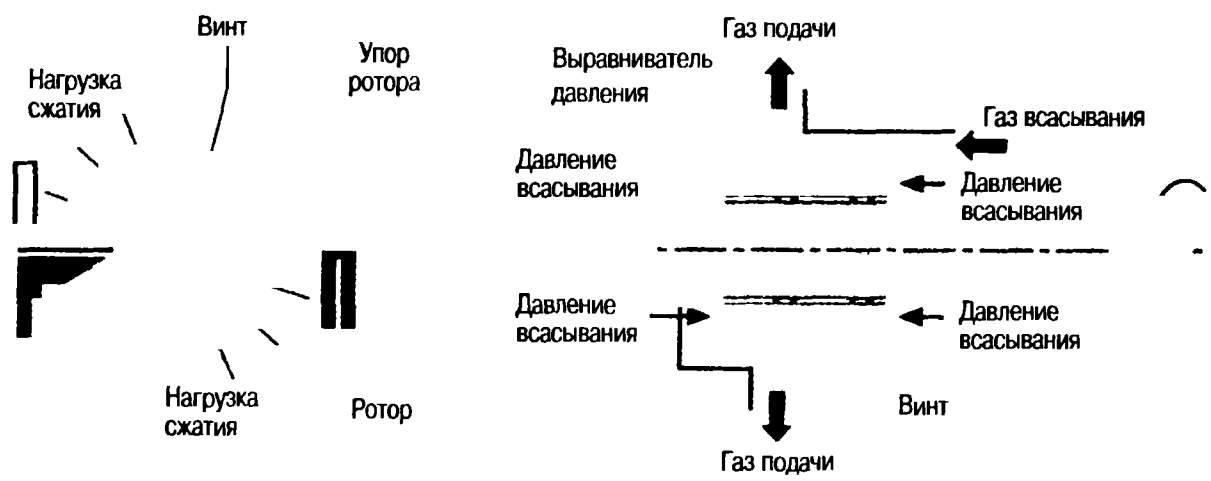


Рисунок 11.13. Сбалансированные нагрузки, испытываемые одновинтовым компрессором.

Смазка, уплотнение, охлаждение

В том, что касается смазки, одновинтовые компрессоры имеют в целом те же характеристики, что и компрессоры с двойным винтом, о которых говорилось ранее. В этих агрегатах масло также осуществляет смазку, уплотнение и охлаждение сжатого газа. Выпускаются также одновинтовые компрессоры без использования масла для смазки и уплотнения; последняя функция выполняется путем инжек-

тирования жидкого холодильного агента, производящего также охлаждение роторов. В компрессорах этого типа имеется еще ряд важных преимуществ, в том числе:
— нет необходимости в установке масляного насоса;
— нет необходимости во внешнем охладителе масла.

В некоторых новых моделях одновинтовых компрессоров используется внутренний экономайзер, увеличивающий холодильную мощность при равном потреблении электроэнергии. Экономайзер отделяет жидкий холодильный агент от газа, образующегося после охлаждения двигателя, направляя его на испаритель. Тем самым повышаются холодильные характеристики агрегата при равенстве потребляемой электроэнергии. Газ, со своей стороны, направляется в компрессор на более продвинутой фазе компрессии, что снижает температуру выпуска и позволяет оптимизировать рабочий режим, облегчая нагрузку на сам компрессор.

Регулировка холодильной мощности

В общих чертах регулировка холодильной мощности в одновинтовых компрессорах происходит по тому же принципу, что и в компрессорах с двойным винтом, однако, существуют и значительные отличия.

В отличие от компрессора с двойным винтом каждый ротор имеет два участка компрессии. При частичных нагрузках процесс компрессии замедляется с помощью клапанов тем же способом, что и в компрессорах с двойным винтом. Тем не менее, и в этом случае снижается эффективность в потреблении электроэнергии при низких нагрузках, если не изменяется объемное соотношение при одновременном изменении объема обрабатываемого газа.

С этой целью разработано два решения:
1) снижение зоны отверстия выпуска газа при открывании скользящего клапана;
2) использование одного скользящего клапана для регулировки холодильной мощности и другого клапана для регулировки соотношения объемов.

В зависимости от изготовителя клапан регулировки мощности может быть плавного или ступенчатого действия. Клапаны приводятся в действие по команде системы управления агрегатом.

Механические характеристики

Винт одновинтовых компрессоров выполнен из стали, боковые роторы изготавливаются из специального пластика или особо прочных композитных материалов, что позволяет иметь минимальные допуски при обычных параметрах рабочего процесса. Боковые роторы крепятся на металлических упорах, позволяющих выдерживать перепад давлений, возникающий между сторонами всасывания и подачи. Благодаря системе монтажа и низкой инерционности они позволяют иметь определенный уровень свободы углового движения, что обеспечивает нейтрализацию роторами появления возможных аномальных условий без ущерба для них.

Соединения запараллеленных винтовых компрессоров

Параллельное соединение винтовых компрессоров может производиться теми же способами, что и в поршневых.

Двумя основными участками соединения в параллельном режиме являются коллекторы подачи и всасывания газа. Коллектор подачи газа должен иметь некоторый наклон в сторону сепаратора масла для того, чтобы сделать возможным дренаж под действием силы гравитации, что уже отмечалось в отношении контуров с одним компрессором. Схема подсоединения двух компрессоров к одному общему коллектору подачи показана на рисунке 11.14. Речь идет о горизонтальном компрессоре, закрытом с одного торца и соединенном с сепаратором масла с другого. На каждой из трубок подсоединения компрессоров должен быть установлен перекрывающий клапан, позволяющий производить работы по техническому обслуживанию и возможному ремонту компрессоров. В показанном случае сепаратор масла расположен ниже компрессоров, что является предпочтительным.

Общий всасывающий коллектор также рекомендуется располагать ниже уровня компрессоров, в особенности для установок, где невозможно предотвратить опасности возврата жидкости (например, в системах по удалению наледи разогретым газом, в установках с возможным продолжительным пери-

одом остановки, во время которых сохраняется перепад давлений). В этом случае всасывающий коллектор должен выполнять также функцию накопителя жидкости. Рекомендуемое в этих случаях расположение коллектора показано на рисунке 11.15: необходимо обеспечить радиальное направление поступления газа, сверху, отдельные участки всасывания для разных компрессоров и линейное расположение соответствующих штуцеров на коллекторе. Возврат масла производится отдельно с использованием трубки малого диаметра, производящей забор масла со дна коллектора.

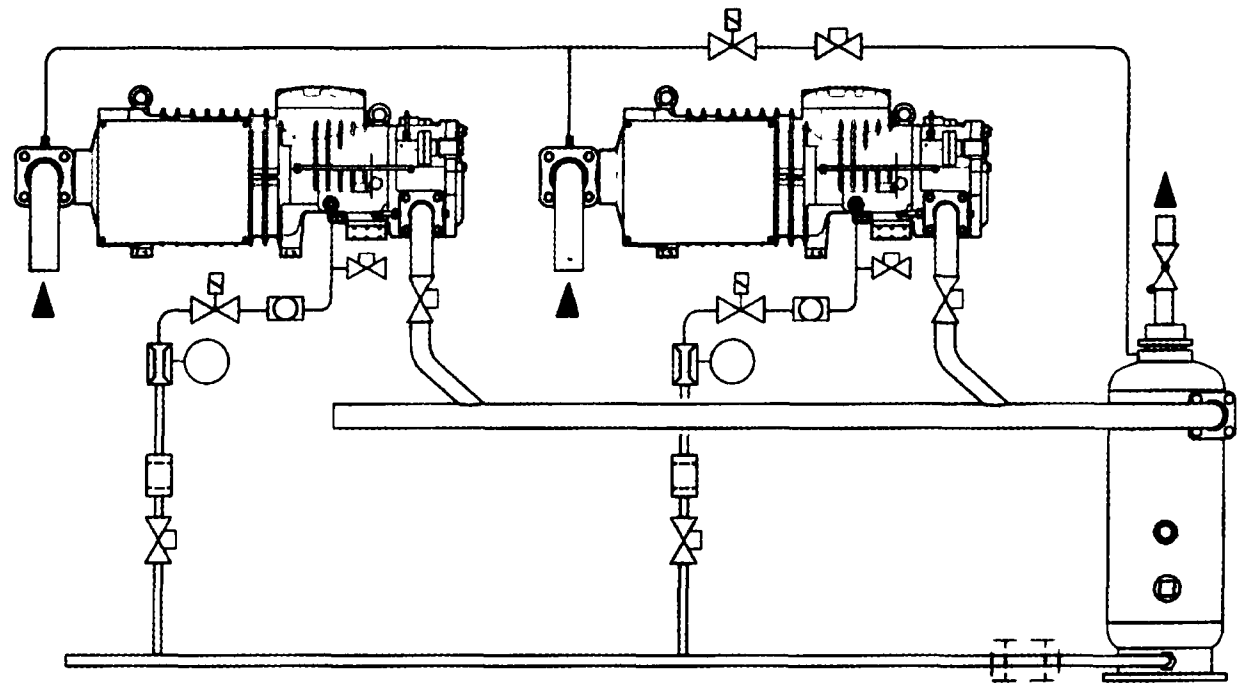


Рисунок 11.14. Схема соединения линий подачи двух компрессоров с общим коллектором для функционирования в параллельном режиме.

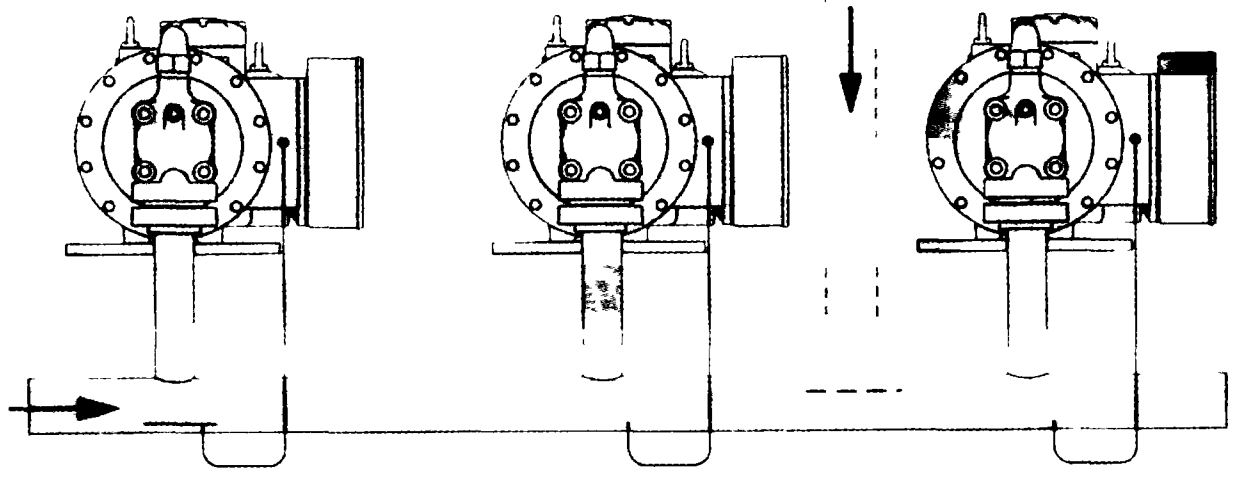


Рисунок 11.15. Схема соединения трубок всасывания трех компрессоров с общим коллектором для функционирования в параллельном режиме. Возврат масла производится индивидуально посредством отдельных линий.

Альтернативным решением, при котором исключается отдельный возврат масла, является обрезка оконечностей трубок отдельных линий всасывания под углом 30° с их введением в коллектор до касания поверхности дна (рисунок 11.16). Таким образом, возврат масла производится напрямую путем вытяжки всасываемым газом.

Трубки всасывания могут выходить не только от верхней части коллектора, но и сбоку, как показано на рисунке 11.17а, в то время как отвод трубок снизу представляется опасным (этого следует избегать) (рисунок 11.17б).

В установках, монтируемых на месте, компрессор всегда должен быть защищен путем установки соответствующего фильтра на линии всасывания (ячейки максимального размера 25 мм) для предотвращения попадания металлической стружки, сварочного града, загрязнений и пр. Если же сборка производится на заводе-изготовителе, с применением строгих мер контроля качества, и имеется запаянный контур, фильтр можно не ставить.

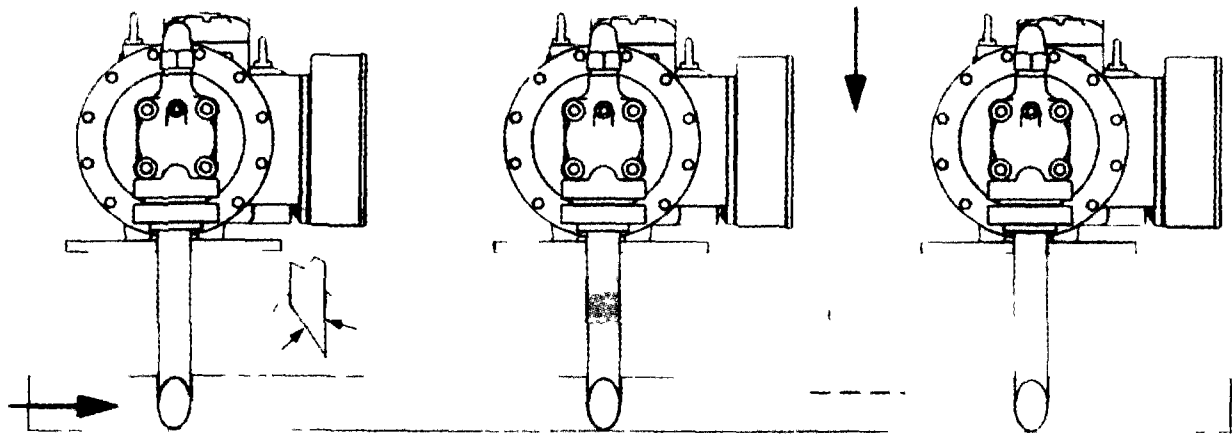


Рисунок 11.16. Схема, аналогичная показанной на предыдущем рисунке, но с возвратом масла путем вытяжки всасываемым газом.

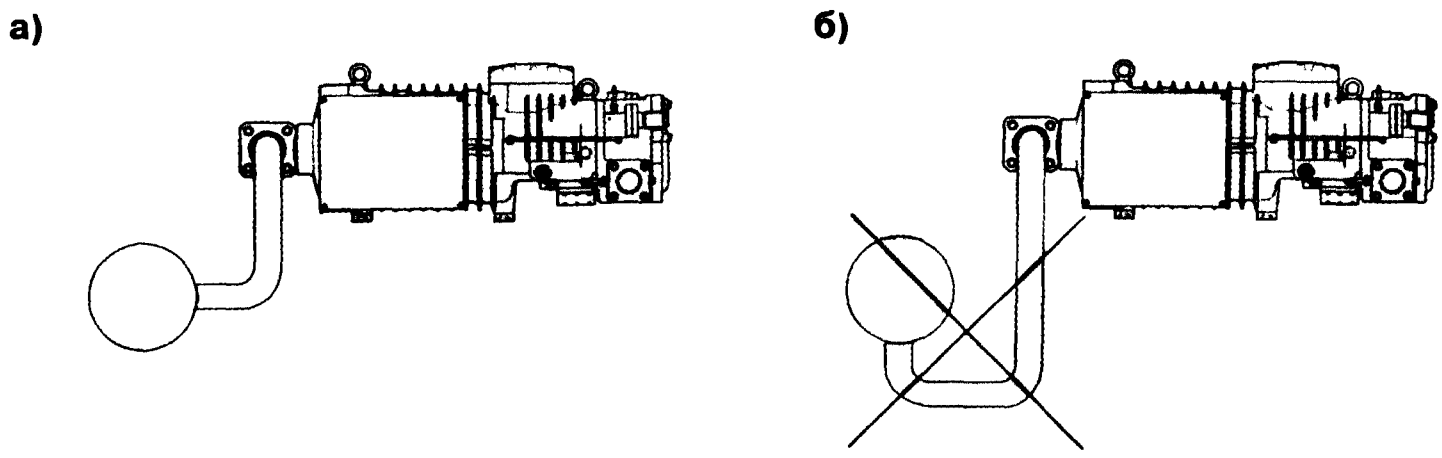


Рисунок 11.17. Соединение между коллектором и всасывающей трубкой может производиться сбоку (а), но не снизу (б).

Эксплуатация винтовых компрессоров

Несмотря на прочность и надежность конструкции, винтовые компрессоры не терпят залития их маслом или холодильным агентом при остановке работы. Причина этого заключается в том, что при наличии жидкости при новом запуске могут создаваться значительные гидравлические нагрузки, способные в экстремальных случаях вывести из строя подшипники и сам компрессор. Поэтому в конструкции холодильных контуров необходимо предусмотреть соответствующие системы недопущения попадания масла и жидкого холодильного агента в компрессор при его остановке.

Поэтому первым условием является обеспечение направленности линий подачи и всасывания под определенным углом вниз при их выходе из компрессора. В качестве меры предосторожности в установках с прямым расширением необходимо устанавливать устройство, предохраняющее контур от гидравлических ударов при запуске, что может быть сделано двумя способами: при помощи сужающихся отверстий ниже испарителя или путем установки компрессора над испарителем. Эта мера не является столь важной, если используется система продувки (pump-down).

Учитывая низкий уровень вибрации и малую пульсацию газа, линии всасывания и подачи могут выполняться без использования гибких элементов или глушителей. Тем не менее, трубки должны обладать определенной эластичностью для того, чтобы не оказывать никакого воздействия на компрессор. Следует избегать использования слишком длинных трубок с учетом условий функционирования и типа используемого холодильного агента.

Циркуляция масла

В больших холодильных установках и/или установках со многими ответвлениями и/или подверженных экстремальным температурным условиям рекомендуется использовать винтовые компрессоры с внешними сепараторами масла. В этих случаях необходимы особые меры, которые могут видоизменяться в зависимости от конкретного случая.

Внешний сепаратор масла играет также роль накопителя. В связи с перепадом давления между ним и местом инжектирования в компрессоре, при функционировании в компрессионную камеру и на подшипники вводится определенное количество масла, откуда масло возвращается в сепаратор в смеси со сжатым газом. В верхней части корпуса происходит отделение масла от газа, и масло опускается вниз, в накопительную емкость, откуда вновь поступает в компрессор.

Расположение сепаратора масла относительно компрессора является важным фактором для нормального функционирования установки. Рекомендуется применять два способа размещения сепаратора:

— сепаратор масла установлен ниже уровня компрессора;

— сепаратор масла установлен таким образом, чтобы уровень масла был ниже места инжектирования в компрессор.

При необходимости обеспечения определенного угла наклона вниз в сторону линии подачи компрессора наиболее надежным способом установки является первый вариант (рисунок 11.18). Дополнительным приемом для предотвращения возврата холодильного агента является установка соленоидного клапана на обводном контуре (bypass), закрывающегося при остановке компрессора.

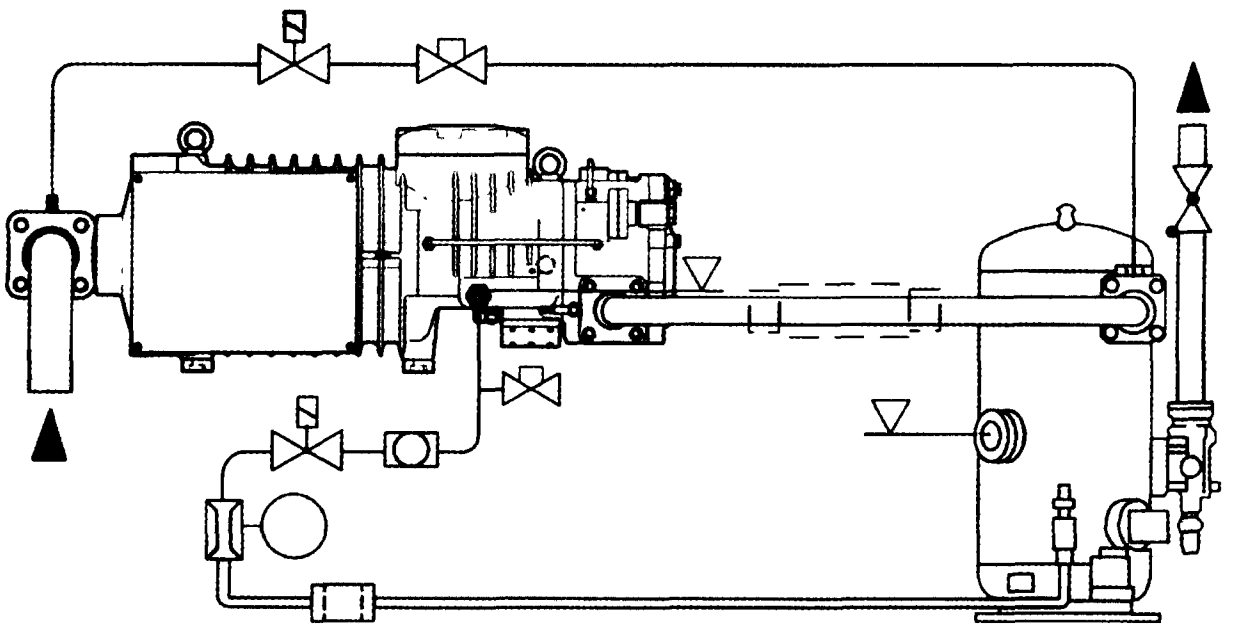


Рисунок 11.18. Применение внешнего сепаратора масла, соединенного с винтовым компрессором. Сепаратор расположен под компрессором.

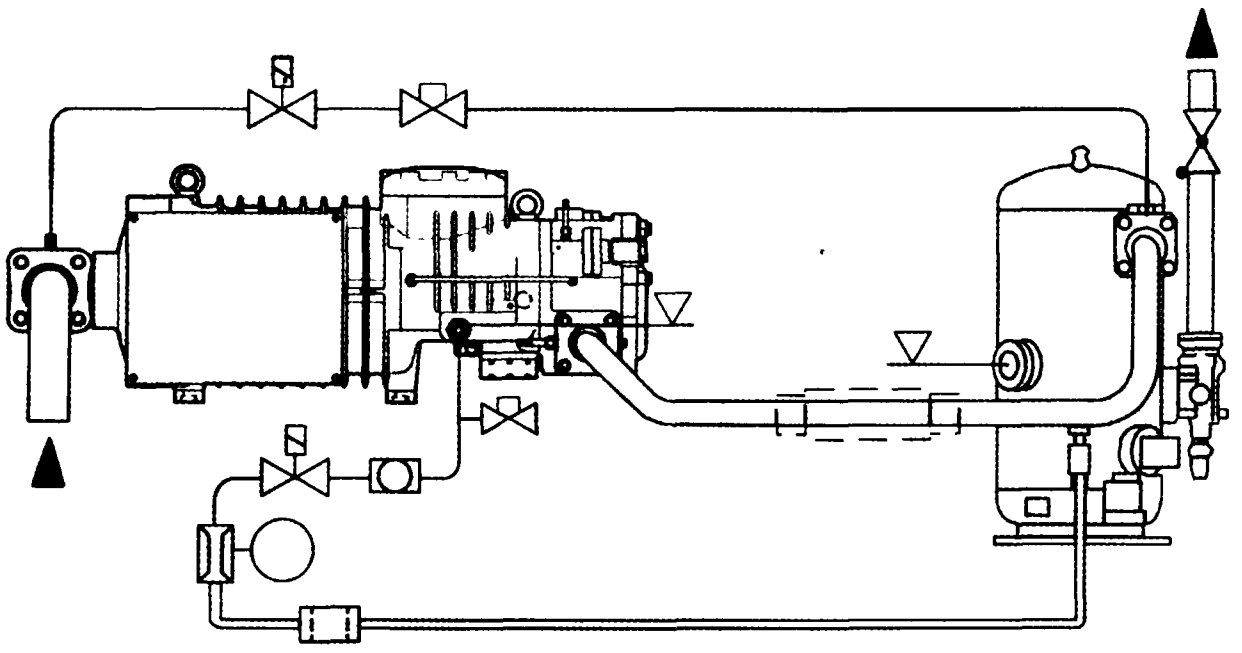


Рисунок 11.19. Применение внешнего сепаратора масла, соединенного с винтовым компрессором. Сепаратор находится выше компрессора, но таким образом, чтобы уровень масла оставался ниже отверстия ввода в компрессор.

На линиях масла общим правилом является установка колен большого диаметра при минимальном их количестве, их длина также должна быть минимальной.

Второй способ установки (рисунок 11.19) также обеспечивает надежную работу. Несмотря на то, что сепаратор масла не расположен ниже компрессора, уровень масла остается ниже отверстия инжектирования, поэтому исключается опасность затопления компрессора маслом при остановке и выравнивании давления. В этом случае также важно, чтобы линия подачи газа имела определенный угол наклона вниз для того, чтобы масло не задерживалось в камере подачи.

Охлаждение масла

В некоторых типах установок циркулирующее в контуре масло может охлаждаться с применением соответствующего охладителя, в ряде случаев существует альтернативное решение с прямым инжектированием холодильного агента.

Охлаждение масла является необходимым в случае создания повышенных температур. Обычно температура масла должна поддерживаться на уровне ниже 100°C, но при определенных условиях функционирования может составлять 70°C.

Для правильного выбора холодильного агента и рабочих режимов необходимо учитывать некоторые основные условия функционирования установки:
— максимально высокая температура испарения;
— максимально высокая температура перегрева всасываемого газа;
— максимально высокая температура конденсации;
— тип режим функционирования установки (срабатывания регулятора холодильной мощности).

Чаще всего применяются следующие способы обеспечения охлаждения масла: с использованием воды или воздуха. Применение охладителя на воде показано на рисунке 11.20. Агрегат установлен ниже уровня инжектирования масла в компрессор, этого правила следует придерживаться по мере возможности постоянно.

При использовании воздушного охладителя масла с учетом его габаритов по высоте следует принимать другие меры. Выход масла из охладителя, производимый из верхней его части, должен всегда находиться ниже смотрового стекла сепаратора и места инжектирования в компрессор (рисунок 11.21).

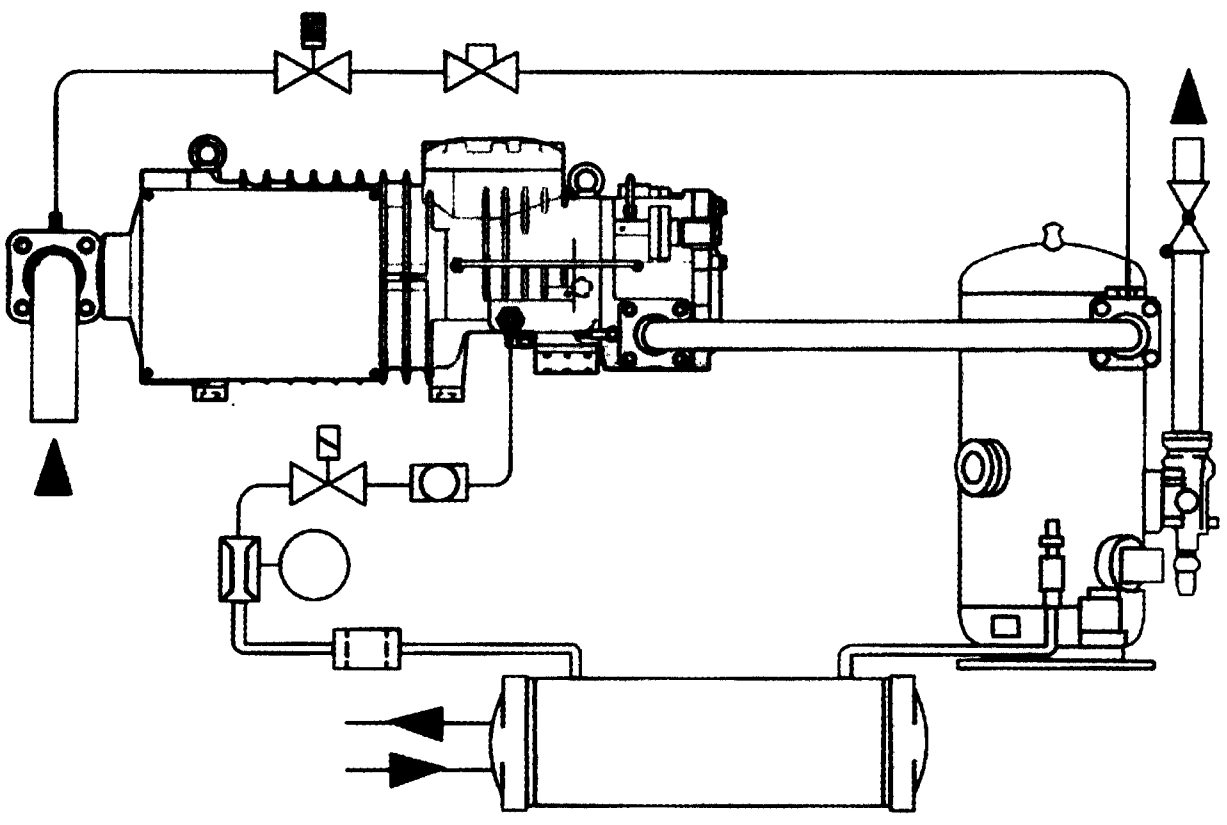


Рисунок 11.20. Применение охладителя масла на воде, установленного между выходом сепаратора и точкой инжектирования в компрессор.

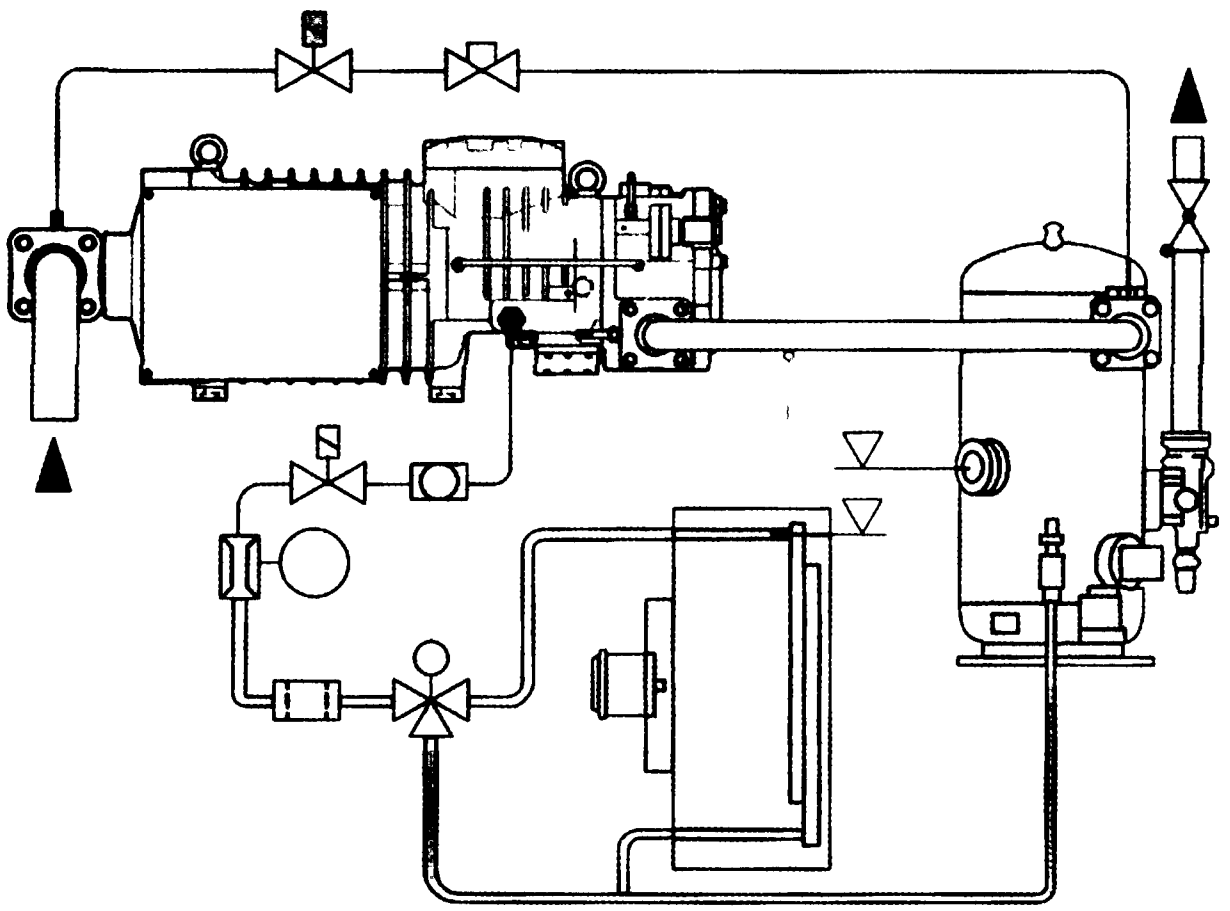


Рисунок 11.21. Применение воздушного охладителя масла. В этом случае уровень выхода масла из охладителя (в верхней части батареи) должен оставаться ниже уровня сепаратора и точки инжектирования в компрессор. Видна линия обвода (bypass), позволяющая в случае необходимости разогревать масло.

Если уровень выхода масла не будет выше смотрового стекла, при остановке компрессора будет происходить возврат масла в него с ранее уже описанными последствиями. По той же причине соленоидный клапан на линии инжектирования масла должен быть установлен вблизи компрессора.

Другие меры предосторожности относятся к установке ниже охладителя вспомогательного ручного шарового крана перекрытия линии масла.

Регулировка работы охладителей масла производится по-разному в зависимости от их типа: в водоохлаждаемых моделях регулировка температуры масла производится с использованием ТРВ на линии воды с диапазоном до 100°C, в моделях с воздушным охлаждением — с использованием термостата типа on/off, или устройства для плавного изменения скорости вращения вентилятора с регулировкой температуры в диапазоне до 100°C. Когда агрегаты установлены вне помещения, возможно понижение температуры ниже 20°C. После продолжительного периода остановки может возникнуть необходимость в прогреве контура масла перед новым запуском. Разогрев может быть необходим и в случае больших установок, когда общее количество используемого масла превышает 25 кг. В этом случае проблема может быть решена путем обвода (bypass) охладителя с использованием регулирующего клапана, или — при возможности — установки устройства для разогрева охладителя при остановках.

Таблица 11.1. Примерные показатели перегрева всасываемого газа и переохлаждения жидкости.

Перегрев	**(°C)**
R-134a, R-22, R-407C	10
R-404A, R-507	20
Переохлаждение	**(°C)**
Без экономайзера	5
С экономайзером	$10 > T_m$*

*T_m является температурой насыщения при промежуточном давлении на штуцере экономайзера компрессора

Обычно в сепаратор масла вмонтирован подогреватель, не допускающий слишком большого смешивания масла с холодильным агентом при остановке. Контроль его работы производится от термостата, температура отрегулирована на 70°С.

Перегрев всасываемого газа и переохлаждение жидкости

Величины перегрева всасываемого газа и переохлаждения жидкости нельзя сравнивать напрямую с аналогичными показателями поршневых компрессоров. В таблице 11.1 показаны примерные величины для винтовых компрессоров одного из лучших изготовителей.

Заправка холодильного агента

Холодильные группы с винтовыми компрессорами особенно чувствительны к объему заряда холодильного агента. Установлено, что уменьшение или увеличение объема относительно оптимального приводит к чувствительному снижению энергетической эффективности. На рисунке 11.22 представлена диаграмма, иллюстрирующая данную пропорцию, составленную на основе сведений, предоставленных одной из ведущих международных фирм-изготовителей. Можно увидеть, что уменьшение заряда холодильного агента на 15% приводит к снижению энергетической эффективности на 17%.



Рисунок 11.22. Снижение энергетической эффективности относительно отклонения заряда холодильного агента от оптимального количества в ряде холодильных групп с винтовыми компрессорами.

Техническое обслуживание винтовых компрессоров

В таблице 11.2 перечислены текущие операции по техническому обслуживанию холодильных групп с винтовыми компрессорами. Таблица дает лишь некоторые характеристики, за полной информацией необходимо обращаться к инструкциям, предоставляемым изготовителем агрегата.

Центробежные компрессоры

В отличие от всех ранее рассмотренных типов компрессоров в центробежных компрессорах передача энергии от вращающихся частей к жидкому холодильному агенту происходит постоянно путем передачи углового импульса, обеспечивающего вращение жидкости в агрегате.

Величина передаваемой жидкому холодильному агенту энергии пропорциональна скорости вращения периферийной зоны самой центрифуги. Ввиду сопротивления материалов предельные значения периферийной скорости составляют 430 м/с, на практике же эти значения снижаются до 250–300 м/с для экономии энергии и повышения надежности. С другой стороны, периферийная скорость вращения определяется характеристиками холодильного агента и предусмотренными условиями функционирования.

Для достижения установленной периферийной скорости существует два конструктивных решения: использовать крыльчатку большего диаметра при меньшей скорости вращения, или выбрать крыльчатку малого диаметра с увеличением скорости вращения. Выбор решения зависит также от удельного объема холодильного агента: при высоком удельном объеме необходимо использовать крыльчатку большого диаметра, способную приводить в движение значительные объемы газа.

Таблица 11.2. План технического обслуживания холодильных групп с винтовыми компрессорами.

Вид операции	раз в месяц	раз в квартал	раз в полугодие	раз в год	при необходимости
I. Компрессор					
A Определение потенциала (Измерение показателей и оценка)*	0				
B Электродвигатель					
– Измерение сопротивления изоляции обмоток				X	
– Балансировка силы тока (в пределах ±10%)		X			
– Проверка контактов (затяжка соединений, чистка изолирующей прокладки и контактов)				X	
– Охлаждение двигателя		X			
C Система смазки					
– Температура на линии масла (никаких аномальных понижений температуры)*		X			
– Внешний вид масла (светлый цвет количество, датчик на компрессоре)*	0				
– Замена масляного фильтра					X
D Изменение мощности компрессора*					
Зарядка компрессора					
– Уменьшение допуска регулировки температуры охлажденной воды		X			
– Измерение силы тока, потребляемой двигателем		X			
Частичность загрузки компрессора					
– Увеличение допуска регулировки температуры охлажденной воды		X			
– Измерение силы тока, потребляемой двигателем		X			
Установка на ноль датчика выходящей охлажденной воды					
– Снятие показаний температуры воды и замер потребляемой силы тока		X			
E Проверка внутренних частей компрессора					X
II. Проверки					
A Проверки функционирования					
– Проверка соответствия установочного значения температуры воды температуре при функционировании			X		
– Убедиться, что электрический щит чистый и сухой			X		
– Проверить калибровку реле перегрузки			X		
– Убедиться, что концы электропроводки затянуты			X		
– Проверка состояния контактов силовых контакторов			X		
– Проверка функционирования системы регулировки			X		
B Проверка предохранителей (проверка функционирования)					
– Аварийное реле (если подсоединено)		X			
– Датчики блокировки насосов		X			
– Реле высокого давления		X			
III. Водоохлаждаемый конденсатор					
A Определение потенциала (в т ч потери давления воды)*	0				
B Проверка качества воды		X			
C Прочистка трубок конденсатора				X	
D Тест Eddy current толщины стенок трубок					X
E Аварийные системы сезонного характера					X
IV. Испаритель					
A Определение потенциала (в т ч потери давления воды)*	0				
B Проверка качества воды				X	
C Прочистка трубок испарителя				X	
D Тест Eddy current толщины стенок трубок					X
E Аварийные системы сезонного характера					X
V. Терморегулирующие вентили					
A Проверки функционирования (показатели перегрева)*		X			

Продолжение на следующей странице

Таблица 11.2. (продолжение)

Вид операции	раз в месяц	раз в квартал	раз в полугодие	раз в год	при необходимости
VI. Общий осмотр агрегата					
A Определение потенциала	0				
B Проверка наличия утечек холодильного агента					
– Подсоединения к компрессору и контакты		X			
– Подсоединения к трубкам		X			
– Подсоединения к линии масляного насоса		X			
– Аварийный клапан теплообменников		X			
C Проверка датчиков жидкости и потерь давления через фильтры			X		
D Внешний вид агрегата					
– Покраска				0	
– Изоляция				0	
VII. Пускатели					
A Проверка контактных групп (физическое состояние и функционирование)		X			
B Проверка калибровки и срабатывания реле перегрузки		X			
C Проверка подсоединений электропроводки		X			
VIII. Дополнительные виды проверки (при наличии устройств)					
A Проверка обводного клапана (bypass) разогретого газа (проверка функционирования)		X			
B Проверка инжектирования жидкости (проверка функционирования)		X			
C Контроль продувки (pump-down) (проверка функционирования)		X			

Условные обозначения

0 Проводится специалистами по техническому обслуживанию
x Проводится квалифицированными специалистами
* Проверка должна производиться при работающем компрессоре

При определении диаметра необходимо также иметь в виду размер отверстия, через которое поступает всасываемый газ, который затем направляется на лопасти. При высоком удельном объеме холодильного агента необходим выбор более широкого канала всасывания и, следовательно, крыльчатки с большим диаметром входного отверстия, что приводит к увеличению диаметра самой крыльчатки.

Раньше в центробежных компрессорах использовался CFC-11. Затем его сменил CFC-12, который еще продолжают использовать в различных моделях. Как известно, нормы международного права по охране озонового слоя стратосферы запрещают использование CFC-11 и CFC-12 в новых агрегатах. Сегодня в Европе почти во всех центробежных компрессорах нового выпуска и тех компрессорах, которые проходят регенерацию, используется HFC-134a. В этом издании мы ограничимся лишь кратким изложением основных отличий в использовании CFC-11 и CFC-12.

Центробежные компрессоры на CFC-11

— Холодильный агент CFC-11 имеет значительный удельный объем и приводится во вращение крыльчатками большого диаметра.
— Давление испарения ниже атмосферного, в связи с чем возникает опасность попадания воздуха в агрегат, который ввиду этого должен иметь приспособление для прочистки.
— При контакте с водой в CFC-11 образуется хлорсодержащая и фосфорсодержащая кислоты, вызывающие коррозию трубок теплообменников и изменяющие параметры масла.

Центробежные компрессоры на CFC-12

— Холодильный агент CFC-12 имеет меньший удельный объем и приводится в движение крыльчатками малого диаметра, вращающимися на высокой скорости. Это приводит к значительному повышению скорости движения газа и созданию шума (рисунок 11 23).

Рисунок 11.23. Крыльчатки центробежных компрессоров: большего диаметра — для CFC-11, имеющего высокий удельный объем, поменьше — для CFC-12 и HFC-134a, имеющих значительно меньший удельный объем.

Рисунок 11.24. Двухступенчатый центробежный компрессор на CFC-12 в разрезе; виден редуктор числа оборотов и положение двух крыльчаток.

— Давление испарения (при температуре до −30°C) выше атмосферного, что исключает попадание воздуха в агрегат и устраняет необходимость в использовании приспособления для прочистки
— При контакте с водой CFC-12 не разлагается и не приводит к образованию веществ, вызывающих коррозию.

Наиболее распространенные модели центробежных компрессоров для кондиционирования воздуха покрывают диапазон мощности от 350 до 4000 кВт, кроме того, эти агрегаты могут развивать мощность до 35000 кВт при наличии одного компрессора.

Наиболее распространенной модификацией центробежных компрессоров для кондиционирования воздуха является полугерметичный тип компрессора, в котором двигатель и компрессор расположены в одном корпусе. Однако по сравнению с другими полугерметичными компрессорами, о которых было рассказано ранее, в этих компрессорах имеется два важных отличия:

1) между валом двигателя и валом компрессора устанавливается шестеренчатый редуктор, придающий крыльчатке требуемую скорость вращения;
2) всасываемый холодильный агент не охлаждает двигатель. Последний охлаждается жидким холодильным агентом, поступающим от конденсатора и впрыскиваемым (с его расширением) на обмотки. Смешивание газа с капельками жидкости происходит в испарителе. Для этих целей имеется отдельный контур.

Центробежные компрессоры могут быть оснащены одной крыльчаткой (в одноступенчатых моделях) или несколькими крыльчатками (многоступенчатые модели). При использовании их для кондиционирования воздуха с диапазоном мощности до 4000 кВт чаще употребляется модель с одной крыльчаткой.

На рисунке 11.24 показан двухступенчатый компрессор с двумя крыльчатками в разрезе.

Двухступенчатые агрегаты отличаются от одноступенчатых не только конструкцией компрессора, но и наличием экономайзера, позволяющего производить расширение газообразного холодильного агента в две фазы от давления конденсации до давления испарения. Действительно, при переходе от конденсатора к испарителю часть жидкого холодильного агента обычно испаряется, охлаждая оставшуюся жидкость. Газ, образовавшийся на этой фазе, поступает на крыльчатку второй ступени компрессора, где перемешивается с разогретым газом, поступающим от первой крыльчатки. В результате происходит охлаждение смеси газа перед ее попаданием на крыльчатку второй ступени с понижением нагрузки на компрессор. Кроме того, возрастает холодильный эффект, поскольку точка испарения жидкого холодильного агента сдвигается влево на диаграмме «давление-теплосодержание». Экономайзер позволяет понизить потребляемую мощность на 4—6% по сравнению с не имеющим его агрегатом, но приводит к повышению себестоимости, которое следует оценивать относительно получаемого энергетического эффекта. Независимо от того, является ли компрессор одноступенчатым или двухступенчатым, на всасывании всегда устанавливаются подвижные лопатки, функция которых заключается в изменении угла и мощности поступления потока газа на крыльчатку (рисунок 11.25). Эти лопатки, приводящиеся в движение специальным двигателем, позволяют изменять холодильную мощность центробежных компрессоров в зависимости от тепловой нагрузки. Подобная система основывается на принципе придания некоторого «предварительного вращения» поступающему на крыльчатку газу, с изменением скорости его радиального движения. На практике, при отклонении потока поступающего газа в направлении стороны вращения крыльчатки (угол наклона лопаток меньше 90°), вырабатываемая холодильная мощность прогрессивно снижается. И наоборот, если поток газа отклоняется в обратную направлению вращения крыльчатки сторону (угол наклона лопаток больше 90°), происходит повышение вырабатываемой мощности.

Рисунок 11.25. Подвижные лопатки на линии всасывания газа при его поступлении в центробежный компрессор, позволяющие изменять показатель холодильной мощности.

Работа насоса

Основной проблемой функционирования центробежного компрессора является невозможность поддержания давления конденсации при определенных условиях частичного выпуска, что приводит к эффекту «подсоса» (surging), проявляющегося в кратковременном изменении направления движения потока с последующим возвратом к нормальному режиму. Появление этого эффекта определяется по характерному звуку («рев слона»). Подсос возникает при отклонении условий функционирования за пределы кривой нормального рабочего режима компрессора, т.н. «кривая подсоса».

Крыльчатки компрессоров бывают радиальными или с вогнутыми внутрь лопастями, хотя четкое разграничение провести невозможно. Крыльчатки радиального типа имеют менее широкий и более плоский диапазон возможных режимов работы по сравнению с характеристиками крыльчаток с вогнутыми внутрь лопастями, кроме того, последние не допускают перегрузки двигателя, что является особенно важным для нормального функционирования электродвигателей.

Центробежные компрессоры используются в основном для кондиционирования воздуха при стабильных рабочих режимах с постоянным соотношением давлений.

Техническое обслуживание

Основные операции по техническому обслуживанию центробежных компрессоров перечислены в таблице 11.3. Она не заменяет инструкцию изготовителя агрегата, поэтому приведенные в ней данные следует рассматривать как ориентировочные.

Таблица 11.3. План технического обслуживания холодильных групп с центробежными компрессорами.

Вид операции	раз в месяц	раз в квартал	раз в полугодие	раз в год	при необходимости
Компрессор					
– Определение показателей	X				
Двигатель					
– Изоляция обмоток			X		
– Определение сбалансированности фаз (макс. 10%)		X			
– Состояние блока клемм и изоляторов (чистка)				X	
Система смазки					
– Температура на линиях масла	X				
– Температура в контуре охлаждения	X				
– Сетчатый фильтр контура охлаждения (чистка)				X	
– Функционирование соленоидов		X			
– Анализ масла				X	
– Цвет масла, количество	X				
– Замена масляного фильтра					X
– Замена масла по результатам анализа					X
Функционирование подвижных лопаток на линии всасывания					
– Функционирование компрессора с полной нагрузкой, измерение потребляемого тока		X			
– Функционирование компрессора с пониженной нагрузкой, измерение потребляемого тока		X			
– Проверка температуры воды и замер силы тока		X			
– Проверка внутренних частей компрессора					X
Регулировка					
– Проверка работы регуляторов	X				
– Проверка калибровки и функционирования			X		
– Проверка калибровки подвижных кулис их функционирование			X		
– Проверка ограничителя нагрузки двигателя			X		
– Проверка масляного насоса			X		

Продолжение на следующей странице

Таблица 11.3. (продолжение)

Вид операции	раз в месяц	раз в квартал	раз в полугодие	раз в год	при необходимости
Предохранители					
– Реле тревоги		X			
– Блокировка насоса		X			
– Ограничитель температуры масла		X			
– Реле высокого и низкого давления		X			
– Ограничитель повышения температуры всасывания		X			
– Ограничитель повышения температуры нагнетания		X			
– Прерыватель обвода реле низкого давления		X			
– Дифференциальный реле масляного насоса		X			
– Аварийный таймер масляного насоса		X			
Конденсатор					
– Определение характеристик	X				
– Проверка качества воды		X			
– Чистка трубок испарителя				X	
– Тест Eddy current толщины стенок трубок					X
– Аварийные системы сезонного характера					X
Испаритель					
– Определение характеристик	X				
– Проверка качества воды		X			
– Чистка трубок испарителя					X
– Тест Eddy current толщины стенок трубок					X
– Аварийные системы сезонного характера					X
Терморегулирующие вентили					
– Проверка перегрева		X			
Общий осмотр агрегата					
– Определение характеристик	X				
– Проверка наличия утечек холодильного агента					
подсоединения к компрессору		X			
подсоединения к трубкам		X			
подсоединения к линии масляного насоса		X			
аварийные клапаны теплообменников		X			
– Проверка вибрации		X			
Пускатели					
– Проверка контактных групп		X			
– Проверка калибровки предохранителей против скачков напряжения		X			
– Проверка подсоединений электропроводки		X			
Дополнительные устройства					
– Обводной клапан (bypass) разогретого газа (проверка функционирования)		X			
– Проверка инжектирования жидкости (проверка функционирования)		X			

ГЛАВА 12

Использование смазочных масел

Рабочие характеристики масел 160
Смешиваемость масел с холодильными агентами 162
Полиэстерные масла 164
Гигроскопичность 164
Растворимость 166
Генерация шумов в компрессоре 166
Замена минерального масла полиэстерным 166
Действия по замене масла 167
Взятие проб масла 168

Соответствие смазочного масла специфическим условиям функционирования компрессоров для холодильных установок с учетом наличия особых видов используемых холодильных агентов является существенным для увеличения продолжительности работы компрессора и поддержания нормального рабочего режима. Хорошо подобранное масло для смазки должно:

— сохранять достаточную вязкость для обеспечения смазки при высоких температурах и быть достаточно текучим для выполнения своей функции при пониженной температуре;
— не подгорать при контакте с разогретыми частями компрессоров;
— не давать серного осадка при низкой температуре;
— не вступать в химическую реакцию с холодильным агентом или с материалами конструкции контура;
— быстро отделяться от холодильного агента и не содержать влаги;
— иметь высокую устойчивость к различным воздействиям для обеспечения продолжительного ресурса установки.

В компрессорах холодильных установок используются минеральные или синтетические типы масла (рисунок 12.1).

Минеральные типы масла используются с холодильными агентами CFC и HCFC; холодильные агенты HFC, не содержащие хлора, требуют применения синтетических полиэстерных масел (сокращенно полиэстерных или POE).

Минеральные масла могут быть:

— на основе нафтенов;
— на основе парафинов;
— на смешанных компонентах (нафтены и парафины).

Рисунок 12.1. Пробирки с полиэстерным и минеральным маслами для холодильного контура. Полиэстерные масла используются с холодильными агентам HFC, они могут применяться и с холодильными агентами CFC и HCFC.

Типы масла на основе нафтенов после дистилляции оставляют асфальтосодержащий осадок, тогда как парафиновые — осадок из парафинового воска. Опыт показывает, что для холодильных систем лучшими из минеральных являются нафтеновые масла, имеющие следующие преимущества:

— осадок этих масел эластичен и легко устраняется;
— меньшее количество воска в осадке при низких температурах;
— большая текучесть при высоких температурах.

Тем не менее, и другие типы масел имеют вполне приемлемые характеристики, если вырабатываются из качественного сырья при соответствующем уровне рафинирования и обработки.

Рабочие характеристики масел

Масло имеет следующие основные характеристики:

Вязкость. Является показателем сопротивления при перемещении в жидком состоянии, или степени плотности. Применительно к маслу слишком низкая плотность приводит к тому, что при сжатии трущихся поверхностей масло полностью выгоняется с соответствующей потерей функции смазки. И наоборот, слишком плотное масло снижает мощность работы агрегата и может не проникать между трущимися поверхностями. Вязкость измеряется в единице SUS (универсальные секунды Сэйболт) или в cSt (сентисток), показывающих время, необходимое для истечения определенного количества масла через откалиброванное отверстие при определенной температуре. Чем больше вязкость, тем продолжительнее соответствующий отрезок времени. На вязкость масла оказывает воздействие температу-

ра: снижается при ее возрастании и наоборот. Масло в компрессоре должно сохранять необходимую вязкость при высоких температурах (например, при работе с полной нагрузкой) и при пониженной температуре (например, при холодных запусках зимой, в режиме теплового насоса).

Точка текучести или температура предотвердения (pour point). Соответствует значению температуры, при которой масло прекращает течь в связи со значительным повышением плотности, приводящим к «отвердению». Зависит от содержания воска и/или вязкости.

Температура хлопьеобразования. Растворяемость воска, содержащегося в минеральных типах масла, понижается при снижении температуры, при определенных условиях часть воска может выделиться из масла в осадок. Подобные отложения могут скапливаться на самых холодных участках установки, таких как испаритель и ТРВ. Отложение воска в ТРВ может сузить отверстие прохода холодильного агента или даже привести к заклиниванию стержня клапана, в то время как в испарителе может привести к понижению коэффициента теплообмена.

Подгорание. Тепло (например, выделяемое разогретыми поверхностями компрессоров) приводит к разложению смазочных масел с образованием углеродистого осадка. В маслах на основе парафинов углеродистый осадок является плотным и клейким, вызывая загрязнение участков, в нафтеновых маслах отлагается легкий уголь, который, хотя и вызывает загрязнение, не является таким опасным, как твердый уголь.

Содержание минеральных кислот. Почти все смазочные материалы содержат некоторое количество минеральных кислот, приводящих к повышению агрессивности среды. Масло должно в максимально большой степени оставаться нейтральным даже при их наличии. *Показатель нейтрализации* дает числовое выражение подобной характеристики масла: чем он ниже, тем меньшей кислотностью обладает масло.

Температура возгорания (flash point). Это температура, при которой пары масла при появлении пламени возгораются. Значение температуры возгорания хорошего смазочного масла выше 188°С, что намного превышает температуру, возникающую при нормальной работе холодильных установок.

Температура горения. Это температура, при которой пары масла поддерживают горение.

Диэлектрическая способность. Представляет собой показатель изоляционных свойств масла при пропускании через него электрического тока (измеряется в киловольтах). Рассчитывается как разница напряжения, необходимая для создания электродуги между двумя электродами, погруженными в масло. В маслах высокого качества показатель диэлектрической способности превышает 25 кВ. Косвенным образом показатель диэлектрической способности свидетельствует о количестве загрязнений, содержащихся в масле. Масло с отсутствием загрязнений имеет гораздо больший показатель диэлектрической способности, чем загрязненное масло.

Устойчивость к окислению. Определяет устойчивость масла при наличии кислорода. При окислении возникают изменения физических и химических характеристик масла. В маслах с низкой устойчивостью к окислению в присутствии влаги и тепла образуются кислоты (обычно слабые органические кислоты, но при экстремальных условиях могут образовываться и минеральные) и отложения загрязнений, что приводит к неполадкам в работе холодильного контура. Неправильное хранение (открытый контакт с воздухом) может привести к тому, что в холодильный контур будет введено масло с измененными характеристиками, что повышает опасность возникновения поломок. Показатель устойчивости к окислению определяется при соответствующем анализе: при низких его значениях обеспечивается значительное замедление возможного разложения масла с образованием кислот и отложением загрязнений.

Цвет. Цвет масла является показателем степени его рафинирования: слишком светлое масло (водянистое) указывает на его излишнюю рафинированность с пониженными смазывающими характеристиками, напротив, слишком темный цвет указывает на недостаток рафинированности масла, что соответствует высокому содержанию ненасыщенных углеводородных соединений. Масло должно быть рафинировано в такой степени, чтобы исключить содержание ненасыщенных углеводородных соединений с сохранением смазочных характеристик. Хорошее масло для холодильных установок должно быть светлым, но не бело-водянистым.

Содержание влаги. Хорошо известно, что наличие влаги приводит к нарушениям в работе холодильного контура. Поэтому в масле должно содержаться минимально возможное ее количество.

В таблице 12.1 приводятся основные характеристики ряда минеральных масел для холодильных установок.

Таблица 12.1. Показатели основных характеристик ряда минеральных масел для холодильных установок.

Показатели	3GS	4GS	5GS
Вязкость (SUS/0°F; −17,8°C)	18000	92000	184000
Вязкость (SUS/100°F; +37,8°C)	155	290	525
Вязкость (SUS/210°F; +99°C)	40,9	46,0	55,3
Вязкость (cSt/0°F; −17,8°C)	4000	20000	40000
Вязкость (cSt/100°F; +37,8°C)	33,0	62,5	113,4
Вязкость (cSt/210°F; +99°C)	4,45	6,04	8,86
Flash point (COC°F)	335	355	360
Температура возгорания (COC°C)	199	210	199
Puor point (°C)	−40	−34,4	−23
Температура хлопьеобразования (°C)	−53	−47	–
Цвет	1,0	1,0	2,5
Содержание воды (ppm)	25	25	25
Углерод Conradson (%)	следы	следы	0,01
Преломляющая способность при 20°C	1,500	1,502	1,504

Смешиваемость масел с холодильными агентами

Смешиваемость масел с холодильными агентами изменяется значительно в зависимости от типа масла, холодильного агента и условий функционирования. Она является полной с галогенированными холодильными агентами типа R-12 и R-500. С такими же марками холодильных агентов, как R-22 и R-114 смешиваемость имеет свои особенности: при средних и высоких температурах смешивание происходит, а при низких температурах компоненты смеси разделяются. Происходит так называемое разделение фаз.

При смешивании холодильного агента с маслом происходит уменьшение концентрации последнего со снижением показателей вязкости, которая в этом случае зависит не только от температуры, но и от количества холодильного агента, смешанного с маслом. Например, при добавлении R-12 в объеме 20% и температуре 4,5°C определенная марка масла имеет вязкость 150 SUS; при повышении содержания холодильного агента до 40% и при той же температуре вязкость снижается до 45 SUS.

В случае использования R-12 и других полностью смешиваемых с маслом холодильных агентов создающаяся смесь тем не менее постоянно сохраняет свойства смазки. Сложнее ситуация с R-22 и другими не полностью смешиваемыми холодильными агентами: при определенных условиях они отделяются от масла, приводя к созданию двух отдельных слоев жидкости: нижний слой почти чистого холодильного агента, над которым находится на плаву масло с фрагментами холодильного агента. Как следствие, при запуске масляный насос всасывает жидкий холодильный агент (а не масло) и направляет его ко всем подвижным частям для смазки с легко определимыми последствиями.

Показатели смешиваемости масла с R-22 приводятся на рисунке 12.2. Кривой показана смешиваемость жидкого R-22 с маслом для холодильных установок на нафтеновой основе с показателем вязкости 150 SUS/100°F (37,8°C). Кривая, соответствующая отношению процентного содержания веса масла (и соответствующей фракции холодильного агента) к температуре, является линией насыщенного раствора.

Выше кривой (зона *A*) происходит полное смешивание холодильного агента и масла в любых пропорциях. Точка *CST* (*Critical Solution Temperature*, критическая температура раствора) соответствует минимальному значению температуры, при котором R-22 и масло смешиваются полностью в любых пропорциях. Слева от кривой и ниже точки *CST* зона, соответствующая смеси жидкого холодильного агента, насыщенного маслом. Если количество имеющегося в смеси масла выше допустимого значения, часть его отделяется, образуя верхний слой (зона *B*).

Справа от кривой и ниже точки *CST* ситуация обратная: здесь масло насыщено холодильным агентом, при увеличении количества масла он отделяется, образуя слой (зона *C*). В зоне *D* имеются два не-

смешивающихся раствора. Проще говоря, подобная диаграмма отражает состав смеси масло-холодильного агента как процентное содержание каждого компонента при указанной температуре.

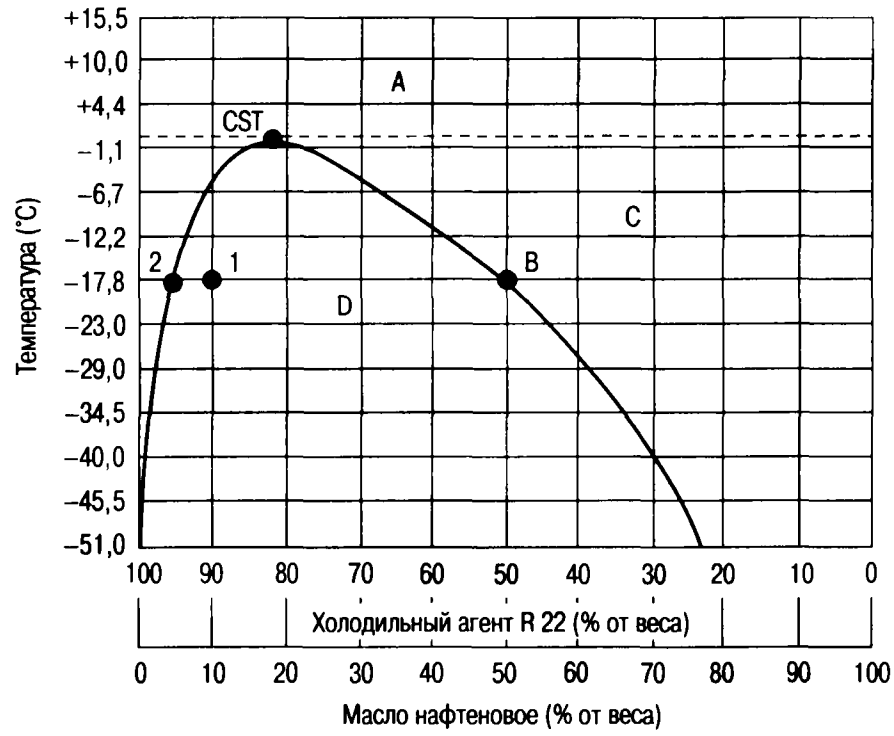


Рисунок 12.2. Кривая насыщения смеси с R-22 и минеральным нафтеновым маслом для холодильных установок с вязкостью 150 SUS/100°F (37,8°C). Кривая соответствует положению насыщенного раствора холодильного агента и масла.

Для иллюстрации сказанного обратимся к участку низкой температуры холодильного контура смешиваемости, предположив наличие в холодильном агенте R-22 10% масла с температурой 0°F (–17,8°C) (точка *1*). В этих условиях кривая показывает, что имеются две жидкие фазы: одна, слева, содержащая 5% масла и 95% холодильного агента (точка *2*) и другая, справа, содержащая 50% масла и 50% холодильного агента. Разделение смеси на две жидкие фазы требует соблюдения мер предосторожности для удержания масла вне терморегулирующего вентиля или капилляров и трубок испарителя, где оно может замерзнуть.

В этих случаях перенос масла к низкотемпературному участку контура может быть ограничен установкой сепаратора масла между выходом из компрессора и конденсатором. Этот метод был уже описан в Главе 7.

Другими элементами риска являются следующие:

— опасность сжатия жидкости в компрессоре с возможными поломками клапанов и шатунов;
— сокращение продолжительности ресурса обмоток двигателя ввиду наличия жидкого холодильного агента (в особенности R-22) при остановках работы.

Галогенированные холодильные агенты, кроме того, при наличии влаги могут вступать в реакцию с материалами изоляции с возникновением опасности короткого замыкания.

На практике невозможно предотвратить разбавление масла холодильным агентом, однако, существуют способы его ограничения.

Один из таких способов заключается в поддержании загрузки холодильного агента на уровне, не более чем в три раза превышающем массу масла: даже при худших условиях в картере будет сохраняться смесь, состоящая из 25% масла и 75% холодильного агента.

Другим приемом является использование электроразогревателей картера компрессора, способствующих повышению давления паров смеси до давления холодильного агента в других частях холодильного контура, уменьшая тем самым миграцию холодильного агента. Кроме того, при использовании R-22 электроразогреватель поддерживает температуру смеси достаточно высокой для предотвращения разделения ее на фазы жидкости. Необходимо отметить, что после продолжительных остановок следует подключать электроразогреватель за несколько часов (обычно за 12) до запуска компрессора, поскольку для испарения холодильного агента, отделившегося от масла, требуется немало времени, а при использовании R-22 необходимо также восстановить смешивание двух жидкостей.

Дополнительным средством является обеспечение отключения компрессора при срабатывании реле низкого давления (управляемого, в свою очередь, от термостата воздуха окружающей среды и термостата охлажденной воды). Эта система, называемая pump-out, позволяет освободить испаритель от имеющегося в нем холодильного агента и обеспечить низкое давление в картере. Подобное «освобождение» испарителя, особенно в двухсекционных установках, предотвращает миграцию холодильного агента.

Полиэстерные масла

Новые холодильные агенты, не содержащие хлора HFC, не смешиваются с используемыми в настоящее время нормальными типами минерального масла: при функционирующем контуре масло, выходящее из компрессора на HFC, может задерживаться в линиях охлаждения или в испарителе с опасностью закупоривания трубок теплообменников (а также к потере производительности и повышению потребления электроэнергии) и недостаточности возврата его в компрессор (вследствие чего возникают неисправности, связанные с недостатком смазки).

Полиэстерные типы масла (или полиэстеры, сокращенно POE) являются синтетическими смазочными материалами, которые с середины пятидесятых годов используются для реактивных авиадвигателей. На рынке смазочных материалов имеются разнообразные виды таких масел с различными характеристиками, использование некоторых из них возможно в холодильных установках на холодильных агентах HFC. Несмотря на более высокую цену по сравнению с минеральными маслами, полиэстерные имеют значительное преимущество, обладая способностью смешивания с HFC, CFC и HCFC. Кроме того, они подвержены биологическому разложению, в связи с чем не требуется их утилизация как специальных отходов.

Полиэстерные и минеральные масла значительно отличаются друг от друга по основным показателям и способам употребления: для полиэстерных масел требуются более строгие критерии технологии холодильного контура по сравнению с использующимися до настоящего времени при работе с минеральными маслами, кроме того, они требуют более тщательной очистки и осушения контуров. Основным слабым местом полиэстерных масел является большая гигроскопичность (см. следующий раздел).

Несмотря на то, что полиэстерные масла для смазки компрессоров в настоящее время применяются преимущественно для работы с новыми холодильными агентами HFC, они могут быть использованы и с традиционными холодильными агентами R-22, R-12, R-502 и пр. В отличие от минеральных масел, в полиэстерных не содержится воска.

В таблице 12.2 показаны основные сравнительные характеристики минерального масла и полиэстерного масла.

Таблица 12.2. Основные характеристики полиэстерного масла и минерального масла.

Показатели	Mobil EAL Arctic 22 CC (полиэстер)	3GS Mineral Oil (минеральные)
Вязкость при 40°C	23,9 cSt	33 cSt
Вязкость при 100°C	4,8 cSt	4,45 cSt
Коэффициент вязкости	130	0
Точка хлопьеобразования	<–73°C	<–54°C
Точка текучести	–54°C	–40°C
Точка кипения	235°C	168°C

Гигроскопичность

Кроме перечисленных выше преимуществ, полиэстерные типы масла имеют большой недостаток: большую гигроскопичность, значения которой намного выше, чем у минеральных масел. Кроме того,

влажность удерживается ими с большей силой, чем в минеральных маслах, до такой степени, что для ее удаления недостаточно применения обычных способов создания вакуума и осушения контура.

Основные изготовители компрессоров устанавливают предельный уровень содержания влаги, допустимый для полиэстерных масел при их использовании в холодильных контурах, составляющий 50 ppm, при его превышении может возникнуть коррозия металлических частей и деталей, покрытых медью, а также образоваться кислоты и спирт, что приводит к сокращению ресурса установки и понижению ее рабочих характеристик. Положение осложняется еще и тем, что если для минеральных типов масла содержание в них влаги имеет достаточно постоянные значения, около 35 ppm, для полиэстерных масел оно быстро увеличивается и уже через 50 часов достигает значения свыше 500 ppm, абсолютно неприемлемого для работы холодильной установки (рисунок 12.3).

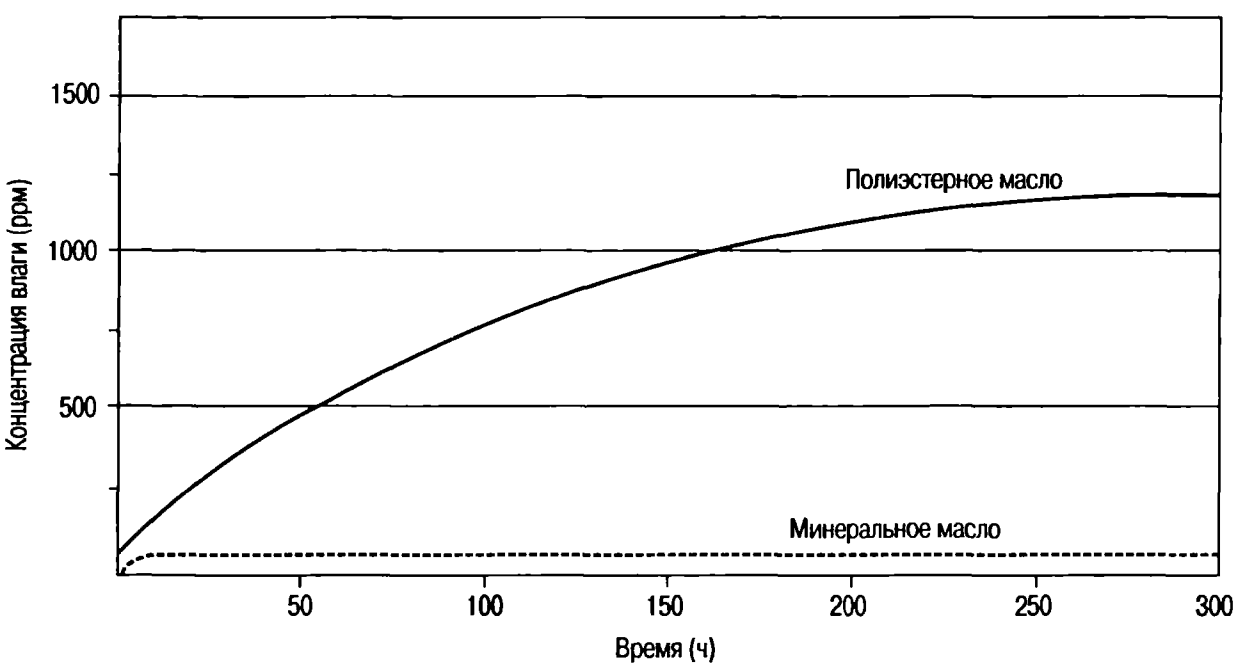


Рисунок 12.3. Кривая гигроскопичности полиэстерного масла. Заметно значительное возрастание удержания влаги из воздуха относительно показателя обычного минерального масла.

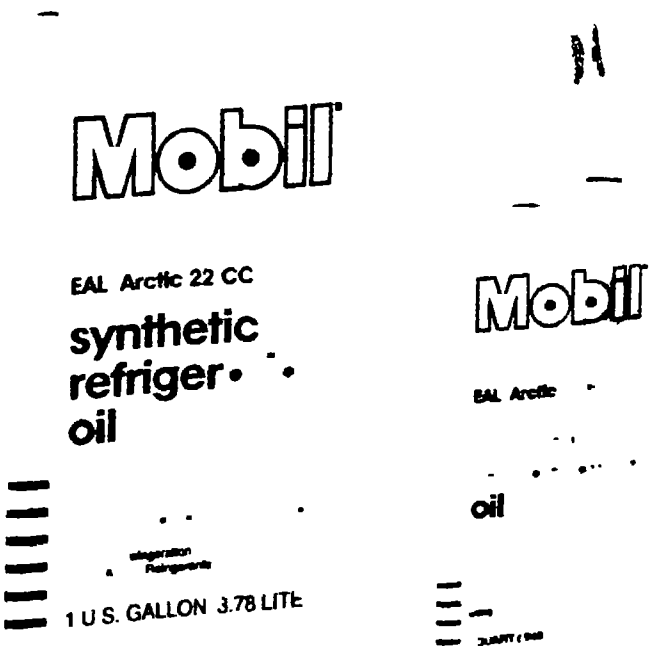


Рисунок 12.4. Полиэстерное масло должно храниться в банках (металлических контейнерах) небольшого объема. После открытия упаковки масло нельзя хранить долго.

Для правильного хранения полиэстерного масла важен материал, из которого изготовлены контейнеры: некоторые типы пластика, ввиду их пористости, допускают просачивание влаги и поэтому не годятся для хранения. Этот факт подтверждается еще и тем, что основные фирмы-изготовители компрессоров рекомендуют для хранения исключительно металлические запечатанные контейнеры.

Поскольку контейнер с маслом должен открываться только при использовании, и в открытой упаковке масло не может храниться долго, почти обязательно использование контейнеров малого объема (рисунок 12.4).

Для недопущения проникновения влаги компрессоры и холодильные контуры должны оставаться закрытыми, за исключением случаев крайней необходимости, связанных с их работой или техническим обслуживанием. Компрессоры не следует оставлять открытыми более чем на пятнадцать минут, в противном случае содержание влаги в масле возрастает выше допустимого предельного значения.

Таким образом, при использовании полиэстерных масел необходимо принимать различные меры предосторожности, а процедуры по загрузке и техническому обслуживанию холодильных установок должны проводиться в более строгом режиме, чем в обычных условиях.

Растворимость

Другим недостатком полиэстерных типов масла является отличие их показателей растворимости от показателей минерального масла. В связи с этим может оказаться, что загрязнения, которые растворяются минеральными маслами, не будут растворяться полиэстерными, засоряя небольшие отверстия, например, в TPB. И наоборот, другие виды загрязнений, не растворимые в минеральном масле и производящие отложения внутри линий и компонентов контура, могут оказаться растворимыми полиэстерными маслами и мигрировать по контуру до достижения небольших отверстий, приводя к их закупориванию, нарушая тем самым работу клапанов. На практике очень важно, чтобы каждый контур, содержащий полиэстерное масло, имел заметные идентификационные таблички с указанием состава масла и холодильного агента, чтобы не допустить загрязнений вследствие добавления масла или холодильного агента другой марки.

В связи с вышеизложенным, понятно, почему правильный выбор и использование механических фильтров и гильзовых осушителей при изготовлении и техническом обслуживании холодильных контуров в настоящее время имеет гораздо большее значение, чем раньше. Размер фильтров-осушителей должен определяться с учетом необходимости удержания нерастворимых и частично растворимых компонентов.

Необходимо также учитывать, что молекулы полиэстерного масла являются гораздо более поляризованными, чем минерального, ввиду чего сильнее притягивают частицы загрязнений, вызывая почернение масла. Несмотря на то, что эти частицы удерживаются в холодильном контуре фильтрами, может возникнуть необходимость в более частой замене фильтра с учетом рекомендаций изготовителя.

Наконец, полиэстерное масло может содержать антиокислительную присадку, способную изменять цвет масла, что рекомендуется некоторыми изготовителями компрессоров.

Генерация шумов в компрессоре

При использовании полиэстерного масла компрессор обычно издает больший шум, чем при работе на минеральном масле. Это явление зависит от типа компрессора: поршневые компрессоры обычно имеют более высокий уровень шума, а в компрессорах scroll повышение уровня шума ниже.

Замена минерального масла полиэстерным

Полиэстерное масло нельзя смешивать с минеральным, а также использовать один и тот же рабочий инструмент. Для них требуется индивидуальный инструмент, не используемый для других работ. В отношении этих типов масла необходимо следовать инструкциям изготовителей.

Когда необходимо произвести переналадку холодильной установки с переходом на использование холодильного агента от CFC или HCFC на HFC, необходимо обеспечить очистку контура и замену имеющегося минерального масла на полиэстерное. При этом невозможно избежать сохранения некоторого количества минерального масла в контуре, однако, необходимо добиться того, чтобы его содержание не превышало 5% общего количества заправки.

Ниже приводятся некоторые инструкции по действиям при замене минерального масла полиэстерным в холодильной установке, имеющей один или несколько компрессоров и равное им число испари-

телей. Естественно, речь идет об инструкциях общего характера, которые следует сопоставлять и при необходимости изменять или дополнять с учетом инструкций изготовителя полиэстерного масла.

Действия по замене масла

1. Удалить наледь из испарителя (или испарителей) установки. Эта операция обеспечивает максимальный возврат минерального масла к компрессору. Если на установке не предусмотрена процедура удаления наледи, перейти к пункту 2.
2. Остановить работу холодильной установки и перекрыть компрессор. Удалить холодильный агент CFC или HCFC из компрессора через соответствующий штуцер и собрать его, следуя соответствующим рекомендациям. Оставшийся в контуре холодильный агент пока не удалять.
3. Слить минеральное масло из компрессора. Для удаления остатков масла из картера использовать ручной насос (рисунок 12.5).

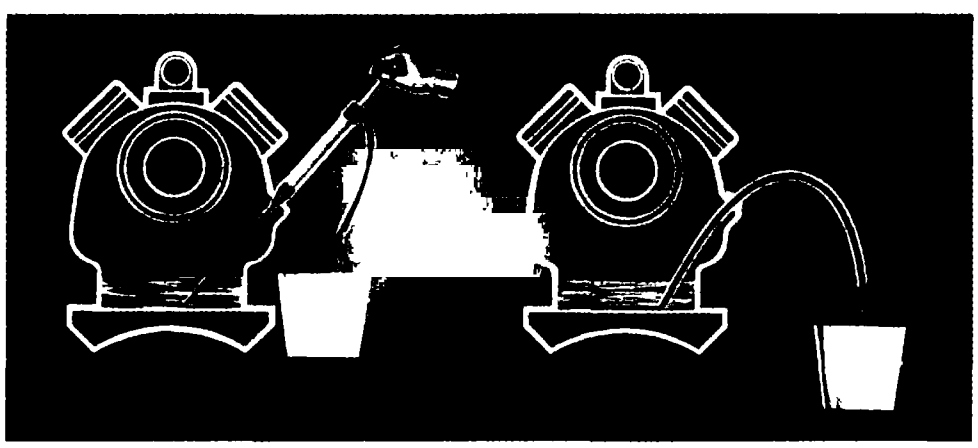


Рисунок 12.5. Процедура удаления масла из компрессора с использованием ручного насоса.

4. Установить дренирующие клапаны на всех компрессорах для слива минерального масла, возвращающегося к каждому компрессору. Они предотвращают создание излишнего заряда. Перед заливом другого масла (см. следующий пункт) убедиться, что клапаны находятся в закрытом положении.
5. Залить в компрессор требуемое количество полиэстерного масла. Использовать соответствующий инструмент и необходимые операции.
6. Перекрыть и заменить фильтры-осушители.
7. При помощи ручного насоса добавить дополнительное количество полиэстерного масла, равного половине только что залитого в компрессор(-ы) на линии жидкости ниже конденсатора или накопителя.
8. Убедиться, что все устройства по удалению наледи, как ручные, так и автоматические, отключены.
9. Залить холодильный агент CFC или HCFC в том же количестве, в котором был удален ранее использовавшийся (см. пункт 2).
10. Запустить холодильную установку, учитывая, что с этого момента в контуре находится примерно на 50% больше масла.
11. Проверить уровень масла в картере компрессора, при необходимости слить лишнее масло до требуемого уровня. Через 15–30 минут большая часть лишнего масла, включая значительное количество остававшегося минерального масла, будет удалена из установки.
12. Спустя 30–40 минут снова активировать цикл удаления наледи для облегчения возврата масла в компрессор(-ы).
13. Остановить работу установки и взять пробу масла из картера компрессора. В установке с несколькими компрессорами взять пробу из каждого компрессора.
14. С помощью рефрактометра (рисунок 12.6) или специального оборудования для анализов изучить образцы масла для определения содержания в них остатка минерального масла. На этом этапе не следует ожидать снижения содержания минерального масла до 5%, что необходимо для завершения работы. При взятии проб с нескольких компрессоров, вывести среднее значение анализов.
15. Снова перекрыть компрессор и слить весь содержащийся в нем холодильный агент CFC или HCFC, придерживаясь инструкции.
16. Слить отработанное масло из компрессора и заменить его равным объемом нового масла этой же марки. Для удаления остатков масла в картере компрессора использовать ручной насос.

17. Перекрыть и еще раз заменить фильтры-осушители.
18. Снова запустить установку и прогнать ее до достижения полного цикла передвижения смеси масло/холодильный агент.
19. Взять образец масла из каждого компрессора и исследовать его рефрактометром или специальным оборудованием для анализов. Возможны следующие варианты:
    а) количество оставшегося минерального масла меньше 5%. В этом случае отключить установку и слить еще остающийся холодильный агент CFC или HCFC с использованием соответствующих приспособлений и процедур, затем залить в установку выбранный тип холодильного агента HFC;
    б) количество оставшегося минерального масла все еще превышает 5%. В этом случае повторить операции, описанные в пунктах от 13 до 16, а затем повторно провести анализ.

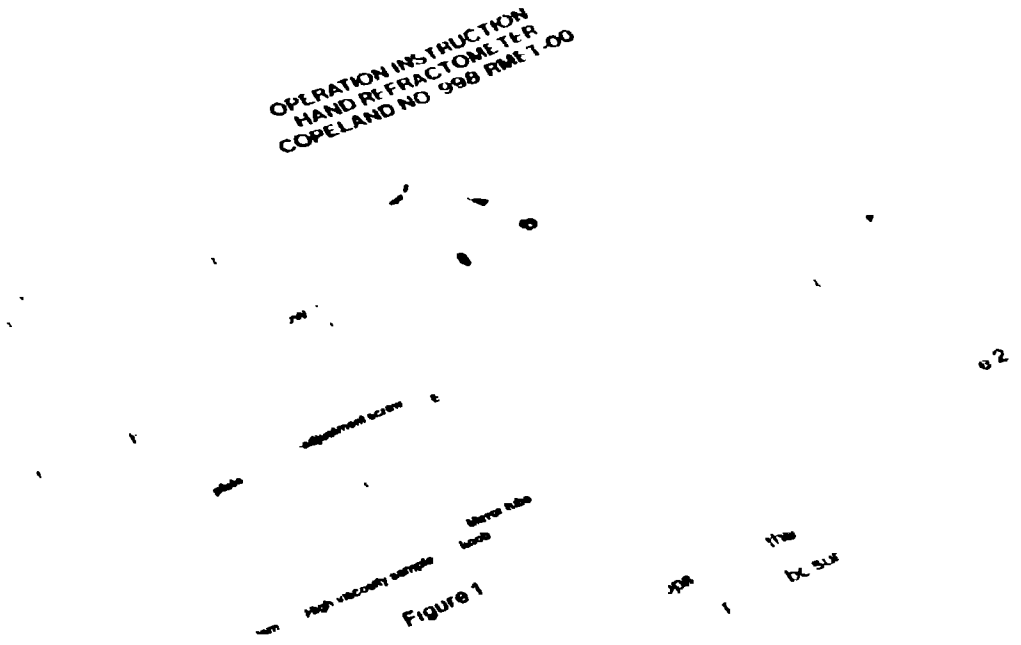


Рисунок 12.6. Рефрактометр для оптического измерения содержания остатков минерального масла в полиэстерном масле после замены заряда в агрегате с CFC или HCFC на HFC.

Взятие проб масла

Описанная здесь методика является очень функциональной при запуске новых установок split или при замене сгоревшего компрессора на новый. Она позволяет брать пробы масла спустя некоторое время после начала функционирования установки и заключается во вводе короткой трубки, выполняющеи функцию зонда для сбора масла на линии всасывания, выше фильтра-осушителя.

Длина трубки должна позволять собрать по крайней мере 30 г масла. На конце трубки должен иметься клапан Шредера с завинчивающейся заглушкой. При взятии каждой пробы необходимо убедиться в том, что из трубки полностью удалены остатки масла, чтобы последующий анализ был репрезентативным в отношении реальных характеристик масла, находящегося в контуре.

ГЛАВА 13

Рабочие режимы испарителей и батарей охлаждения

Пластинчатые паяные испарители 171
Испарители с двойным холодильным контуром 172
Установка 172
Эксплуатация и техническое обслуживание 174
Кожухотрубные испарители 176
Испарители типа «труба в трубе» 177
Затопленные испарители 177
Факторы, влияющие на функционирование испарителей 178
Общий коэффициент теплообмена 178
Потеря давления 179
Эксплуатация 179
Испарительные батареи прямого расширения 180
Конструкция 181
Эксплуатация 183
Батареи на охлажденной воде 183
Коэффициент обвода (bypass) 185

Функция испарителя заключается в охлаждении воды, или незамерзающего раствора, или воздуха в установках по кондиционированию воздуха или промышленного холода. Холодильный агент поступает в испаритель через распределитель, проходит через испаритель и вступает в косвенный контакт с жидкостью, требующей охлаждения, абсорбирует от нее тепло и переходит в состояние насыщенного пара.

Формула расчета процесса теплообмена следующая:

$$q = K \cdot A \cdot \Delta t ,$$

где:

q — тепловой поток (Вт);

K — общий коэффициент теплообмена (Вт/м^2 • °С);

A — общая площадь теплообмена (м^2);

Δt — разница температур между двумя сторонами трубки (°С).

Из формулы видно, что при заданном значении потока тепла увеличение площади A приводит к уменьшению разницы температур Δt. Кроме того, в условиях холодильного контура при снижении величины теплового потока q, при незначительном изменении K, происходит снижение Δt. Это оказывает свое воздействие при частичной загрузке системы.

Полагается, что фаза испарения протекает при постоянном давлении, как это видно из диаграммы на рисунке 13.1, где фазе испарения соответствует участок *BC*; в действительности, между входом и выходом создается разница давлений испарителя ΔP. При уменьшении давления между входом и выходом испарителя происходит соответствующее снижение температуры насыщения.

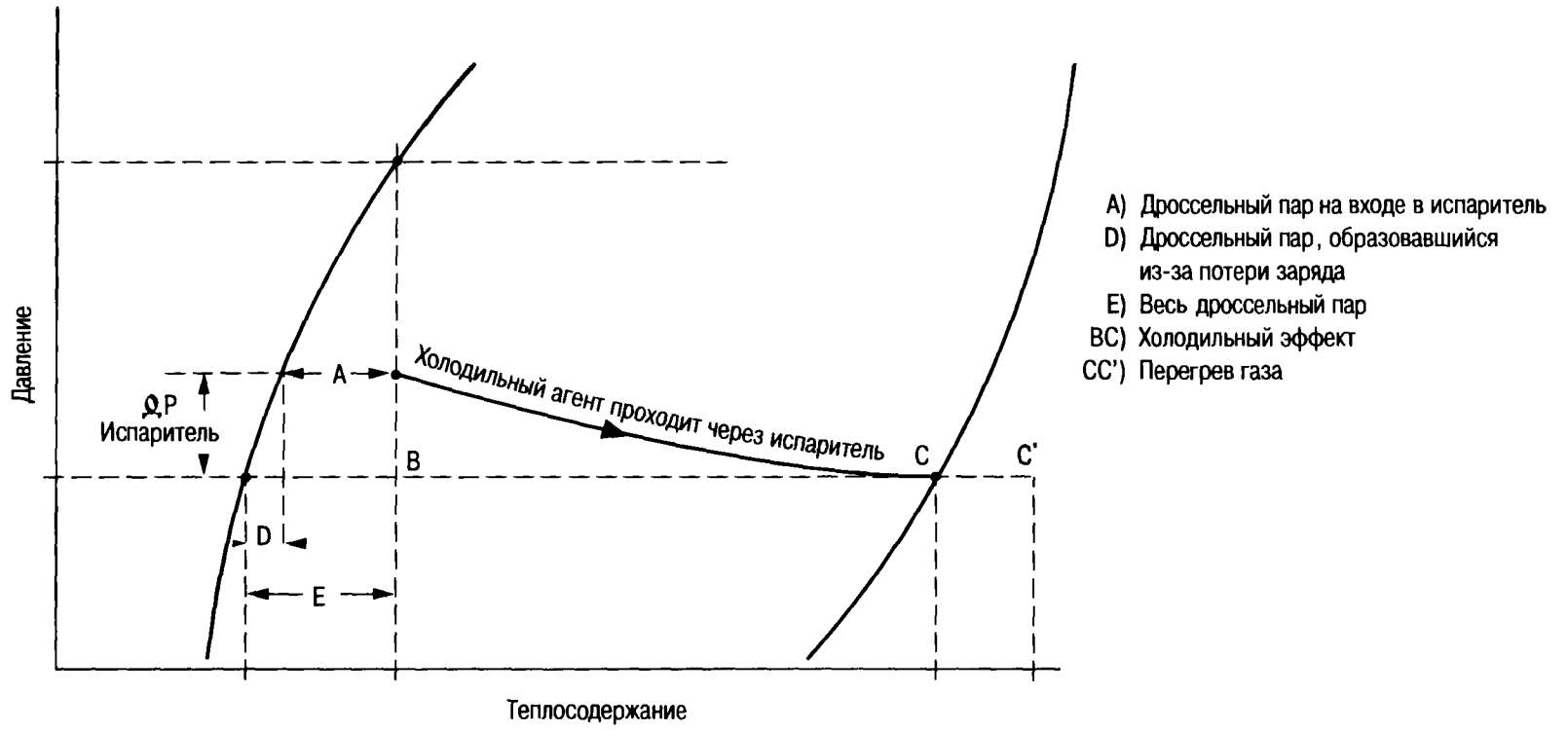


Рисунок 13.1. Фаза испарения на диаграмме «давление-теплосодержание»: холодильный эффект представлен на участке BC. Влияние перегрева газа незначительное: соответствует участку CC'.

Разница значений теплосодержания между точкой выхода холодильного агента из испарителя и точкой входа создает холодильный эффект. Для получения максимального холодильного эффекта необходимо обеспечить полное испарение холодильного агента до выхода его из испарителя. Как правило, испарители с прямым расширением сообщают холодильному агенту больше тепла, чем требуется для его испарения, чтобы вызвать его перегрев.

Необходимо обеспечить полное испарение капель остаточной жидкости, переносимых холодильным агентом, чтобы в компрессор поступал только пар. Этот метод имеет свои недостатки: для него требуется увеличение площади теплообмена испарителя (то есть увеличение количества трубок) примерно на 2–3% на каждые 0,5°С перегрева. Этому способствует также тот факт, что коэффициент теплообмена перегретого пара ниже соответствующего показателя насыщенного пара. Поскольку обычно обеспечивается перегрев на 5–8°С, увеличение площади испарителя может составлять от 20 до 40%. На-

против, увеличение холодильного эффекта за счет перегрева весьма незначительно, порядка нескольких процентов.

Диаграмма на рисунке 13.1 иллюстрирует общий показатель холодильного эффекта, фазе перегрева соответствует участок *CC'*.

Пластинчатые паяные испарители

Пластинчато-паяный испаритель состоит из серии пластин, расположенных елочкой и выполненных из нержавеющей стали, устойчивой к воздействию кислот. Пластины расположены межу собой таким образом, чтобы создавалось большое число точек контакта с изменением направления «елочки». Если точки контакта сварены между собой, при их запайке образуется компактный и устойчивый к воздействию давления теплообменник, в котором практически весь материал участвует в передаче тепла (рисунок 13.2).



С помощью запайки создаются два отдельных контура с противоположными потоками жидкости, создающими значительную турбулентность, что обеспечивает максимальную передачу тепла. В результате значительно повышается эффективность теплообменника с достижением высокого значения коэффициента теплообмена.

Имеющиеся на рынке испарители с паяными пластинами покрывают диапазон холодильной мощности от нескольких киловатт до 500 кВт и более.

Особенностью этих испарителей является то, что в них используется значительно меньший объем холодильного агента (от –15 до –20%) по сравнению с теплообменниками с пучком трубок.

Рисунок 13.2. Принципиальная схема конструкции типичного теплообменника с паяными пластинами.

Стандартная конструкция включает в себя два сварных подсоединения для холодильного контура и два резьбовых подсоединения для контура воды; все четыре подсоединения обычно располагаются на передней пластине (рисунок 13.3).

В некоторых особых конструкциях агрегата его установка упрощена. Например, на рисунке 13.4 показан контур теплового насоса с двумя теплообменниками, оснащенными двумя сварными подсоединениями на передней пластине для контура холодильного агента и двумя резьбовыми подсоединениями для контура воды, расположенными на задней пластине.

Рисунок 13.3. Подсоединения холодильного контура и контура воды на передних пластинах двух теплообменников на пластинах.

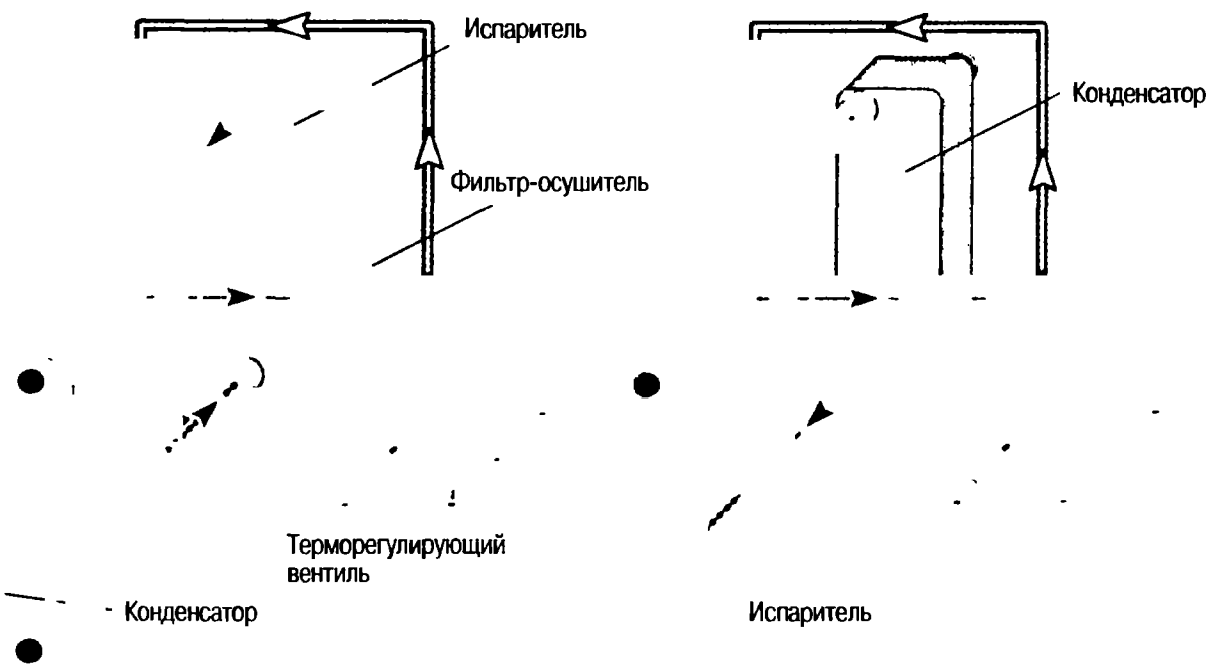


Рисунок 13.4. Контур реверсивного теплового насоса с двумя пластинчатыми теплообменникам, оснащенными подсоединениями для холодильного агента и воды на двух противоположных сторонах.

Испарители с двойным холодильным контуром

Еще одной разновидностью испарителей являются испарители с двумя раздельными между собой контурами для холодильного агента и только одним контуром для воды (рисунок 13.5). Этот тип агрегата позволяет использовать компрессоры с возможностью их частичной загрузки в зависимости от потребностей охлаждения. Кроме того, при выходе из строя одного из двух компрессоров установка может продолжать функционировать на остающемся рабочем контуре.

Установка

Пластинчатый теплообменник должен монтироваться вертикально и быть ориентирован в соответствии с рекомендациями изготовителя. Некоторые примеры установки показаны на рисунке 13.6.

Для предотвращения передачи вибрации или пульсации, вызванных работой установки, на теплообменник рекомендуется устанавливать глушители и гасители вибрации. Для этого обычно используется резина, выполняющая функцию подушки между теплообменником и монтажной стойкой.

Очень важно, чтобы каждый канал холодильного контура был окружен каналом контура воды. Поэтому в любом теплообменнике первый и последний каналы должны отводиться под контур воды.

Если поменять местами подсоединения воды и холодильного агента, температура испарения понизится более чем на 5°С, по сравнению с предусмотренным значением, с возникновением опасности замерзания и значительного снижения производительности (50% и более).

В теплообменнике с паяными пластинами смесь, состоящая из газообразного и жидкого холодильного агента, поступает из нижней левой точки, а газ выходит из верхней левой точки (рисунок 13.7). Вход воды находится в верхней точке, выход — в нижней справа. Потоки воды и холодильного агента должны быть всегда направлены в противоположные стороны. Терморегулирующий вентиль должен быть максимально приближен к входу, тогда как датчик должен устанавливаться на расстоянии примерно 500 мм от выходного штуцера газообразного холодильного агента (рисунок 13.8). Между ТРВ и штуцером поступления холодильного агента необходимо использовать трубку небольшого диаметра. Для большей надежности уплотнения необходимо всегда осуществлять сварное подсоединение теплообменника со стороны холодильного агента.

При установке необходимо убедиться, что на подсоединении не имеется дефектов резьбы, способных вызвать повреждение соединения. Рекомендуется использовать подсоединения, кромка которых плотно прилегает к верхней части подсоединения теплообменника.

Пайка соединений должна производиться припоем с содержанием серебра не менее 45%.

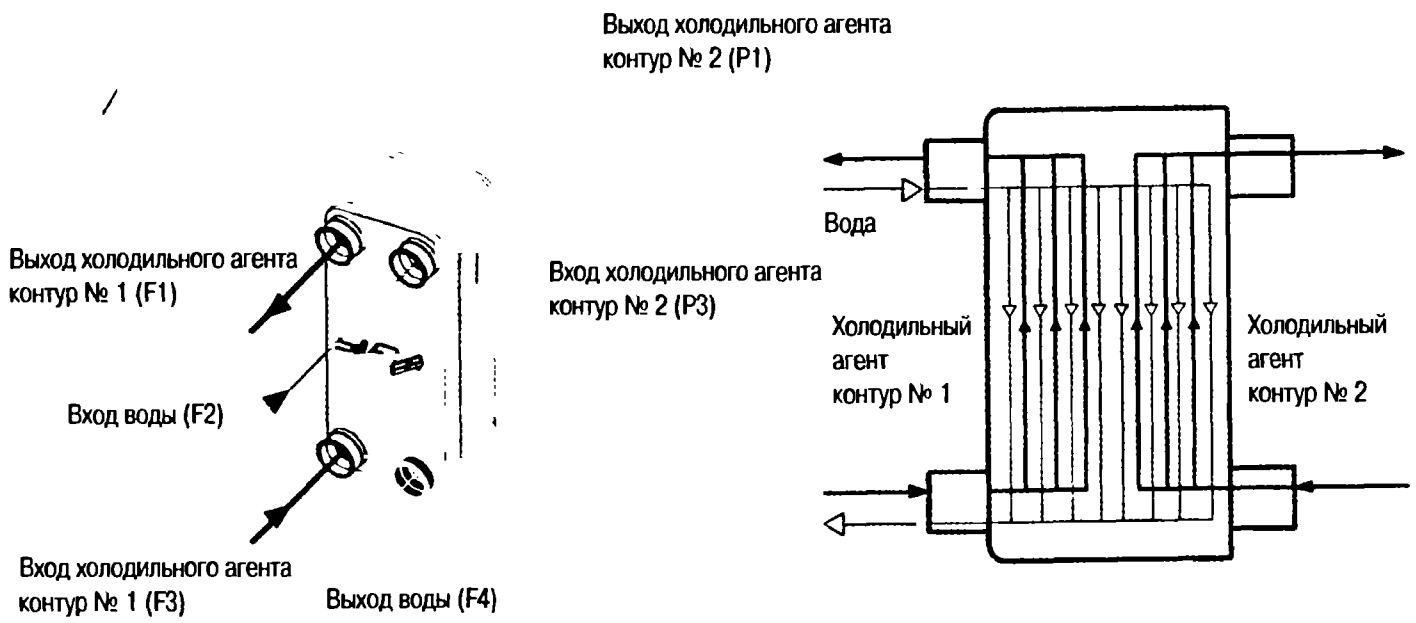
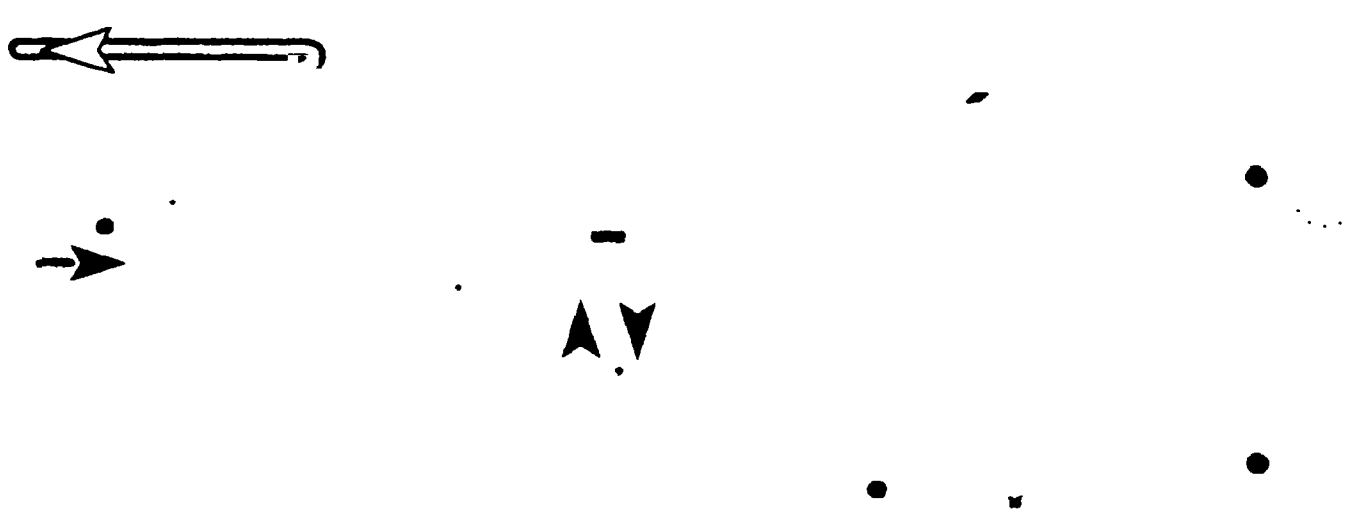


Рисунок 13.5. Теплообменник с паяными пластинами, с двойным контуром холодильного агента и одним контуром воды.



Конденсатор **Испаритель прямого расширения** **Конденсатор**

Рисунок 13.6. Примеры монтажа теплообменников с паяными пластинами: на стойке из стального листа или на различных подставках.

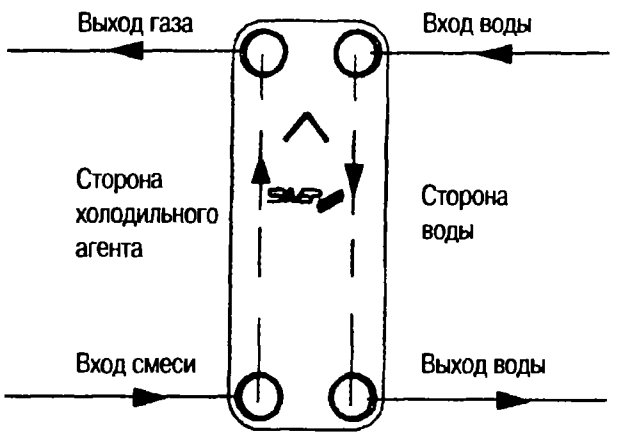


Рисунок 13.7. Вход и выход холодильного агента и воды в испарителе с паяными пластинами.

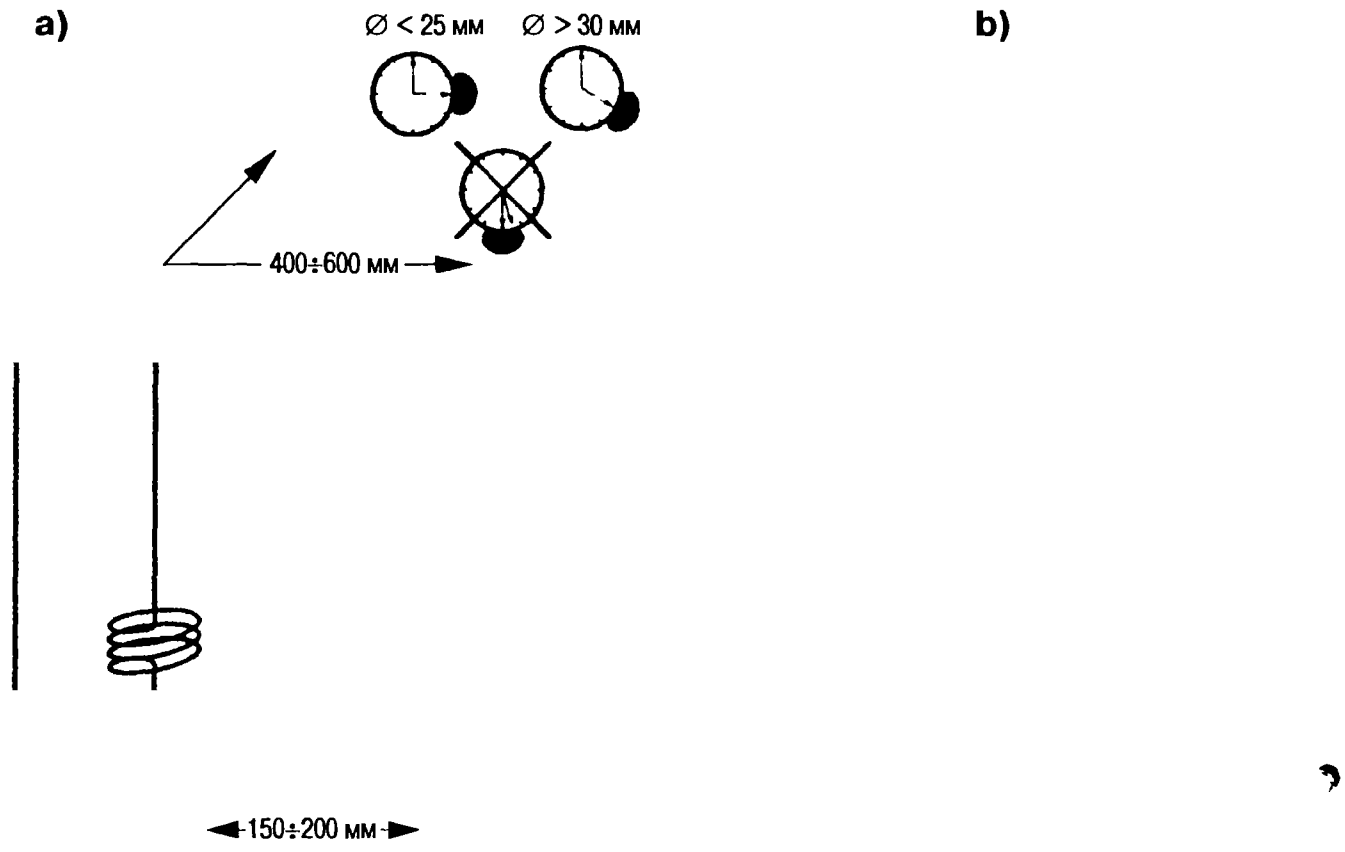


Рисунок 13.8. Подключение ТРВ к испарителю с паяными пластинами с одним (а) и с двумя (б) контурами.

Эксплуатация и техническое обслуживание

Если есть вероятность наличия в жидкости твердых частичек диаметром более 1 мм, настоятельно рекомендуется использовать фильтр. Частицы с диаметром менее 1 мм обычно не создают помех в работе.

Предотвращение обледенения. Обычно лед образуется на выходе воды, в нижней части испарителя, где температура воды достигает наименьшего значения. В испарителе прямого расширения температура испарения регулируется на выходе холодильного агента (в верхней части испарителя). Опасность обледенения возникает, когда она равна или ниже точки замерзания охлаждаемой жидкости.

Уменьшение загрузки со стороны холодильного агента в нормальных условиях соответствует снижению температуры примерно на 2°C. При охлаждении воды температура насыщения на выходе из испарителя должна быть на уровне –2°C или ниже, чтобы на входе в испаритель температура равнялась 0°C. Критическим моментом является момент запуска установки, когда давление всасывания очень низкое, соответствующие показатели имеют значение от –10°C до –15°C.

Рекомендуются следующие приемы регулировки:

— *Реле низкого давления* на линии всасывания для отключения компрессора при снижении давления в нормальных условиях функционирования, для предотвращения понижения температуры испарения. Поскольку при запуске давление ниже обычного, рекомендуется использовать таймер замедления срабатывания реле низкого давления. В этих условиях лучшим решением является использование обводного клапана (bypass) для разогретого газа.
— *Датчик температуры* в контуре воды, играющий роль аварийного термостата с отключением агрегата при снижении температуры на выходе.
— *Реле протока* на линии воды для отключения агрегата для того, чтобы не допустить обледенения, вызванного выходом из строя насоса или прекращением подачи воды.
— *Реле времени* для водяного насоса. После остановки агрегата водяной насос должен продолжать функционировать еще несколько минут, чтобы обеспечить полное испарение остающегося жидкого холодильного агента.

Предохранитель против гидравлических ударов. «Удары» возникают, когда скорость движения несжимаемых жидкостей резко и значительно изменяется. Этот феномен обычно сопровождается шумом и виб-

рацией в трубах при резкой остановке циркуляции жидкости. В результате образуются волны высокого давления, проходящие по трубам вперед и назад до тех пор, пока их энергетический заряд не иссякнет.

Частой причиной возникновения гидравлических ударов является закрытие соленоидного клапана, установленного на трубке. Неожиданная остановка потока вызывает аномальное повышение давления, и образовавшаяся таким образом волна давления пробегает по трубам вперед и назад на очень высокой скорости в промежутке между местом блокировки и местом выхода (например, в коллекторе большого диаметра). Ударная волна расширяется и сжимается вдоль труб с большой вероятностью их разрыва, или поломки клапанов или теплообменников других компонентов установки.

Когда происходит подобный «удар», в теплообменнике на пластинах может возникнуть вздутие в верхней части с последующим разрывом и выходом смеси за пределы агрегата, либо в другой контур. Для предотвращения подобных явлений проектировщики должны предусмотреть установку аккумулирующей емкости либо использовать соленоидный клапан с системой контроля времени закрывания. График на рисунке 13.9 иллюстрирует различия — с точки зрения защиты от гидравлических ударов — между использованием стандартного клапана с быстрым перекрытием потока и клапана с устройством, позволяющим контролировать время закрытия.

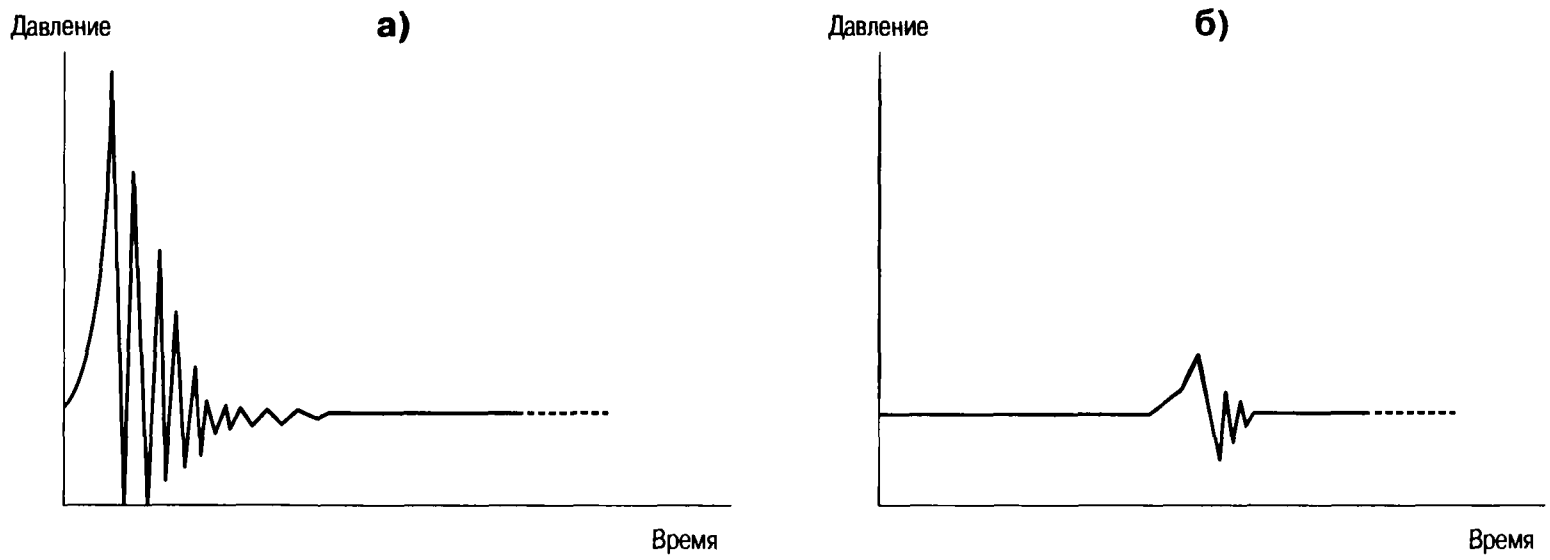


Рисунок 13.9. Феномен гидравлических ударов: a) со стандартным клапаном мгновенного закрытия; b) с клапаном, имеющим устройство контроля закрытия

Чистка. В некоторых системах тенденция к загрязнению может быть достаточно акцентированной, например, в случае использования очень жесткой воды. При любых условиях теплообменник со сварно-паяными пластинами может быть прочищен путем прогонки моющей жидкости. Необходимо использовать контейнеры со слабой кислотой, 5%-ным раствором серной кислоты, или, если чистка теплообменника производится часто, 5%-ным раствором щавелевой кислоты. Необходимо обеспечить циркуляцию моющего средства внутри теплообменника (для эффективной очистки мощность потока моющего средства должна составлять по крайней мере 1,5 от показателя нормального рабочего режима), затем обильно промыть его водой для удаления остатков кислоты перед запуском установки. Рекомендуется производить подобную чистку через равные отрезки времени (рисунок 13.10).

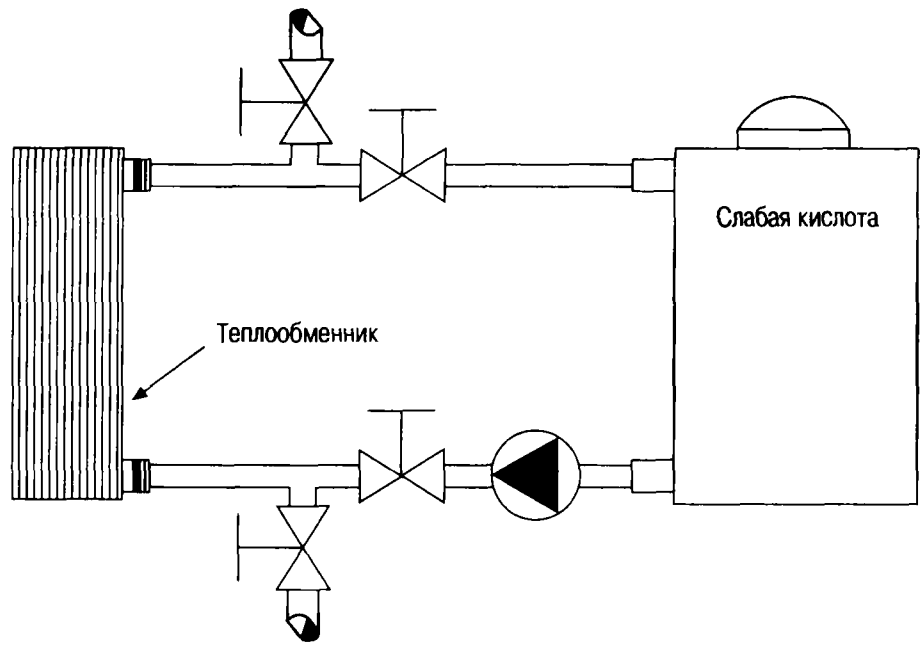


Рисунок 13.10. Чистка химическими средствами теплообменника с паяными пластинами.

Аккумулирующий контейнер защиты компрессора. В испарителях со сварно-паяными пластинами содержится незначительное ко-

личество воды. Изменения термонагрузки могут привести к учащению циклов запуска/остановки компрессоров с возникновением уже не раз описанных опасностей. Для предотвращения возникновения поломок почти всегда необходимо устанавливать аккумулирующий бак на контуре воды такого объема, чтобы вкупе с объемом труб установки он мог обеспечивать продолжительныи режим работы компрессоров с сохранением количества запусков/остановок на заданном изготовителем уровне (обычно не более 8–10 в час). Для правильного выбора объема накопителя существует несколько способов. Один из них основывается на учете холодильной мощности установки, исходя из ее значения можно ориентировочно считать достаточным объем в 35 литров на каждый киловатт холодильной мощности установки, объем накопителя определяется также как разница этого показателя с объемом воды действительно находящейся в контуре.

Кожухотрубные испарители

Кожухотрубные испарители состоят из кожуха и пучка трубок, который бывает двух видов: с прямыми трубками или с трубками U-видной формы. В первом случае окончания трубок собраны на двух пластинах, во втором — трубки собираются на одной пластине. Холодильный агент циркулирует внутри трубок испарителя, а вода — снаружи, рассеиваемая специальными разделительными сетками, придающие ей некоторую турбулентность («chicanes»). Таким образом, движение двух жидкостей является обратным по сравнению с тем, что происходит в водоохлаждаемых конденсаторах. Пластины крепления трубок имеют соответствующие головки для входа и выхода жидкого холодильного элемента.

Кроме того, они могут иметь перегородки для обеспечения циркуляций холодильного агента, предусмотренного конструкцией испарителя. В моделях с трубками U-видной формы головка испарителя имеет барьер для разделения стороны входа и стороны выхода холодильного агента. В других случаях испаритель может включать два или более раздельных холодильных контуров, также имеющих соответствующие разделительные перегородки на головках. Вода (или жидкость), требующая охлаждения, входит и выходит через два подсоединения, расположенных по перпендикуляру к продольной оси, сделанных вблизи двух торцов оболочки обычно в горизонтальном положении. На рисунке 13.11 показан кожухотрубный испаритель U-видной формы в разрезе.

Трубки испарителя в агрегатах среднеи и низко-средней мощности обычно выполнены из меди с номинальным диаметром 5/16", 3/8" и 1/2" (7,9, 9,5 и 12,7 мм), в более мощных моделях диаметр возрастает до 3/4" и 1" (20 и 25 мм); внешняя поверхность трубок делается ребристои для увеличения КПД процесса теплообмена между холодильным агентом и водой. Ребра поверхности, наносимые на нее путем «раскатки» трубок, сделаны на глубину 0,9–1,5 мм. Расстояние между ребрами обычно составляет 0,64, 1,02 и 1,33 мм. Внутренняя поверхность трубок также имеет специальную обработку для повышения турбулентности жидкости и, как следствие, эффективности процесса теплообмена. Для этого используются спиральная или продольная фазировка.

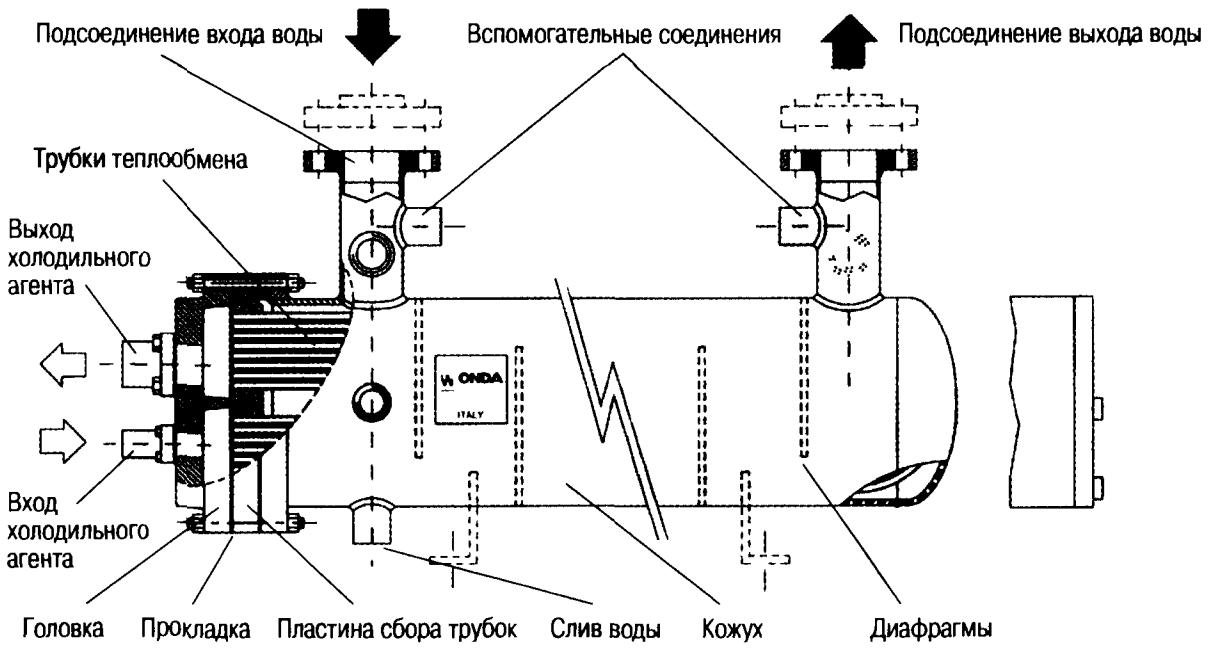


Рисунок 13.11. Испаритель прямого расширения с трубками U-видной формы в разрезе.

Трубки имеют ребра по всей окружности, их диаметр меньше диаметра окончаний трубок, остающихся гладкими, и вынимаются при поломке посредством снятия пластины трубок. В некоторых местах трубки могут быть лишены ребер для обеспечения прилегания к перегородкам при превышении их длины определенных показателей. Таким образом, при сжатии-расширении трубки под воздействием изменений температуры не происходит трения ребер о перегородки.

Направление движения воды в испарителе перпендикулярно трубкам. Это обеспечивается разделительными перегородками, увеличивающими скорость движения воды (0,6–3,0 м/с) для повышения качества теплообмена. Поступление на трубки холодильного агента должно быть равномерным: подача на одну или несколько трубок большего количества холодильного агента, чем на остальные, может привести к попаданию жидкости на линию всасывания.

Количество циркуляций жидкости в трубках является важным фактором. В испарителях с однократным прохождением воды через трубки холодильный агент должен испариться полностью до окончания трубки, а остающаяся часть должна быть подвергнута перегреванию. В связи с этим необходимо наличие трубок определенной длины с ребристой внутренней поверхностью. При двух и более циклах циркуляции холодильного агента длина трубок может быть меньше, и их внутренняя поверхность необязательно должна быть ребристой, однако после первого прохождения холодильного агента последующие имеют худшие показатели равномерности его распределения.

Кожухотрубные испарители изготавливаются в большом диапазоне мощностей: от 1200 кВт и выше.

Испарители типа «труба в трубе»

Конструкция испарителей типа «труба в трубе» похожа на конструкцию одноименных компрессоров (см. Главу 15). Речь идет о двух соосных трубах, где во внутренней трубе обычно циркулирует охлаждаемая вода, а в пространстве между внутренней и внешней трубками циркулирует холодильный агент. Две жидкости движутся в противоположных направлениях, что повышает эффективность процесса теплообмена. Труба свита спиралью. Эти испарители применяются для холодильных установок малой и средней мощности, примерно до 90 кВт.

Затопленные испарители

Затопленный испаритель состоит из пучка трубок, по которым циркулирует охлаждаемая жидкость. Пучок трубок помещен в металлическую оболочку. Холодильный агент находится вокруг трубок, полностью затопляя их, и поступает снизу через соответствующий распределитель (часто представляющий собой пластину с отверстиями), распределяясь равномерным потоком на всю длину трубок. Поступление холодильного агента в испаритель контролируется механическими или электрическими устройствами поддержания уровня жидкости, либо через специальные отверстия установленной формы. Не вдаваясь в подробности конструкции и технические характеристики этих устройств, скажем лишь, что их функция заключается в поддержании уровня холодильного агента в испарителе на постоянном уровне, восполняя испаряемую часть холодильного агента за счет ее охлаждения охлаждаемой жидкостью. Над пучком трубок может быть расположен сепаратор капель для удержания капель жидкого холодильного агента, не допуская их поступления в компрессор. На рисунке 13.12 показан типичный пример затопленного испарителя, используемого в центробежной холодильной машине.

Жидкий холодильный агент, находящийся в контакте с трубками, по которым циркулирует охлаждаемая жидкость более высокой температуры, испаряется, и его количество тем больше, чем выше тепловая нагрузка. При низких тепловых нагрузках (ниже 35%) могут возникать некоторые сложности. Из-за уменьшения нагрузки объем поступившего холодильного агента прогрессивно уменьшается, в связи с чем часть трубок остается «сухой», то есть не покрытой холодильным агентом. Кроме того, уменьшается интенсивность кипения вокруг затопленных трубок. Это снижает эффективность процесса теплообмена и повышает потребление электроэнергии. Чтобы этого избежать, некоторые изготовители устанавливают «перемешиватель» холодильного агента для повышения его турбулентности. Например, можно использовать обвод (bypass) между стороной высокого давления агрегата (конденсатора) и испарителем:

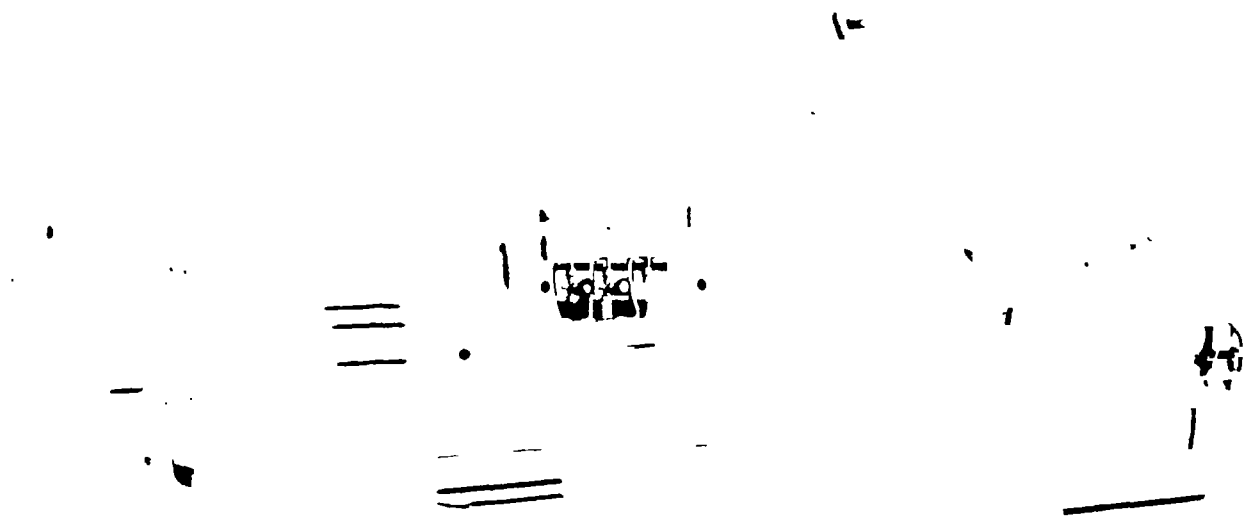


Рисунок 13.12. Центробежная холодильная машина в разрезе. В нижней части виден испаритель затопленного типа, который обычно устанавливается на этом типе агрегатов.

некоторое количество жидкости и газа под высоким давлением из конденсатора поступает таким путем в испаритель, создавая искусственную турбулентность имеющегося в нем холодильного агента. Тем не менее, и этот метод связан с повышенным потреблением энергии, требуемой для обвода (bypass). Скорость движения воды в трубках поддерживается от 1 до 3 м/с. Количество циркуляций воды установлено проектом агрегата в зависимости от степени нагрузки. Подача и выход воды происходят через головки на торцах испарителя. Направления подачи и выхода могут быть параллельными или перпендикулярными продольной оси: во втором случае для демонтажа агрегата без отсечения трубок подачи и возврата применяются специальные емкости для воды. Конструкция затопленных испарителей, в которых чаще всего используются медные или медно-никелевые трубки и стальной корпус, имеет те же общие характеристики, что и описанные ранее.

Затопленные испарители используются с центробежными или винтовыми компрессорами и изготовляются с мощностью от 100 до 7000 кВт.

Основным отличием между испарителями с «сухим» расширением и затопленными испарителями является то, что первые рассчитаны на испарение определенного количества холодильного агента, требующегося при конкретных условиях температурного режима установки, тогда как вторые обеспечивают постоянный уровень жидкого холодильного агента вокруг трубок, по которым циркулирует охлаждаемая жидкость.

Факторы, влияющие на функционирование испарителей

Общий коэффициент теплообмена

Общий коэффициент теплообмена, измеряемый в Вт/м^2 ·°С, показывает то, какое количество тепла передается на единице площади при равенстве прочих условий. Он имеет большое значение для выявления соответствия мощности теплообменника рабочим режимам установки. При изменении режима работы значение этого показателя меняется, обычно оно возрастает, когда:

— повышается тепловая нагрузка на испаритель;
— уменьшается перегрев;
— уменьшается концентрация масла;
— увеличивается температура насыщенного всасывания.

Диапазон изменения коэффициента теплообмена зависит от типа испарителя: обычно затопленные испарители имеют более стабильный коэффициент теплообмена по сравнению с испарителями прямого расширения, в которых при увеличении нагрузки он значительно возрастает. Значение коэффициента теплообмена стороны охлаждаемой жидкости возрастает при:

— увеличении потока жидкости с последующем возрастанием турбулентности;
— повышении температуры жидкости.

Значение коэффициента теплообмена в испарителе можно повысить, используя трубки с волнистыми или ребристыми поверхностями. Повышение значения коэффициента в этом случае происходит ввиду:

1) увеличения площади теплообмена с последующим повышением общего потока тепла при равенстве коэффициента обмена со стороны холодильного агента;
2) при низких показателях потока воды или холодильного агента ребристая поверхность повышает коэффициент теплообмена в связи с возрастанием вызываемой ей турбулентности и перемешиваемости жидкости;
3) в затопленных испарителях неровная поверхность трубок приводит к возрастанию количества точек контакта с повышением эффективности процесса кипения холодильного агента с внешней стороны трубок.

Потеря давления

Потери давления на стороне воды ощутимо влияют на работу как испарителей прямого расширения, так и затопленного типа.

Испарители работают с большей эффективностью при наличии турбулентности охлаждаемой жидкости. Это повышает потери давления и требует увеличения мощности насоса с повышением потребления электроэнергии. Увеличение потерь давления обычно приводит к возрастанию теплообмена, и наоборот. В установках для кондиционирования воздуха обычно стремятся не превышать потери давления в 70–80 кПа, чтобы сохранить в допустимых пределах мощность насоса и потребление электроэнергии.

Со стороны холодильного агента испарители прямого расширения могут иметь значительные потери давления, способные вызвать различные неисправности: слишком большая потеря давления негативно сказывается на работе ТРВ, приводя к чрезмерному снижению разницы давлений на двух сторонах самого клапана.

Эксплуатация

Основными условиями эксплуатации испарителя являются:

— *Защита от слишком низких температур охлаждаемой жидкости.* Обычно обеспечивается установкой термостата с датчиком, расположенным на выходе жидкости в специальной емкости и откалиброванным на значение температуры, на несколько градусов превышающее критическую температуру (например, 2°С при охлаждении воды): при понижении температуры до этого значения устройство останавливает работу компрессора.
— *Защита от отсутствия протока воды.* Обычно речь идет об измерителе потока, открывающим защитный контур при отсутствии протока.
— *Защита от перегрева воды на входе в испаритель.* Явление может возникать в установках, в которых холодильная группа работает в связке с котлом отопления. При переключении режимов работы установки холодильная группа должна быть защищена от попадания в испаритель воды с температурой выше 20°С.
— *Защита от замораживания.* При использовании испарителей прямого расширения (использующихся для охлаждения воды с возможностью уменьшения температуры ниже 0°С), входящих в конструкцию агрегатов, монтируемых снаружи, необходимо предусмотреть защиту от замораживания. Для этого испаритель обматывают греющимся электрическим кабелем, управление которым осуществляется от термостата в зависимости от окружающей температуры.

Испарительные батареи прямого расширения

В большинстве случаев воздушные испарители для гражданского использования выполнены в виде батарей типа пакета, составленных из медных трубок и алюминиевых пластин.

Выбор диаметра трубок почти всегда зависит от ряда факторов, в частности: напряженность рабочего режима, потеря давления со стороны холодильного агента, потеря давления со стороны воздуха и пр. В настоящее время имеется тенденция использовать трубки малых диаметров. Пластины чаще всего выполнены из алюминия, реже — из меди, а иногда, для недопущения коррозии, — из меди, покрытой оловом. Не так давно были разработаны специальные приемы обработки поверхности пластин (на основе эрезита и других материалов), основывающиеся на напылении материалов, обеспечивающих высокую устойчивость к коррозии. При плоском расположении пакета пластин используются пластины следующих профилей:

1) гладкие пластины;
2) пластины, имеющие изгибы в соответствии с направлением потока воздуха.

Второй вид пластин применяется для повышения показателя турбулентности воздуха вокруг пластины, позволяющей нарушить изоляционный слой воздуха, образующийся вокруг пластины. Это повышает эффективность теплообмена между холодильным агентом, проходящим по трубкам, и воздухом. Для обдува подобных пластин требуется вентилятор большей мощности, чем для гладких, с большим потреблением электроэнергии; подобное затруднение с лихвой компенсируется повышением общей эффективности агрегата.

Плоские пластины закрепляются на трубках одним из следующих способов:

1) пластина с отверстием, прикасающаяся к трубке лишь своей реберной плоскостью;

2) обработанная пластина с кольцом, находящимся в контакте с трубкой, увеличивающей площадь контакта.

Первый метод является менее дорогостоящим, однако ограничивает возможности передачи тепла от трубки к пластине. Кроме того, опыт показывает, что при высоком уровне загрязнения окружающего воздуха и наличии в нем факторов, вызывающих коррозию, начинается процесс коррозии пластины на месте ее контакта с трубкой. Это значительно уменьшает поверхность контакта «трубка-пластина» и приводит к уменьшению производительности холодильной установки с понижением температуры испарения. На рисунке 13.13 показаны примеры гладких и обработанных пластин, имеющих кольца контакта.

Внутренняя поверхность трубок также подвергается обработке для повышения турбулентности потока холодильного агента.

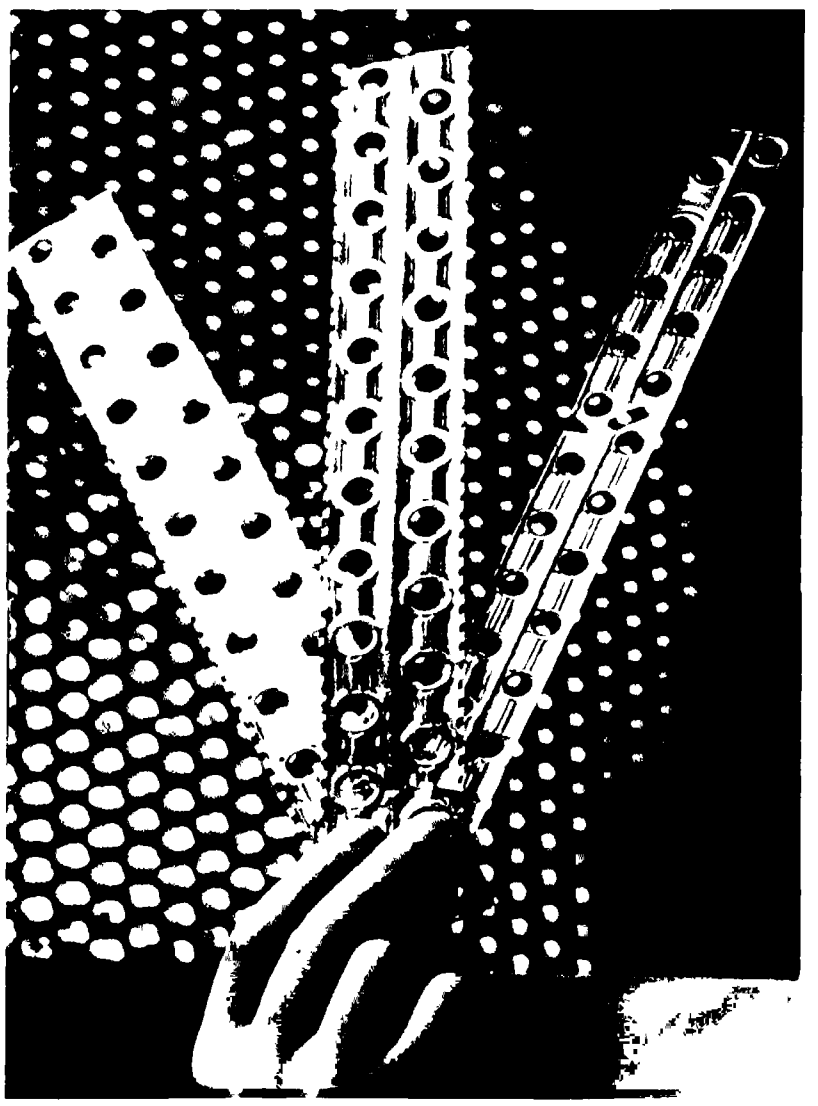


Рисунок 13.13. Три типа пластин для батарей прямого расширения с обработанными поверхностями для создания турбулентности проходящего через них воздуха.

Конструкция

Батареи, для придания им большей прочности, обычно вставлены в соответствующие металлические корпуса. Конструкция может предусматривать один или несколько рядов трубок, расположенных в направлении прохождения потока воздуха. В системах кондиционирования воздуха для создания комфорта чаще всего используются батареи с количеством рядов от 2 до 6, однако в промышленных установках их число возрастает до 8. Трубки могут располагаться в линию или быть сдвинутыми одна относительно другой, что обеспечивает более высокий теплообмен.

Обычно в зависимости от холодильной мощности используются следующие диаметры трубок: 1/4", 5/16", 3/8", 1/2", 5/8", 3/4" и 1".Расстояние между пластинами варьируется от 1,8 мм до 6,4 мм. Столь большие различия в расстоянии, по сравнению с конденсаторами воздушного охлаждения, объясняется тем, что в холодильных установках необходимо учитывать возможность образования наледи: при слишком малом расстоянии между пластинами образование наледи ускоряется, осложняя ее удаление. Используются даже батареи с гладкими трубками, что объясняется необходимостью облегчить процесс удаления наледи.

Расстояние между трубами колеблется от 16 до 64 мм; их расположение может осуществляться по вершинам равнобедренных треугольников (фазированное размещение) или в линию, в зависимости от различия конструкций и технических характеристик батареи. Обычно изготовители предпочитают использовать фазированное расположение трубок, чтобы сократить до минимума потоки воздуха, огибающие активную поверхность трубок батареи.

Подача холодильного агента в батареи прямого расширения в установках средней мощности производится через капилляр или подобное устройство для дробления потока; в более мощных агрегатах обычно используется терморегулирующий вентиль (ТРВ).

Батареи прямого расширения с мощностью выше определенного уровня имеют два или более холодильных контура, подача холодильного агента в которые производится отдельно из распределителя, расположенного ниже ТРВ. Соединение распределителя с каждым контуром батареи осуществляется через трубки малого диаметра.

Так же, как у водоохлаждаемых испарителей, каждая трубка или контур должны иметь равную длину и получать равное количество холодильного агента. Распределение потока воздуха на батарею также должно производиться равномерно для предотвращения возникновения неисправностей и опасности локального обледенения с последующим его распространением на остальную часть батареи.

Опыт эксплуатации показывает, что наилучшая эффективность работы батареи на R-22 или R-407C достигается при мощности от 2,8 до 7,0 кВт на каждый контур. При использовании R-12 или R-134a диапазон мощностей более узок: от 1,8 до 5,0 кВт на контур. Эти ограничения связаны с необходимостью обеспечить нормальный возврат масла в компрессор.

При превышении определенных значений мощности возникает необходимость в разделении батареи на два отдельных холодильных контура, с питанием каждого через собственный ТРВ и собственный распределитель. Причина этого заключается в том, что распределитель не способен обеспечить нормальную подачу холодильного агента в батарею тепловой нагрузки ниже 50%. Разделение на два или более отдельных холодильных контура позволяет обеспечить нормальное функционирование при частичной нагрузке. Расположение контуров в батарее необходимо правильно рассчитать для поддержания нормальных условий поступления воздуха даже в случае отключения одного или нескольких контуров.

Для решения этой задачи применяются различные методы.

Возьмем в качестве примера батарею простой конструкции, разделенную только на два холодильных контура.

Разделение по высоте батареи (face split coil) (рисунок 13.14). При этом расположении контуров снижение нагрузки на 50% приводит к отключению верхней секции батареи. Проходящий через нее поток воздуха не подвергается обработке и смешивается выше батареи с частью воздуха, прошедшего обработку в нижней секции. В течение нескольких минут после отключения, температура воздуха, проходящего через верхнюю секцию батареи, постепенно повышается, одновременно повышается его влажность в связи с испарением конденсата, имеющегося на пакете пластин.

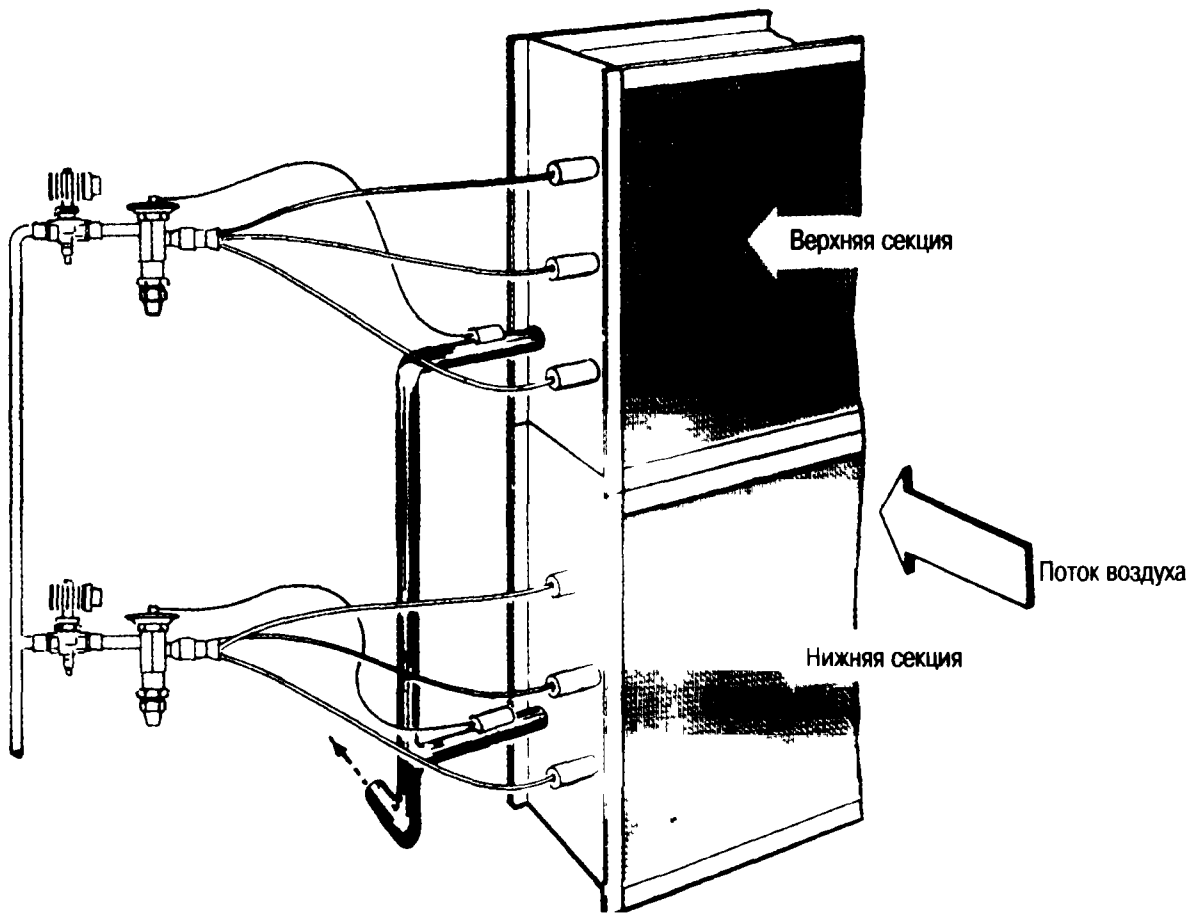


Рисунок 13.14. Разделение батареи испарителя по вертикали позволяет регулировать холодильную мощность путем сокращения площади лицевой поверхности в 2 раза.

Разделение по рядам батареи (row split coil) (рисунок 13.15). Даже при отключении одного из контуров вся площадь батареи в этом случае остается рабочей, но количество рядов активных трубок сокращается вдвое. Первым обычно отключается верхний относительно направления поступления воздуха в контур. При снижении тепловой нагрузки в 2 раза влияние активной части трубок на уменьшение содержания влаги в воздухе может оказаться менее эффективным, несмотря на то, что вся площадь батареи остается задействованной. Это приводит к незначительному возрастанию относительной влажности в помещении по сравнению с предыдущим методом.

Метод «interlaced» или «interwined» При этом методе батарея остается активной на всю ее глубину и на всей лицевой поверхности, соединяя в себе преимущества ранее описанных систем. Это становится возможным при изменении схемы расположения контуров в батарее.

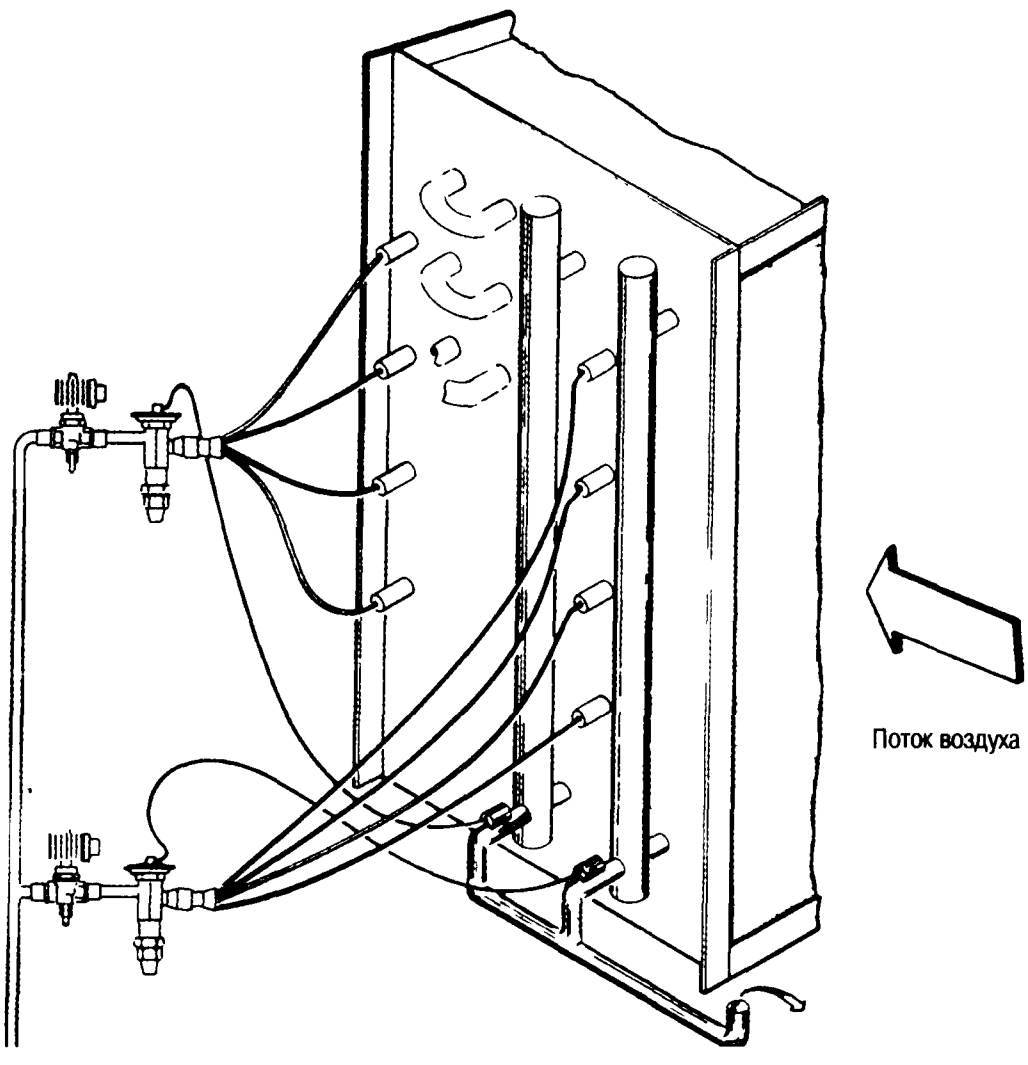


Рисунок 13.15 Разделение по рядам батареи испарителя. вся площадь остается активной даже при частичной нагрузке.

Эксплуатация

Скорость фронтального движения воздуха в моделях снижающих влажность воздуха для бытовых установок обычно должна быть от 2 до 3 м/с; при превышении возникает опасность выноса капель конденсата выше места расположения батареи. Тепловой коэффициент (отношение ощущаемого и общего количества тепла) может варьироваться от 0,6 до 1 в зависимости от типа запланированного применения. По современным нормам размер батарей для промышленного использования рассчитан на параметры воздухопотока в пределах около 54 л/сек. (200 м³/ч) на каждый киловатт холодильной мощности. Установочная температура поступающего воздуха составляет 19,4°С при влажном датчике и 26,7°С при сухом. Холодильная мощность зависит от температуры насыщения холодильного агента на входе (заложен в проекте холодильного контура) и температуры воздуха, поступающего на батарею, при влажном датчике (определяется конкретными условиями функционирования). При каждом определенном значении температуры насыщения холодильная мощность возрастает с ростом температуры воздуха, поступающего на батарею, при влажном датчике.

Падение давления воздухопотока при прохождении его через батарею зависит от многих факторов: диаметра трубок, расстояния между пластинами и их конфигурации, количества рядов, скорости фронтального поступления воздуха и количества конденсата на пакете пластин. Естественно, сухая батарея в установках для кондиционирования при прочих равных условиях вызывает меньшее падение давления воздуха, чем влажная батарея установки для снижения влажности воздуха. При изменении расстояния между пластинами и их конфигурации падение давления воздуха также варьируется. Таким образом, и в этом случае точность определения размера батареи с точки зрения падения давления проходящего через нее воздуха может быть только приблизительной.

Возврат масла. Важнейшим условием функционирования холодильных систем является полный возврат в компрессор выходящего из него масла для того, чтобы обеспечить эффективность смазки. В испарителе прямого расширения происходит отделение масла от холодильного агента в связи с испарением последнего. Для того, чтобы попасть в компрессор, остающиеся капли масла должны захватываться газообразным холодильным агентом, обладающим определенной скоростью перемещения. В промышленных установках минимальное значение составляет 2,5 м/с; этот показатель необходимо обеспечить даже в установках самой малой мощности, в которых предусмотрено наличие испарителя. На практике, как уже говорилось, он определяет, в соотношении с диаметром трубок и типом холодильного агента, минимальную холодильную мощность каждого контура, в котором находится батарея.

Батареи на охлажденной воде

Батареи на охлажденной воде в общих чертах имеют большое сходство с батареями прямого расширения. Они также состоят из пакета пластин, иногда имеющих форму винта, выполненных из алюминия, меди или луженой меди, через который проходят медные, медно-никелевые трубки или трубки из другого материала (рисунок 13.16). Расстояние между пластинами и диаметры трубок имеют параметры, аналогичные для батарей прямого расширения.

По трубкам протекает вода со скоростью 0,5–2,4 м/с.

На входе и выходе воды имеются два коллектора, обычно представляющие собой две трубы из оцинкованной стали или меди, подсоединенные к отдельным трубкам или контурам, составляющим конструкцию батареи. Они оснащены устройством для спуска воздуха и слива воды из нижнего отверстия или дренажа батареи. В некоторых батареях коллекторы имеют съемные головки на обоих торцах (рисунок 13.17).

Имеется также каркас жесткости из стального оцинкованного листа. Вода и воздух движутся в противотоке для повышения эффективности теплообмена. Положение трубок контуров в батареях может быть различным. Чаще всего встречаются следующие:

— *Простой контур.* Подвод воды производится в равной степени ко всем трубкам по лицевой стороне батареи. Это означает, что все трубки первого ряда активны.
— *Двойной контур.* Подключены все трубки первого и второго ряда.

— *Сокращенный контур* (или 1/2 контур). К подаче подключена половина передних трубок, то есть вода проходит только по половине трубок переднего ряда. В этом случае скорость движения воды в два раза выше, чем в простом контуре.

Трубки, расположенные рядами **Трубки с фазированным расположением**

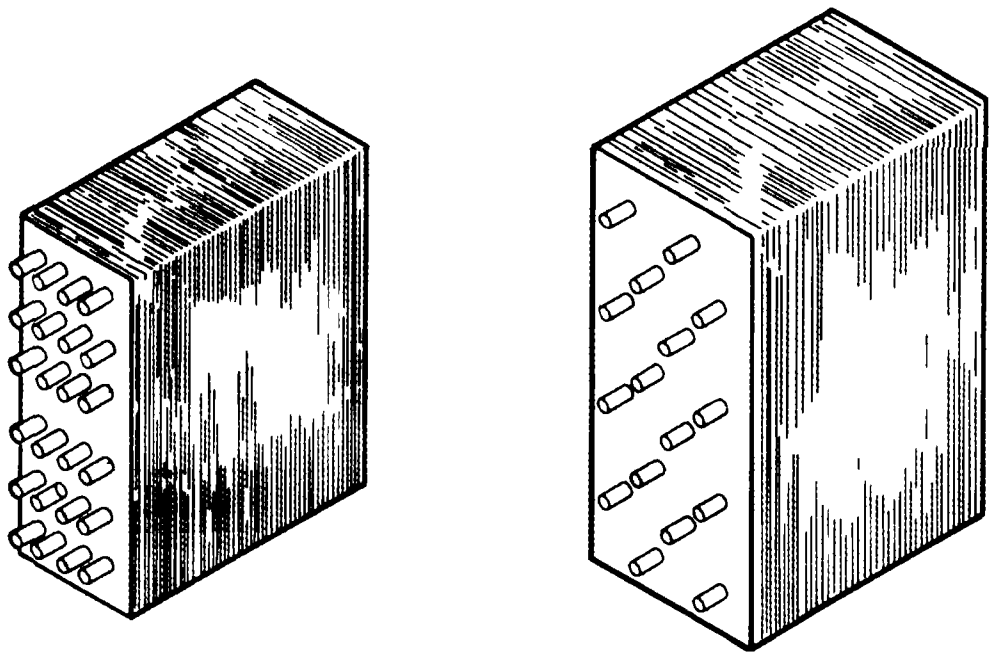


Рисунок 13.16. Типичное расположение трубок в батарее теплообменника. Фазированное расположение трубок обеспечивает более высокий теплообмен.

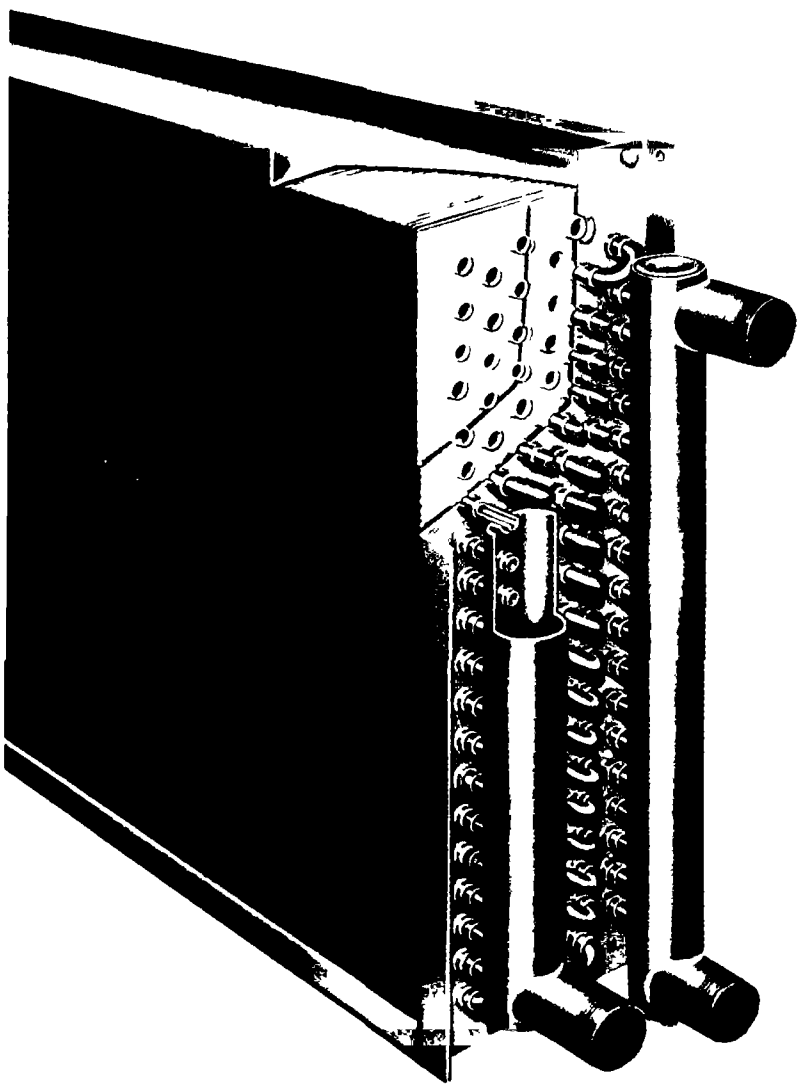


Рисунок 13.17. Элементы конструкции водоохлаждаемой батареи: видны два коллектора для входа и выхода воды.

Если размеры батареи превышают определенное значение, устанавливается большее число коллекторов питания и выхода для обеспечения лучшего распределения охлаждаемой воды. Возможно наличие двух или четырех коллекторов (см. рисунок 13.18).

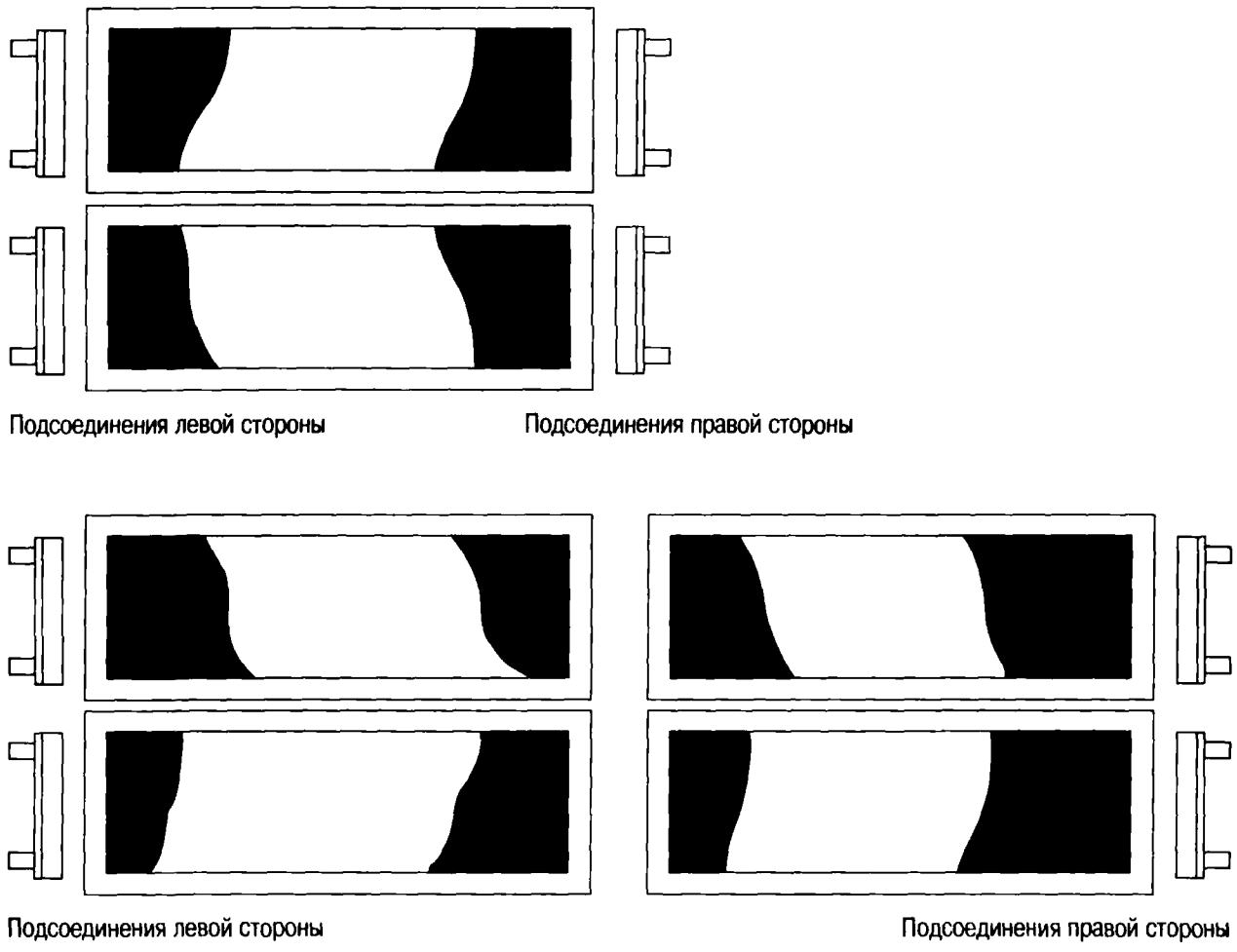


Рисунок 13.18. Батареи, имеющие большую рабочую поверхность, разделяются на секции, каждая из которых имеет свой коллектор, что улучшает распределение охлажденной воды в трубках.

Расположение самих коллекторов входа и выхода относительно потока воды может быть различным для поддержания циркуляции двух жидкостей в противотоке. Обычно коллекторы входа и выхода расположены на одной и той же стороне батареи, что облегчает подсоединение системы гидравлики.

Однако при батареях, имеющих нечетное число рядов (например, 3 или 5), такая конструкция невозможна, и коллекторы приходится размещать с разных сторон батареи.

Регулировка батарей с охлажденной водой обычно производится со стороны контура воды, или со стороны подачи воздуха. Регулировка со стороны контура воды обычно производится путем установки регулирующих 2-х или 3-х ходовых клапанов. Со стороны воздуха делают линию обвода (bypass), которая обеспечивает прогрессивный обвод потока воздуха вне батареи при снижении тепловой нагрузки в помещении.

Коэффициент обвода (bypass)

Коэффициент обвода (bypass) отражает процентное содержание воздуха, проходящего через батарею без изменения температуры. Его величина зависит от технических характеристик батареи и от условий функционирования. Основными физическими характеристиками батареи и условиями функционирования, влияющими на величину коэффициента обвода (bypass), являются:

— Площадь внешней поверхности теплового обмена: количество трубок, особенности конструкции пластин (уменьшению поверхности теплообмена соответствует повышение значения коэффициента bypass).
— Скорость прохождения воздуха: снижению скорости прохождения соответствует понижение значения коэффициента bypass (более продолжительный период контакта между воздухом и поверхностью теплообмена).

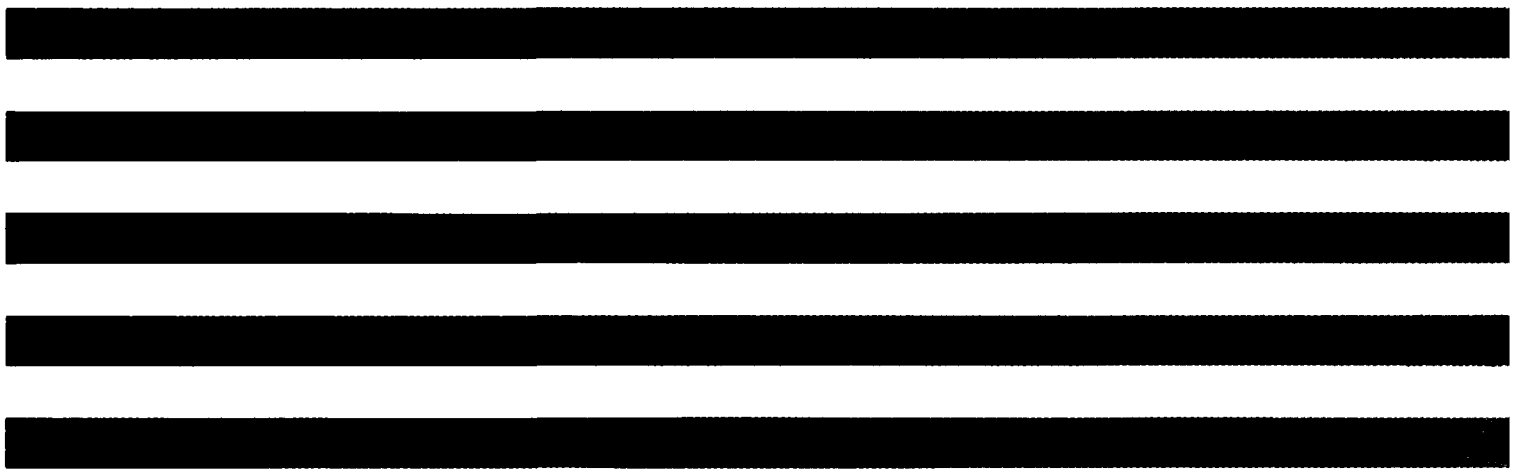
Коэффициент bypass зависит в большей степени от площади поверхности теплообмена, а не от скорости прохождения потока воздуха. Коэффициент bypass, в свою очередь, оказывает влияние на работу холодильной установки.

В таблице 13.1 показаны средние значения коэффициента bypass в различных видах установок.

Таблица 13.1. Типичные значения коэффициента обвода (bypass) в различных видах установок

Коэффициент bypass	Тип установки	Примеры
0,30–0,50	Средний и малый показатель тепловой нагрузки с малым значением теплового коэффициента (большая доля холостой загрузки)	В жилых помещениях
0,20–0,30	Типичные установки кондиционирования воздуха для создания комфорта с малыми или средними показателями общей загрузки, но с большим значением теплового коэффициента	В жилых помещениях, магазинах
0,10–0,20	Типичные установки поддержания комфорта	Банки, торговые залы, офисы
0,05–0,10	Установки с большими показателями нагрузки или требующие вентилирования большого объема внешнего воздуха	Торговые центры, рестораны, конференц-залы
0–0,10	Установки с использованием только внешнего воздуха	Заводы, больницы, лаборатории

ГЛАВА 14



Терморегулирующие вентили

Автоматические барорегулирующие вентили 188
Терморегулирующие вентили (ТРВ) 188
Перегрев газа на выходе 191
Производительность 191
Функционирование при изменении нагрузки 193
Производительность распределителя 193
Калибровка перегрева 194
Техническое обслуживание и монтаж 195

В установках для кондиционирования воздуха и холодильных установках широко используются два типа терморегулирующих вентилей:

1) автоматический клапан расширения;
2) терморегулирующий вентиль (ТРВ).

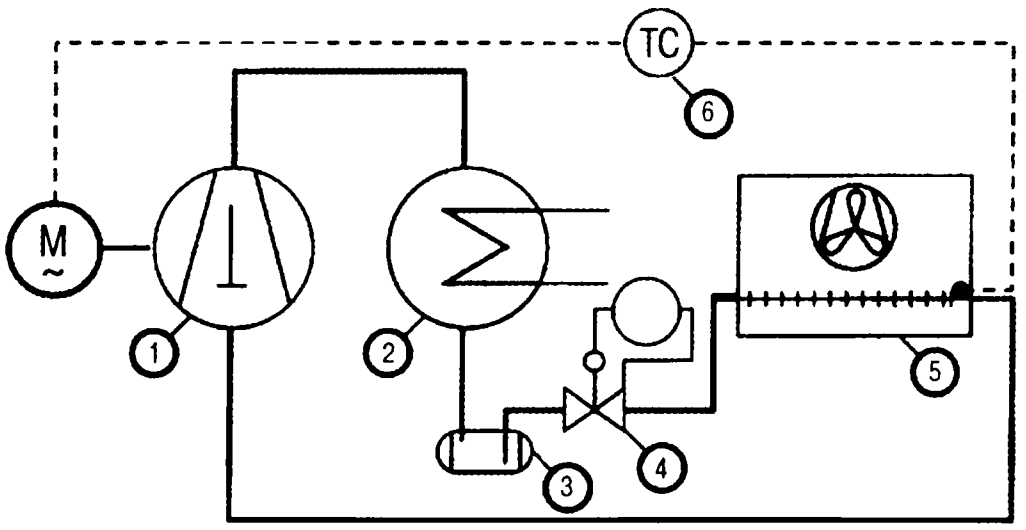
Как автоматические клапаны расширения, так и терморегулирующие вентили являются инструментами пропорциональной регулировки и обеспечивают регулировку потока холодильного агента на входе в испаритель.

Автоматические барорегулирующие вентили

Автоматические барорегулирующие вентили являются предшественниками терморегулирующих вентилей. Они регулируют поток холодильного агента на входе в испаритель, обеспечивая постоянное давление в самом испарителе. Они могут использоваться только в установках, имеющих постоянный режим загрузки.

Калибровка клапана может регулироваться в некотором диапазоне значений, зависящем от условий функционирования.

В контуре должен иметься термостат испарителя, останавливающий работу компрессора при достижении требуемой температуры испарения (не путать с температурой в помещении). Точнее, он должен быть отрегулирован таким образом, чтобы температура срабатывания была примерно на 5°C выше температуры испарения. При остановке компрессора в нем поднимается давление, и автоматический клапан расширения закрывается. На рисунке 14.1 показана принципиальная схема холодильного контура, в котором установлен автоматический клапан расширения.



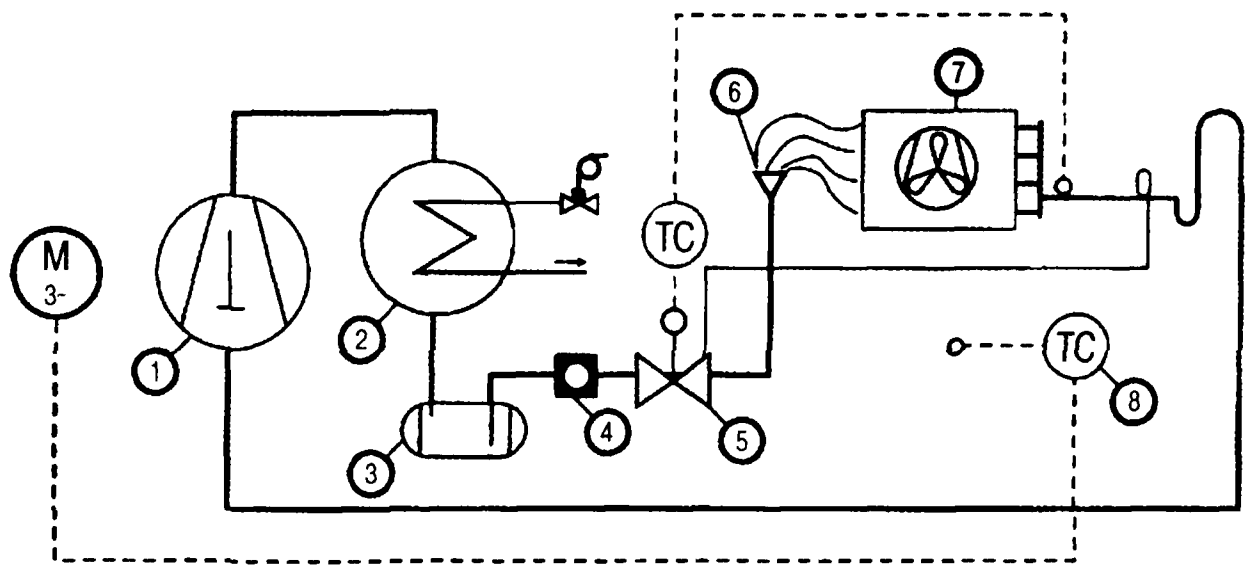
1) Компрессор
2) Конденсатор
3) Накопитель жидкости
4) Автоматический клапан расширения
5) Испаритель
6) Термостат испарителя

Рисунок 14.1. Пример установки автоматического клапана расширения в холодильной группе для небольшой холодильной камеры.

Терморегулирующие вентили (ТРВ)

Терморегулирующие вентили регулируют поток холодильного агента на входе в испаритель в зависимости от определенного значения перегрева газообразного холодильного агента на выходе. В испаритель поступает необходимое количество холодильного агента для его испарения в зависимости от тепловой нагрузки, чтобы обеспечить полное использование площади поверхности теплообмена. ТРВ могут использоваться на линиях с одним или несколькими испарителями.

На рисунке 14.2 показана принципиальная схема холодильного контура, в котором установлен ТРВ.

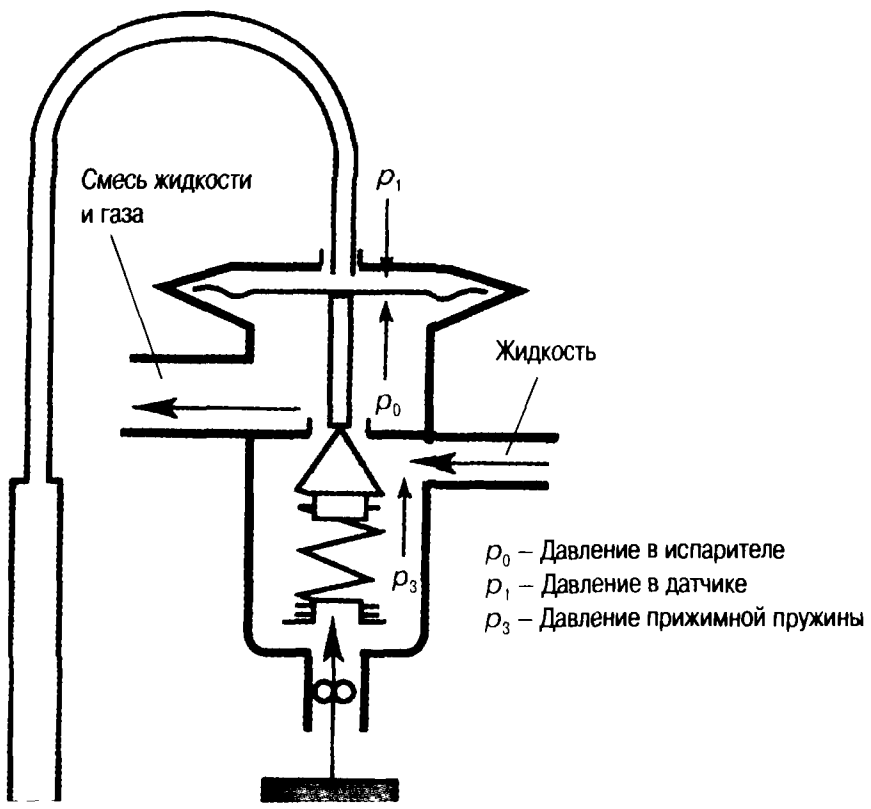


1) Компрессор
2) Конденсатор
3) Накопитель жидкости
4) Смотровое стекло
5) Клапан расширения
6) Распределитель жидкости
5) Испаритель
6) Термостат внешнего воздуха

Рисунок 14.2. Пример установки ТРВ в холодильном контуре для автономного кондиционера с водоохлаждаемым конденсатором

В зависимости от показателя давления используются две основные модификации:
1) с внутренним выравниваем давления;
2) с внешним выравниванием давления.

Внутреннее выравнивание давления. На рисунке 14.3 показана схема функционирования и векторы давления, действующие на ТРВ с внутренним выравниванием давления. На мембрану клапана с одной стороны действует давление, передаваемое с датчика (p_1), а с противоположной — сумма давлений испарителя (p_0) и прижимной пружины (p_3). При выравнивании этих трех векторов давления клапан остается постоянно открытым, и, соответственно, постоянным остается поток проходящего через него холодильного агента. В этих условиях количество холодильного агента, поступающего в испаритель, точно соответствует необходимому для восприятия тепловой нагрузки. Если же нагрузка понижается, происходят два процесса: холодильного агента становится избыточно много, а его давление повышается; понижается температура газа на выходе и пропорционально этому понижается давление в датчике. Вследствие этих процессов сумма давлений испарителя и пружины превышает давление, оказываемое на датчик клапана, что приводит к закрыванию клапана с уменьшением зазора для прохождения холодильного агента. Наоборот, если тепловая нагрузка в испарителе возрастает, количества холодильного агента в нем оказывается недостаточно, и давление его уменьшается; одновременно увеличивается температура газа на выходе из испарителя, что вызывает соответствующее повышение давления на датчик клапана.



В результате давление в клапане смещает мембрану вниз, что приводит к открытию зазора для прохождения жидкого холодильного агента, увеличивая объем его поступления в испаритель.

Клапаны с внутренним выравниванием давления применяются в основном в установках малой мощности.

Рисунок 14.3. Принцип функционирования ТРВ с внутренним выравниванием давления.

Внешнее выравнивание давлений. ТРВ с внешним выравниванием давления имеют подвод давления из испарителя посредством соответствующей линии (капиллярной трубки), которая отходит от него несколько ниже датчика клапана. Соответствующая схема показана на рисунке 14.4. Сохраняют силу все ранее упомянутые положения, за исключением того, что давление p_0 в испарителе определяется при помощи капиллярной трубки. На рисунке 14.5 показана схема правильной установки клапана с соответствующей линией внешнего выравнивания давления; для сравнения на рисунке 14.6 приводится неправильное размещение компонентов: отвод давления линии выравнивания всегда должен производиться несколько ниже датчика клапана с верхней стороны горизонтальной трубки.

Клапаны расширения с внешним выравниванием давления обычно применяются на агрегатах средней и большой мощности.

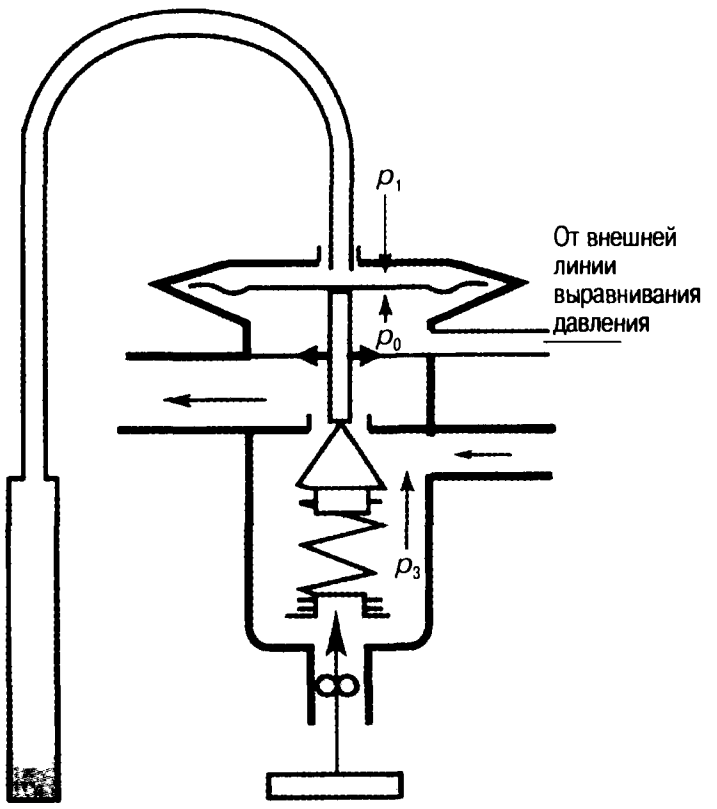


Рисунок 14.4. Принцип функционирования ТРВ с внешним выравниванием давления. Вверху виден вход капиллярной трубки от линии выравнивания ниже гармошки клапана. Значение условных знаков то же, что и на рисунке 14.3.

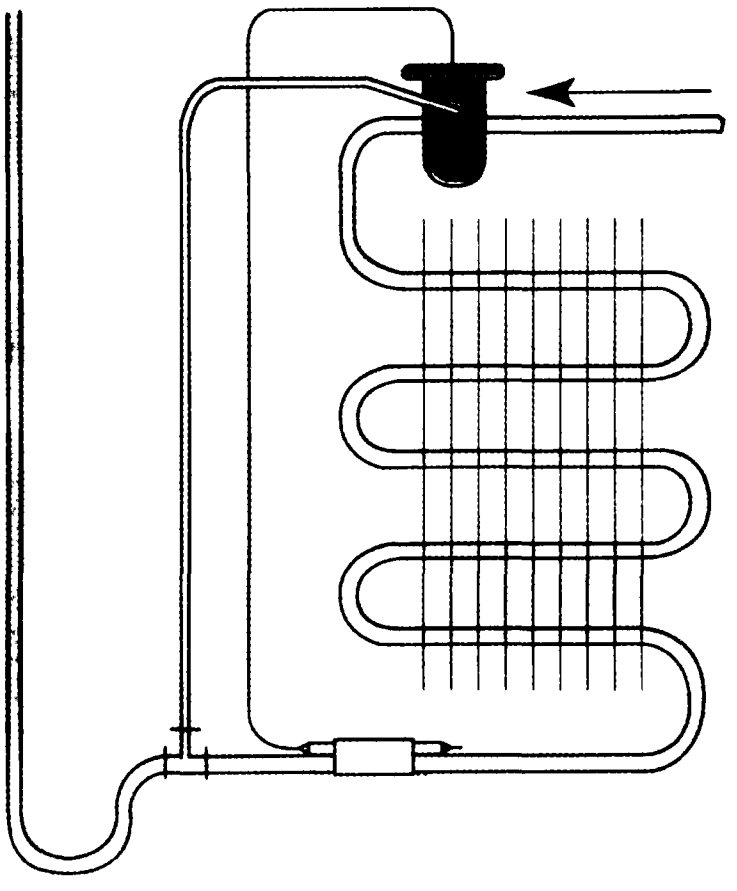


Рисунок 14.5. Правильная установка ТРВ. Отвод канала выравнивания расположен до датчика клапана.

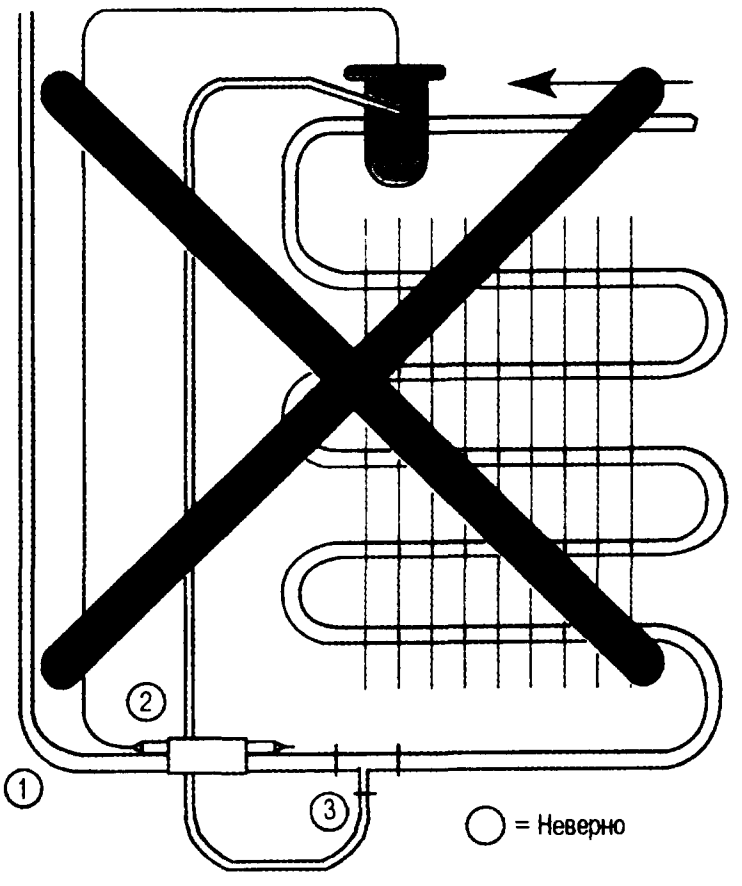


Рисунок 14.6. Неправильная установка ТРВ. Отвод канала давления выполнен с нижней стороны трубки.

Перегрев газа на выходе

Терморегулирующий вентиль обеспечивает определенный перегрев газа на выходе из испарителя, необходимый для полного испарения возможно имеющихся капель несущей жидкости (жидкий холодильный агент не в коем случае не должен возвращаться в компрессор, поскольку способен вызвать серьезные неисправности). На рисунке 14.7 показана часть испарителя при нормальных условиях работы. Как можно заметить, смесь жидкость-пар, поступающая в испаритель в точке *A*, должна полностью испариться до точки *E*.

Отсюда и до датчика клапана (точка *F*) происходит только перегрев газа. Перегрев заключается в повышении температуры газа выше температуры его насыщения (см. далее). Этот участок, то есть дополнительная поверхность испарителя не влияет на увеличение холодильного эффекта, но служит для защиты компрессора и устойчивого функционирования клапана.

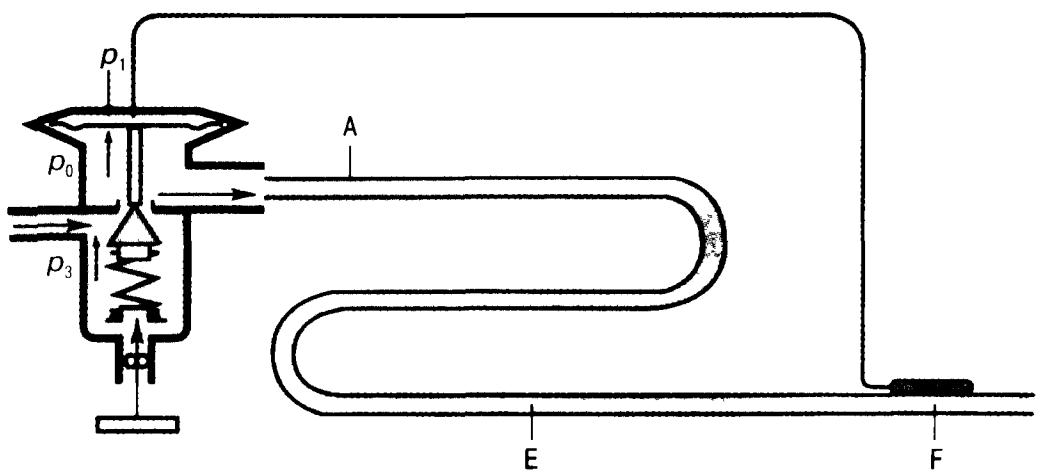


Рисунок 14.7. Схема части испарителя, в котором установлен ТРВ с внутренним выравниванием давления: участок от E до F не производит полезного холодильного эффекта, а служит исключительно для придания определенного перегрева газу на выходе. Значение условных знаков то же, что и на рисунке 14.3.

Производительность

Производительность терморегулирующего вентиля определяется двумя компонентами:

1) прохождением жидкости, то есть массой жидкого холодильного агента, способного проходить через клапан в единицу времени;
2) холодильным эффектом, то есть количеством тепла, которое может аккумулировать холодильный агент из испарителя.

На производительность ТРВ и, как следствие, на прохождение жидкости и холодильный эффект влияют следующие факторы:

— падение давления на клапане;
— состояние холодильного агента;
— переохлаждение;
— калибровка клапана;
— температура испарения;
— термостатическая нагрузка.

Падение давления на клапане. Давление холодильного агента быстро уменьшается при прохождении через клапан, в результате чего часть быстро испаряется, препятствуя прохождению другой партии жидкости (рисунок 14.8).

Чем выше величина падения давления при прохождении через клапан, тем больше количество образуемого пара, наличие которого препятствует увеличению подачи, возрастающей при увеличении перепада давлений.

При большом падении давления в процессе прохождении холодильного агента через клапан уменьшается холодильный эффект, поскольку при этом испаряется большее количество жидкого холодильного агента.

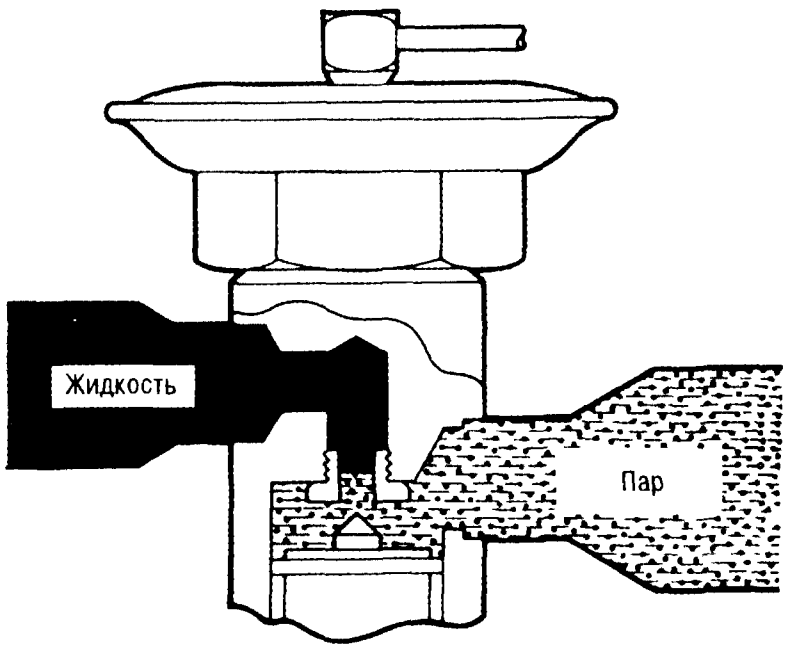


Рисунок 14.8. Прохождение холодильного агента через ТРВ: быстрое испарение жидкости с образованием пара несколько затрудняет прохождение новой партии жидкости.

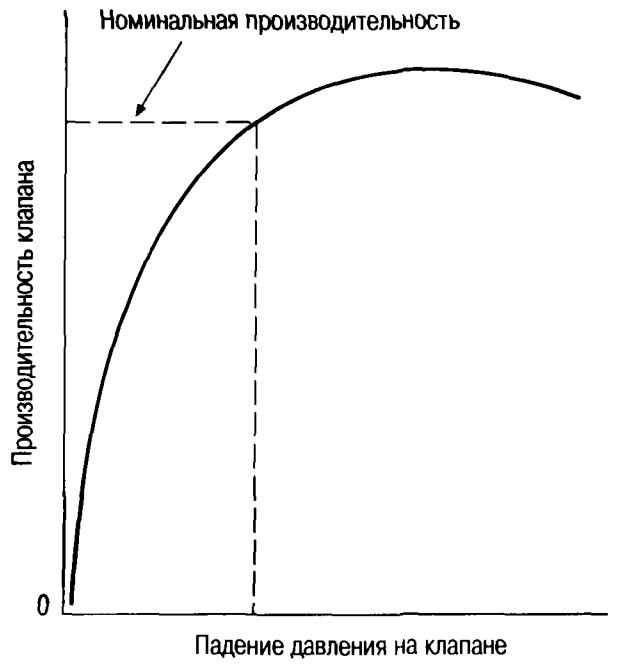
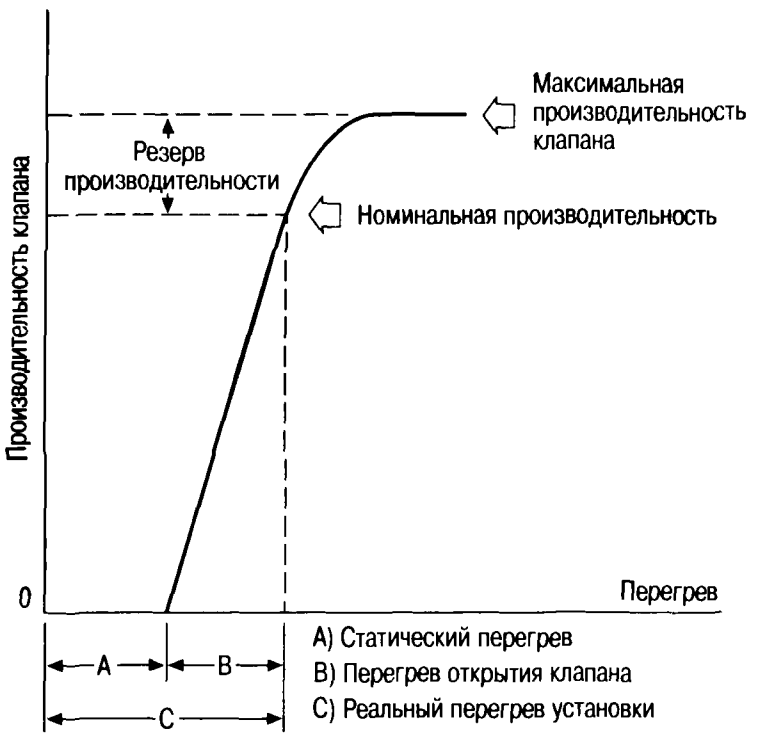


Рисунок 14.9. Рабочая характеристика терморегулирующего вентиля: с увеличением давления на клапане повышается его производительность, но только до определенного предела, после которого начинается снижение производительности.

Увеличение падения давления при прохождении через клапан повышает его производительность до определенного предела, после которого при любом повышении перепада давлений начинается снижение производительности (см. рисунок 14.9). Предельное значение перепада давлений, после превышения которого производительность клапана начинает снижаться, зависит от типа холодильного агента.

Состояние холодильного агента. Наличие пара на входе в клапан приводит к уменьшению его производительности, поскольку пар при равном весе занимает больший объем, чем жидкость, с вытекающим отсюда уменьшением объема прохождения жидкости.

Наличие пара может быть вызвано как отсутствием холодильного агента в контуре, так и высоким падением давления, ввиду чего на входе в клапан поддерживается значительно меньшее давление, чем давление в конденсаторе. Другой причиной может быть сильный перепад высот между конденсатором и терморегулирующим вентилем, в этом случае применяют метод переохлаждения жидкости.



Переохлаждение. Переохлаждение жидкого холодильного агента также повышает производительность терморегулирующего вентиля, это вызвано следующими причинами:

— при переохлаждении уменьшается объем жидкости, испаряющейся при прохождении через клапан, приводя к увеличению его проходимости;

— поскольку испаряется меньше жидкости, большее ее количество может еще испариться; в конечном счете происходит увеличение холодильного эффекта.

Перегрев. На рисунке 14.10 показана кривая, соответствующая изменению производительности клапана при изменении параметра перегрева.

Рисунок 14.10. Изменение производительности ТРВ относительно изменения показателя перегрева: в этом примере, как и в предыдущем, производительность возрастает с увеличением перегрева, но только до определенного предела.

Этот процесс, в зависимости от модели клапана и его производительности, может быть разбит на следующие этапы:

1. *Статический перегрев.* Речь идет о величине показателя перегрева, необходимого для компенсации давления пружины таким образом, что при дальнейшем повышении температуры клапан открывается.
2. *Перегрев открытия клапана.* Это значение показателя перегрева, при котором происходит смещение иглы клапана со своего ложа с открытием прохода для жидкости.
3. *Реальный перегрев установки.* Является суммой статического перегрева и перегрева открытия клапана; это реальный показатель перегрева, при котором клапан будет функционировать.

Значение перегрева установки выводится на основе разницы значений температуры испарения и температуры охлаждаемой жидкости: когда эта разница небольшая, лучшим способом рационального использования испарителя является выбор низкой температуры перегрева; при значительной разнице температур, необходимо обеспечить защиту от возможных возвратов жидкости, повышая в этих целях температуру перегрева.

Если терморегулирующий вентиль подобран правильно, при функционировании с номинальной мощностью он не должен полностью открываться; тем самым ТРВ будет иметь некоторый запас производительности, который будет задействован только при высоких значениях перегрева.

Калибровка ТРВ. При вращении регулировочного стержня по часовой стрелке давление пружины возрастает, что соответствует повышению показателя статического перегрева и понижению производительности клапана.

Температура испарения. Кривые «давление-температура» всех холодильных агентов при заданном увеличении температуры имеют более заметные колебания давления на участке высоких температур. Вследствие этого при низкой температуре испарения небольшое изменение температуре на датчике клапана приводит к незначительным колебаниям давления на верхней стороне диафрагмы: это приводит к меньшему открытию клапана и меньшим изменениям его проходимости.

Термостатический заряд. Показатели «давление-температура» различных термостатических зарядов имеют свои отличительные особенности: при одинаковом показателе перегрева не происходит одинакового открытия клапана при изменении типа заряда.

Функционирование при изменении нагрузки

В различных типах холодильных установок и установок для кондиционирования воздуха большой мощности, имеющих несколько компрессоров, имеется возможность снижать холодильную мощность при уменьшении нагрузки путем прогрессивного отключения работающих компрессоров и/или их отдельных цилиндров. К сожалению, производительность ТРВ не может быть так же легко изменена, поэтому при остановке компрессоров или их частичной дезактивации производительность клапана оказывается избыточной. В разумных пределах регулировка клапана возможна, и он по-прежнему в состоянии обеспечить необходимые параметры потока холодильного агента. Понятно также, что при функционировании с малой нагрузкой тщательной регулировки клапана не требуется, поскольку не весь испаритель оказывается задействованным, и опасности возврата жидкости не возникает. Предусмотреть заранее режим функционирования ТРВ, когда система работает на пониженном режиме, трудно ввиду множества факторов, влияющих на его работу. Ниже приводится перечень мер предосторожности, при соблюдении которых обеспечивается нормальное функционирования клапана даже при снижении нагрузки до 65%.

ТРВ следует подбирать таким образом, чтобы при максимальных нагрузках он оставался как можно более открытым. В частности, когда запланированный режим предусматривает в основном работу с пониженной нагрузкой, рекомендуется выбирать клапан с производительностью на 10—15% меньше максимальных рабочих параметров установки.

Производительность распределителя

При использовании распределителя рекомендуется подбирать его таким образом, чтобы производительность точно соответствовала производительности установки при полной нагрузке; это позволяет избежать излишне большой производительности при пониженных режимах работы компрессора.

Калибровка перегрева

Калибровка величины перегрева должна обеспечивать максимально большое допустимое при максимальной нагрузке значение перегрева.

В установке, где частичное снижении показателя нагрузки превышает 65% ее мощности, должны применяться другие меры, перечисленные ниже.

Два или более испарителей с одинаковыми параметрами. На рисунке 14.11 показаны два независимых испарителя, каждый из которых питается через собственный ТРВ с распределителем. На каждый испаритель приходится половина общей нагрузки.

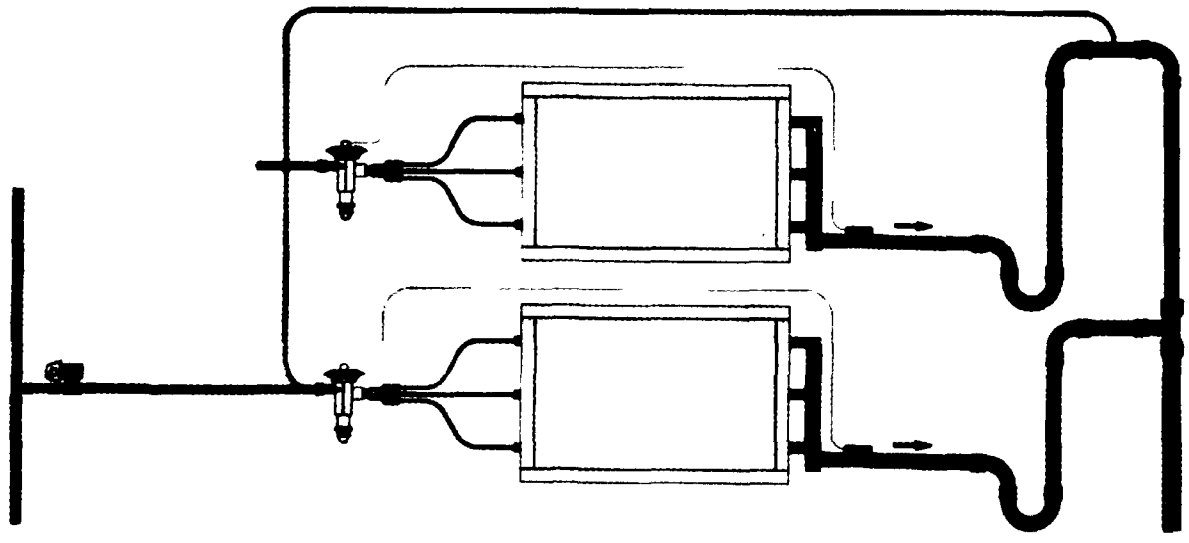


Рисунок 14.11 Независимое питание двух параллельных испарителей равной мощности, работа каждого из которых регулируется собственным ТРВ и распределителем: следует обратить внимание, что первый участок линии всасывания находится под некоторым уклоном в сторону сифона, что делается для предотвращения отстоя холодильного агента и масла, искажающих показания датчика клапанов расширения.

Соленоидные клапаны соединены с устройством для понижения производительности компрессора таким образом, что один из них закрывается, при сокращении нагрузки на компрессор на 50%, отсекая один из терморегулирующих вентилей. Остающийся ТРВ обеспечивает поддержание производительности на требуемом уровне.

Такая же простая система применима к различным испарителям при различных уровнях частичного понижения производительности компрессора. Различные типы компрессоров могут подсоединяться параллельно или последовательно; в этом случае необходимо учитывать, что компрессоры, находящиеся первыми, будут испытывать более высокую нагрузку, чем последующие, поэтому производительность различных клапанов и распределителей должна быть отрегулирована с учетом этого.

Единичный испаритель. На рисунке 14.12 показана схема установки двух терморегулирующих вентилей и двух распределителей на одном испарителе.

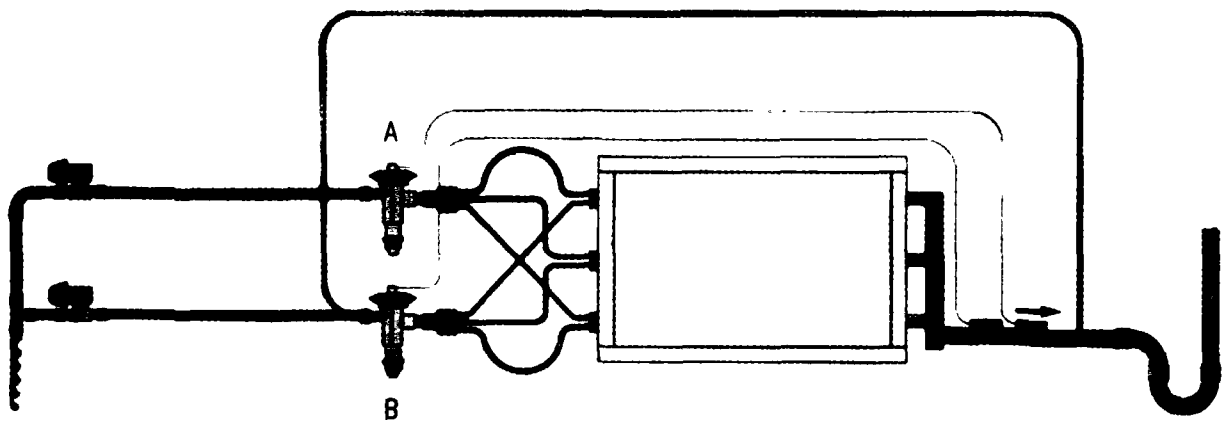


Рисунок 14.12. Одинарный испаритель с двумя независимыми контурами, регулируемыми двумя соленоидными клапанами, ТРВ и распределителями. При снижении нагрузки охлаждения один из соленоидных клапанов закрывается, позволяя частично снизить вырабатываемую холодильную мощность.

Каждый контур испарителя имеет подвод двух трубок распределения, каждая из которых, в свою очередь, проходит через свой распределитель. Соленоидные клапаны управляются устройством регулировки частичной загрузки компрессора, как это было описано ранее.

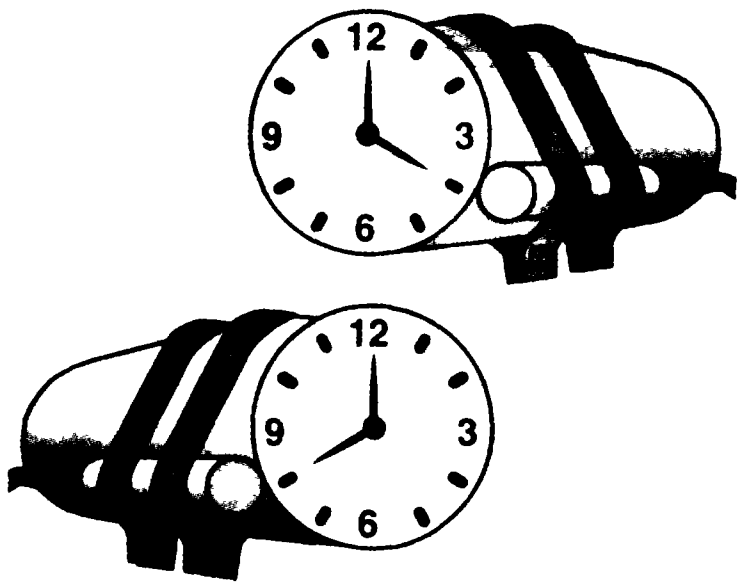
Если ТРВ, соленоидный клапан и распределитель контура *A* выбираются таким образом, чтобы покрывать 67% общей производительности, а 33% общей максимальной нагрузки будет приходиться на контур *B*, при переключении соленоидных клапанов будут обеспечиваться рабочие параметры, приведенные в таблице 14.1.

Таблица 14.1. Последовательность переключения соленоидных клапанов при изменении тепловой нагрузки.

Тепловая нагрузка (%)	Клапан А	Клапан В	Использование установленных ТРВ (%)
100	Открыт	Открыт	100
83			83
67		Закрыт	100
50			75
33	Закрыт	Открыт	100
16			50

Техническое обслуживание и монтаж

Терморегулирующий вентиль должен устанавливаться как можно ближе ко входу в испаритель. Если применяется распределитель, рекомендуется монтировать его непосредственно на выходе ТРВ. Очень важно обеспечить правильное расположение термобаллона, от чего в некоторых случаях зависит хорошая или неудовлетворительная работа всей холодильной установки. Для того, чтобы клапан соответствующим образом регулировал прохождение холодильного агента, необходимо обеспечить хороший тепловой контакт между термобаллоном и трубой всасывания. Для этого термобаллон следует закрепить двумя скобами на чистом и ровном участке трубы. Рекомендуется устанавливать чувствительный элемент на горизонтальном участке трубы всасывания. Если невозможно избежать вертикального монтажа, это необходимо сделать таким образом, чтобы выход капиллярной трубки был направлен вверх.



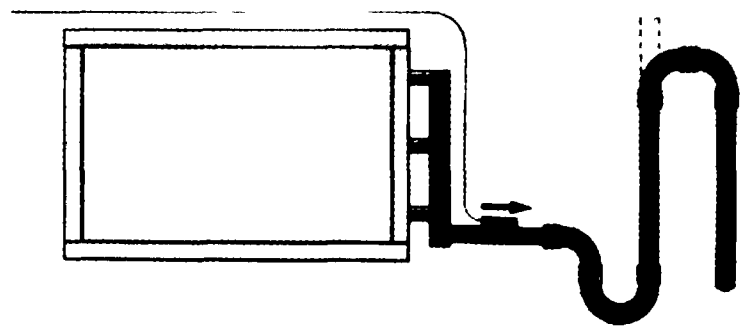


Рисунок 14.13. Примеры возможной установки термобаллона на трубе диаметром 22 мм или более.

Рисунок 14.14. Расположение линии всасывания на выходе из батареи испарителя. Возможны два варианта расположения компрессора: под испарителем (сплошная линия) и над испарителем (пунктирная линия).

При диаметре линии всасывания в 7/8" (22 мм) или более, температура по периметру окружности трубы может заметно разниться. В связи с этим следует размещать термобаллон в точке окружности трубы, соответствующей значениям 16 и 20 ч на часовом циферблате (см. рисунок 14.13). Когда компрессор расположен над испарителем, рекомендуется производить подсоединение линии всасывания, как это показано на рисунке 14.14. На выходе из испарителя должен располагаться горизонтальный участок трубы, на котором крепится термобаллон; сразу за ним должен быть установлен сифон-накопитель для сбора возможно присутствующей жидкости и возможно имеющегося масла, циркулирующего по установке.

Установки с несколькими испарителями. Когда компрессор расположен под испарителем, необходимо выше испарителя установить накопитель для предотвращения возврата жидкости, возвращающейся под действием гравитации в компрессор. На установках с несколькими испарителями трубы всасывания должны располагаться таким образом, чтобы не допускать воздействия одного ТРВ на датчик другого. Пример правильного расположения труб показан на рисунке 14.15. В этом случае не допускается воздействие одного контура на другой и обеспечивается хороший режим функционирования и регулировки каждого ТРВ.

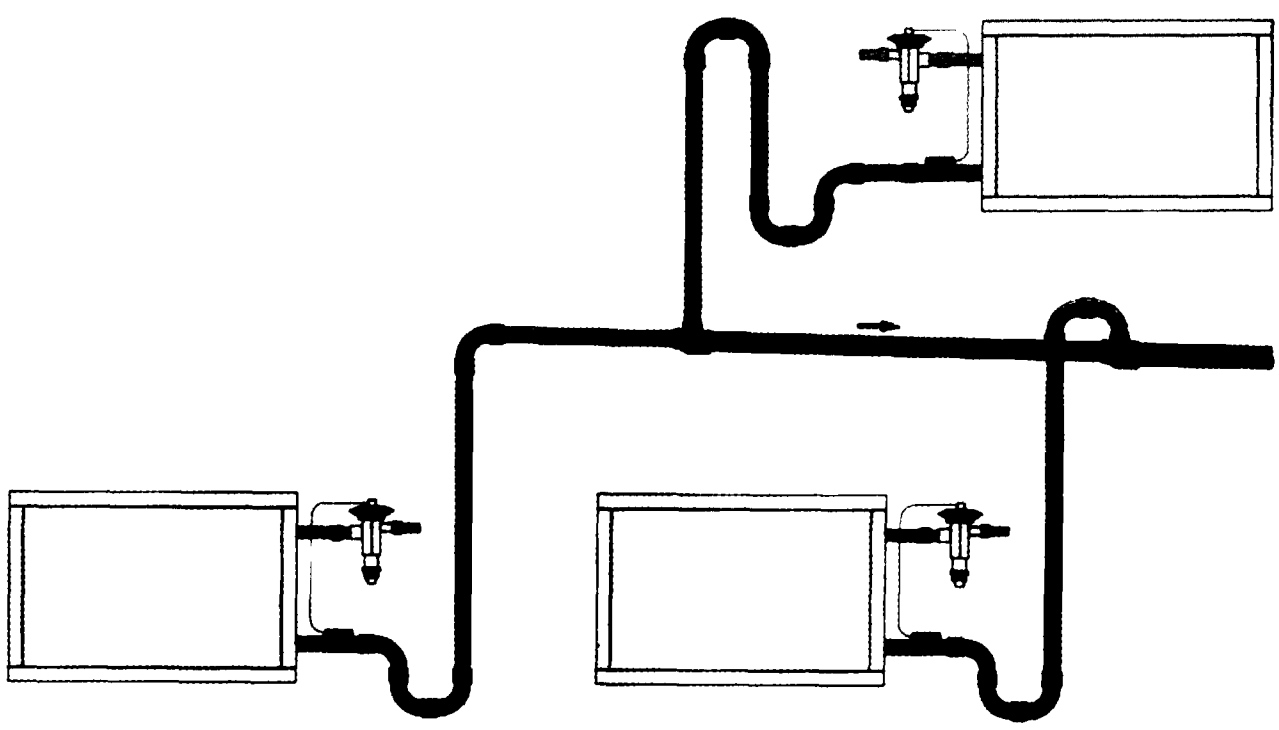


Рисунок 14.15. Схема расположения линий всасывания и положения ТРВ на установках с несколькими соединенными между собой испарителями на одном коллекторе; наклон последнего не должен быть менее 1%.

Подсоединение устройства внешнего выравнивания давления. Клапаны с внешним выравниванием давления могут функционировать только при обеспечении такого подсоединения. Штуцер соединения устройства для выравнивания давления (эквалайзера) должен располагаться на трубе всасывания через несколько сантиметров после термобаллона, как уже было показано на рисунке 14.12.

Регулировка клапана. Каждый терморегулирующий вентиль перед поставкой калибруется на заводе-изготовителе. Эта калибровка является правильной и в большинстве случаев не требует переналадки. Однако при наличии особых условий или при определенных типах применения клапана возможно изменение его калибровки для того, чтобы обеспечить желаемые показатели перегрева.

Во многих видах ТРВ отсутствует возможность регулировки: они калибруются на заводе-изготовителе, и показатель их перегрева не может быть изменен. Часто нерегулируемые клапаны являются мо-

дификациями обычных с фиксированным давлением пружины. Имеются приспособления, позволяющие регулировать и такие виды клапанов, но такая необходимость возникает редко.

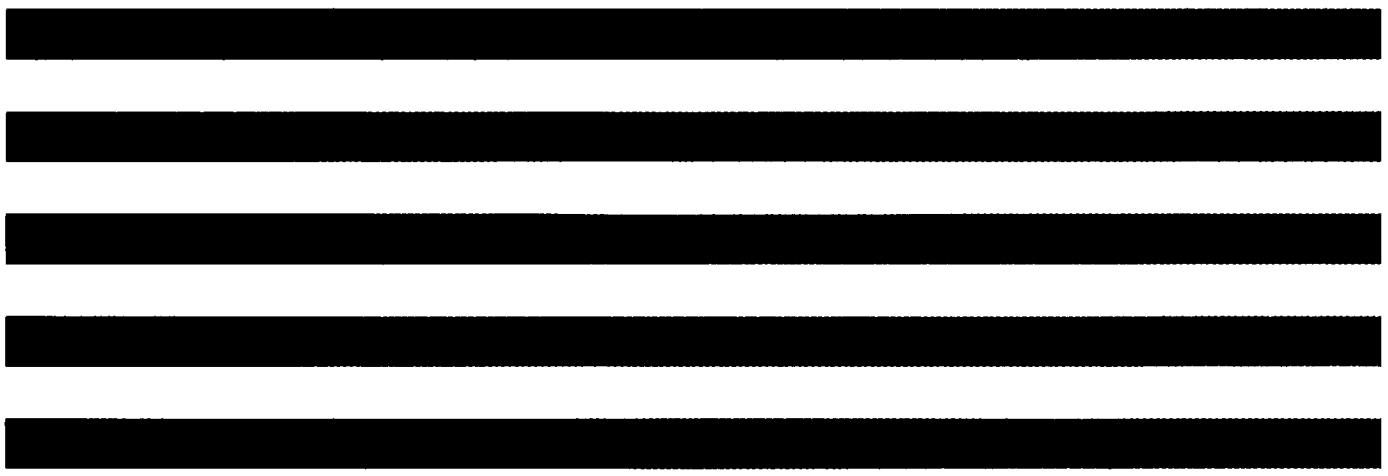
Если надо понизить величину перегрева, следует вращать стержень регулировки клапана против часовой стрелки, для увеличения — по часовой стрелке. При изменении калибровки клапана для предотвращения ошибок калибровки не рекомендуется делать более одного оборота стержня регулировки за один раз и подождать по крайней мере тридцать минут, прежде чем производить новую коррекцию.

Общим правилом является то, что величина перегрева зависит от разницы температур между испарителем и охлаждаемым веществом. При очень больших значениях разницы этих температур, как в случае установок для кондиционирования воздуха, перегрев может достигать 10°С без излишнего снижения производительности испарителя. Для низкотемпературных холодильных установок, где разница между температурой испарения и температурой охлаждаемого вещества незначительна, показатель перегрева может уменьшаться до 5°С для того, чтобы максимально использовать площадь поверхности испарителя.

Определение величины перегрева. Определить величину перегрева возможно, выполнив перечисленные ниже операции. Разница между температурой на входе в испаритель и температурой на выходе из испарителя не позволяет получить точное значение перегрева, поэтому этот метод не рекомендуется использовать, так как падение давления в испарителе приводит к погрешностям в определении величины перегрева.

1. Измерить температуру всасывания в месте установки термобаллона.
2. Измерить манометром давление у всасывающего вентиля компрессора.
3. По значению давления, полученному выше, определяют температуру насыщения, используя таблицу соотношения между температурой и давлением хладагента (в большинстве случаев потерями давления в трубопроводе всасывания можно пренебречь ввиду их малости).
4. Вычесть значение температуры в пункте 3 из значения температуры в пункте 1. Полученная разница является температурой перегрева.

ГЛАВА 15



Рабочие режимы конденсаторов

Процесс конденсации 199
Снятие перегрева 199
Конденсация 199
Переохлаждение 199
Общий объем перерабатываемого тепла 200
Типы конденсаторов 201
Конденсаторы с водяным охлаждением 201
Конденсаторы с пучком трубок 201
Конденсаторы с паяными пластинами из нержавеющей стали 202
Конденсаторы типа «труба в трубе» 203
Коэффициент загрязнения 204
Циркуляция в системе гидравлики (количество прохождений воды) 206
Потери напора воды 206
Конуры охлаждения с использованием градирен 207
Конденсаторы с воздушным охлаждением 208
Батарея 208
Вентилятор 209
Регулировка давления конденсации 210
Регулировка потока воздуха 210
Регулировка контура холодильного агента 211
Установка 212
Испарительные конденсаторы 214
Рабочие режимы 215
Регулировка давления конденсации 215
Установка 216

Конденсатор является теплообменником, целью функционирования которого является передача тепла, переносимого жидким холодильным агентом соответствующему веществу, которое обеспечивает его переработку, обычно это воздух или вода. Компрессором холодильной установки производится подача газообразного холодильного агента с высокими значениями температуры и давления в конденсатор, в котором охлаждающая жидкость обеспечивает конденсацию газообразного холодильного агента с переходом последнего в состояние жидкости.

Источники тепла, переносимого жидким холодильным агентом и передаваемого через конденсатор, являются двоякими:

1) тепло, получаемое конденсатором из холодильного контура;
2) тепловой эквивалент работы по компрессии, производимой компрессором.

Процесс конденсации

Процесс конденсации проходит в две, иногда в три стадии:

1) снятие перегрева газообразного холодильного агента;
2) конденсация газа с изменением его состояния и переходом в состояние жидкости;
3) переохлаждение жидкости (последняя стадия имеет место не всегда, это зависит от конструкции конденсатора).

Для большей наглядности процесс конденсации проиллюстрирован на двух диаграммах: на рисунке 15.1а процесс показан в виде диаграммы давление-теплосодержание, а на рисунке 15.1б — в виде диаграммы «температура-теплосодержание». В обоих случаях речь идет о жидком азеотропном холодильном агенте, поэтому здесь не указываются значения температуры и давления.

Снятие перегрева

Перегретый газ подается из компрессора в верхнюю часть конденсатора и вступает в непрямой контакт с охлаждающим веществом, имеющим более низкую температуру (внешний воздух, водопроводная или грунтовая вода и пр.); охлаждение позволяет понизить температуру газообразного холодильного агента до температуры насыщения. На этой стадии снимается только ощутимая часть тепла из общего его количества, и изменения состояния холодильного агента не происходит.

На рисунке 15.1а снятие перегрева соответствует участку $D–E'$ и составляет 10–20% от общего количества перерабатываемого тепла. Можно видеть, что общий процесс конденсации теоретически проходит при постоянном давлении. На рисунке 15.6 показано течение процесса в значениях «температура-теплосодержание»; можно видеть изменение значения температуры, при котором протекает стадия снятия перегрева.

Конденсация

Температура насыщения газообразного холодильного агента остается постоянной на всем протяжении этой стадии, в ходе которой происходит изменение физического состояния холодильного агента с переходом насыщенного газа к состоянию жидкости.

На рисунке 15.1 этой стадии соответствует горизонтальный участок $E–A$ с постоянным показателем давления (хотя это верно лишь в теоретическом отношении: на практике между входом и выходом из конденсатора разница давления существует).

При использовании холодильных агентов CFC и HCFC эта стадия происходит без изменения температуры: в ходе нее перерабатывается лишь побочное тепло. При использовании некоторых смесей с HFC зеотропного типа происходит снижение температуры (*glide*) между началом и концом стадии.

Переохлаждение

При переохлаждении происходит дальнейшее понижение температуры холодильного агента. Таким образом, жидкость становится «переохлажденной» (относительно температуры насыщения) без изменения своего физического состояния.

На диаграммах «давление-теплосодержание» и «температура-теплосодержание» стадия переохлаждения происходит за пределами кривой и соответствует участку $A–A'$. Как и на стадии снятия перегрева, на этой стадии также отнимается лишь ощутимое тепло.

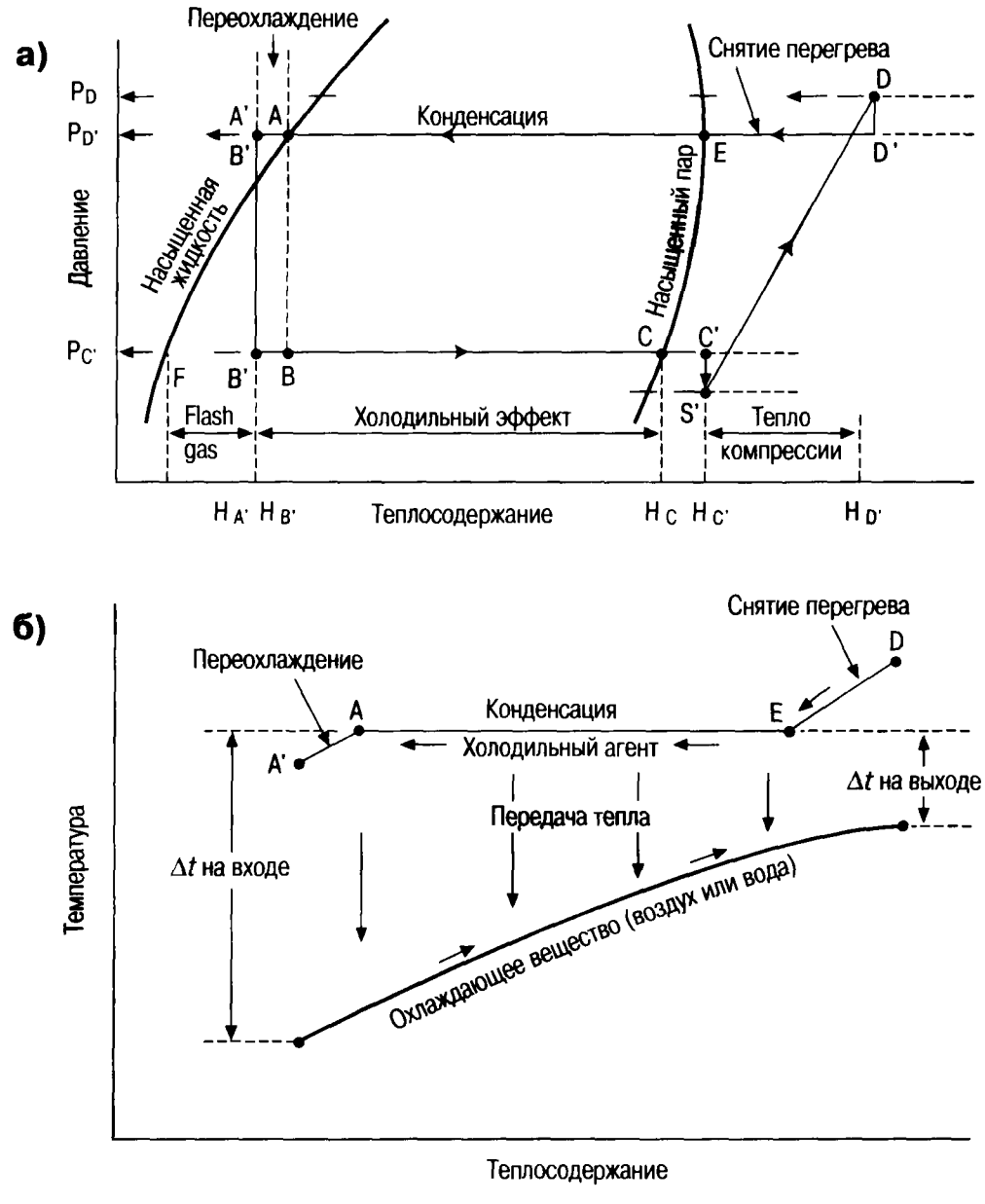


Рисунок 15.1. Процесс конденсации, представленный а) диаграммой «давление-теплосодержание», б) диаграммой «температура-теплосодержание»; на последней видны показатели разницы температур, при которых протекают процессы снятия перегрева газа и переохлаждения жидкости

Для осуществления переохлаждения необходимо увеличить количество трубок конденсатора относительно того, которое необходимо для самой конденсации. Переохлаждение жидкости обеспечивает немалый энергетический эффект: в нормальных условиях установки для кондиционирования воздуха на каждый градус переохлаждения приходится повышение производительности холодильной установки на 1% при неизменном потреблении электроэнергии. Наиболее часто встречающимися значениями переохлаждения жидкости являются температуры от 3 до 6°C.

Общий объем перерабатываемого тепла

Общий объем перерабатываемого тепла в конденсаторе (*Total Heat Rejection*, THR) является суммой двух (или трех) упомянутых стадий: тепла (ощутимого), выделяемого при снятии перегрева, тепла (побочного), выделяемого при конденсации, и, при его наличии, тепла (ощутимого), выделяемого при переохлаждении.

На рисунке 15.1а участок *D'–A'* показывает общий объем тепла. Показатель его теплосодержания определяется как разница между значениями теплосодержания на входе и на выходе из конденсатора и может быть вычислен по формуле:

$$(H_{D'} - H_{A'}) = \text{THR}$$

Типы конденсаторов

В зависимости от типа охлаждения или переработки тепла конденсаторы подразделяются на следующие типы:
— водоохлаждаемые конденсаторы;
— конденсаторы с воздушным охлаждением;
— испарительные конденсаторы.

В следующих разделах рассматриваются характеристики каждого типа конденсаторов.

Конденсаторы с водяным охлаждением

Наиболее распространенными типами водоохлаждаемых конденсаторов являются:
— конденсаторы с пучком трубок (или кожухотрубные) (shell and tube);
— конденсаторы с паяными пластинами из нержавеющей стали;
— конденсаторы типа «труба в трубе» (tube-in-tube).

Чаще всего встречаются первые два типа конденсаторов.

Конденсаторы с пучком трубок

Конденсаторы с пучком трубок по многим показателям похожи на аналогичного типа испарители. Их отличие заключается в том, что вода проходит внутри трубок, а холодильный агент расширяется и конденсируется вне трубок (то есть, по сравнению с испарителями, имеет место обратная картина).

Они состоят из стального корпуса цилиндрической формы, к двум торцам которого приварены две трубные доски. При помощи муфт к ним крепятся трубки в количестве, необходимом для обеспечения установленной площади поверхности теплообмена. К трубным доскам на болтах крепятся головки, на которых установлены штуцеры входа и выхода охлаждающей воды. В нижней части корпуса сделано отверстие для выпуска жидкого холодильного агента (рисунок 15.2).

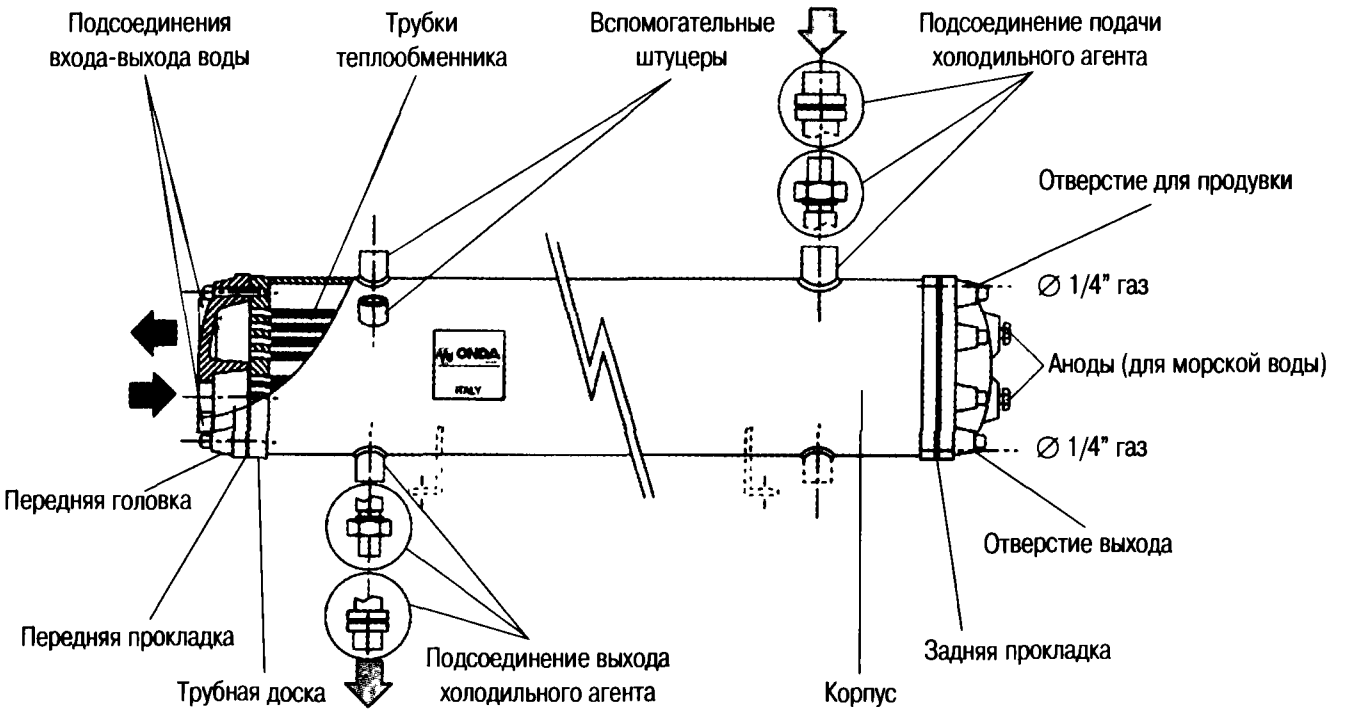


Рисунок 15.2. Схема конструкции конденсатора с пучком трубок на водяном охлаждении.

Разогретый газ поступает в верхнюю часть конденсатора, обтекает расположенные ниже трубки и занимает свободное пространство между трубками и корпусом. По трубкам течет холодная вода, поступающая снизу и выходящая сверху. На головках имеются специальные перегородки (так называемые «проходы воды»), позволяющие воде проходить через конденсатор один или более раз. Разогретый газ, соприкасаясь с трубками, по которым течет вода, охлаждается и конденсируется, переходя в состояние жидкости, и затем накапливается в нижней части конденсатора. Вода, в свою очередь, восприняв теп-

ло от разогретого газа, нагревается, выходя из конденсатора с большей температурой чем при входе в него. Обычно в конденсаторах систем кондиционирования воздуха с охлаждением на водопроводной воде разница температур выходящей и поступающей воды составляет 5°С.

Переохладитель (при его наличии) состоит из пучка трубок, установленного на дне конденсатора и отделенного специальной перегородкой от трубок, расположенных выше. Вода при поступлении в конденсатор сначала проходит по переохладителю.

На рисунке 15.3 показана схема сечения конденсатора, имеющего переохладитель. Для повышения его эффективности охладитель должен быть полностью затоплен жидким холодильным агентом.

Модификацией конденсатора с пучком трубок является модель с трубками U-видной формы, навинченными на одну трубную доску. Если в первом случае трубки легко подвергаются очистке от осадка воды, то во втором механическую чистку производить невозможно и следует прибегнуть к химическим средствам удаления осадка.

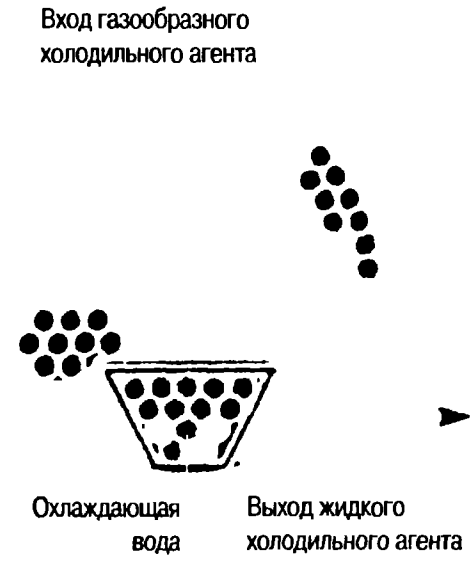


Рисунок 15.3. Фронтальный разрез конденсатора с пучком трубок на водяном охлаждении, в котором виден пучок трубок переохладителя жидкого холодильного агента.

Трубки конденсатора обычно выполнены из меди или медно-никелевого сплава (CuNi 90/10) при использовании морской воды с номинальным диаметром 5/8", 1/2", 3/4" и 1" (16, 19, 20 и 25 мм), с полностью рифленой поверхностью, что делается для повышения эффективности процесса теплообмена между холодильным агентом снаружи и водой внутри трубок. Рифление, наносимое механически путем «прокатки» трубок роликом имеет глубину от 0,9 до 1,5 мм. Внутренняя поверхность трубок также обработана соответствующим способом для повышение турбулентности воды и, как следствие, — эффективности процесса теплообмена. В качестве альтернативного решения используются также продольные насечки или насечки по спирали.

На практике внутреннее и внешнее рифление трубок имеет как положительные, так и отрицательные стороны, поскольку возникают явления, при определенных условиях способные изменить предусмотренные параметры работы агрегата.

Трубки со сплошным внешним рифлением при диаметре рифления меньшем, чем диаметр гладких окончаний, в случае выхода конденсатора из строя, могут выниматься из него через трубную решетку. На некоторых участках трубки могут не иметь рифления, что делается для обеспечения их плотного прилегания к соответствующим перегородкам, устанавливаемым при большой длине трубок. Таким образом, трубки могут расширяться и сжиматься под действием тепла без соприкосновения рифленых поверхностей трубки с опорами (рисунок 15.4)

Рисунок 15.4. Пример сплошного рифления внешней поверхности медных трубок методом «прокатки»: виден участок поверхности, свободный от рифления для прилегания к опоре.

Конденсаторы с пучком трубок устанавливаются на холодильных линиях с диапазоном мощности от 10 до 1200 кВт.

Конденсаторы с паяными пластинами из нержавеющей стали

Конструкция конденсаторов с паяными пластинами из нержавеющей стали похожа на конструкцию одноименных испарителей, все сказанное ранее об этом типе испарителей в Главе 13 сохраняет свою

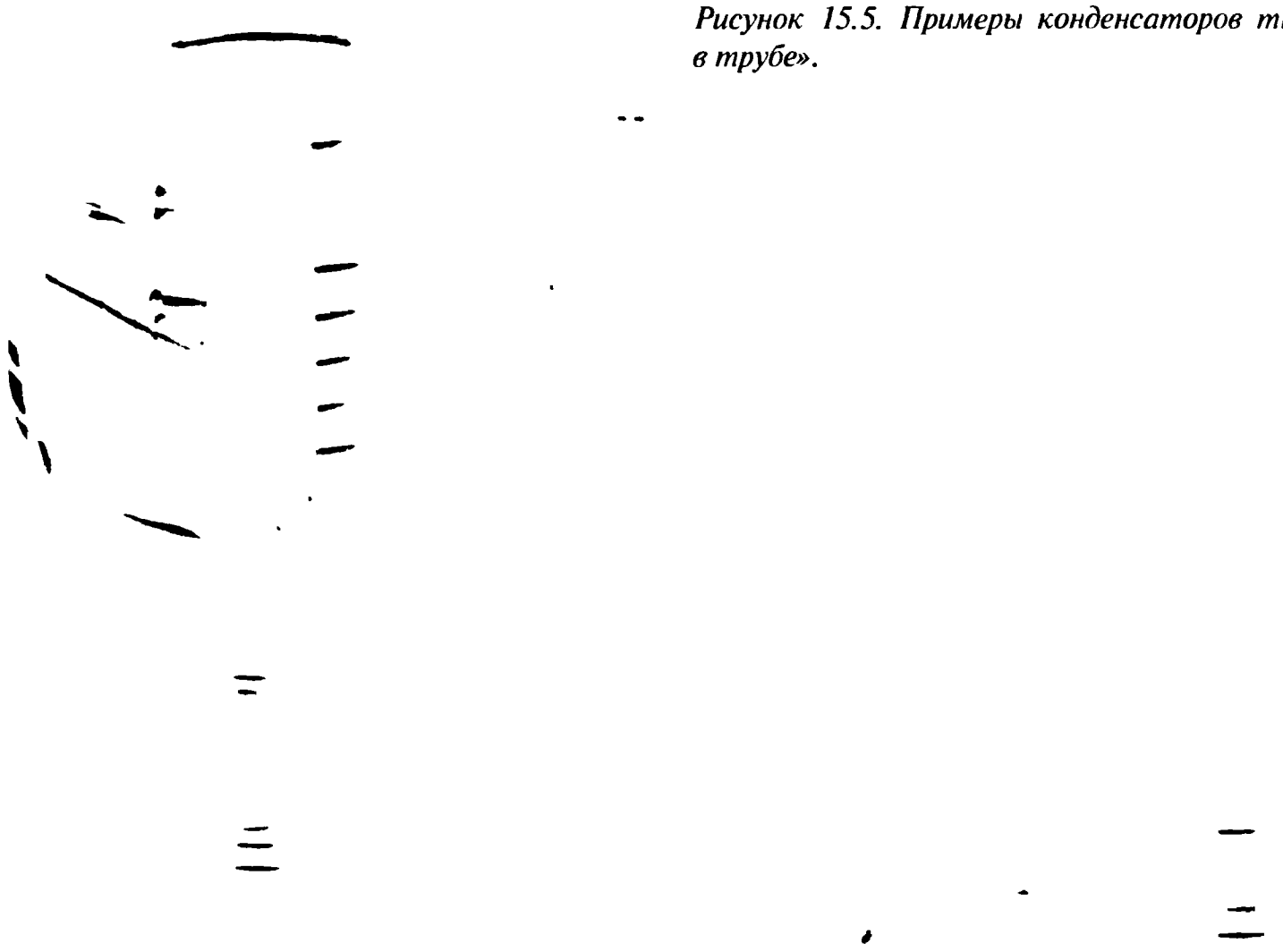
силу и в отношении этого типа конденсаторов. Они изготавливаются с мощностью переработки тепла (THR) от нескольких киловатт до 600 кВт.

При эксплуатации этих агрегатов необходимо обращать особое внимание на проблему загрязнения поверхностей теплообмена со стороны воды ввиду небольшого диаметра каналов прохождения воды. В связи с этим требуется не только устанавливать механические фильтры на входе воды, но, в зависимости от конкретных условий, предусматривать установку систем переработки воды и проводить химическую очистку агрегата.

Конденсаторы типа «труба в трубе»

Как и одноименные испарители этого типа, конденсаторы типа «труба в трубе» состоят из двух соосных трубок, свернутых спиралью. В зависимости от конкретной модели, холодильный агент может проходить по внешней трубке при контуре воды, расположенном во внутренней, или наоборот. Конструкция может быть полностью выполнена из меди, либо с внутренней трубкой из меди и внешней стальной трубкой. На рисунке 15.5 показаны некоторые конденсаторы этого типа. В них имеется только один контур холодильного агента и один контур воды.

Рисунок 15.5. Примеры конденсаторов типа «труба в трубе».



Внешняя и внутренняя поверхности трубки, по которой течет вода, могут иметь рифления по причинам, описанным ранее. Две жидкости следуют в противотоке: вода поступает из нижней части и выходит через верхнюю, тогда как холодильный агент движется в обратном направлении. В некоторых моделях в конструкции может быть предусмотрена установка зарубашенной трубки для прохождения холодильного агента для того, чтобы не допустить попадания воды в холодильный контур при его поломке (рисунок 15.6).

Этот тип конденсаторов изготовляется в диапазоне мощностей от 1 до 180 кВт; обычно они используются в автономных установках кондиционирования воздуха и охлаждения воды малой мощности, либо в установках с несколькими контурами. Очистка трубки, по которой циркулирует вода, может осуществляться только химическим путем.

Рисунок 15.6. Соосные трубки с активатором турбулентности в разрезе: внутренняя трубка имеет рубашку для предотвращения потерь и загрязнений циркулирующей по ней жидкости в случае поломки.

Коэффициент загрязнения

Коэффициент загрязнения представляет собой тепловое сопротивление, связанное с наличием отложения осадка воды на внутренних поверхностях трубок, что приводит к понижению значения коэффициента теплообмена. Загрязнение трубок повышает показатель средней логарифмической температуры, необходимой для обеспечения установленной мощности переработки тепла и, соответственно, давления конденсации в системе, а также потребляемой электроэнергии.

Повышение коэффициента загрязнения приводит к:

— увеличению количества трубок (м/кВт);
— увеличению длины трубок (м);
— снижению скорости движения воды по трубкам.

Результатом первых двух факторов является удорожание конденсатора. Кроме того, существует опасность, что скорость движения воды будет уменьшаться в большей степени, чем будет увеличиваться поверхность трубок, что, в свою очередь, приводит к повышению мощности насоса, который должен обеспечивать постоянную скорость движения воды.

На рисунке 15.7 иллюстрируется влияние коэффициента загрязнения трубок конденсатора на рабочие показатели холодильной группы. Как можно видеть, температура конденсации повышает потребление электроэнергии при снижении вырабатываемой холодильной мощности. Рабочие показатели холодильной группы приводятся обычно при значении коэффициента загрязнения конденсатора на уровне $0{,}44 \cdot 10^{-4}$ м^{2}К/Вт.

В таблице 15.1 показаны значения коэффициента загрязнения при различных типах используемои воды, а в таблице 15.2 — коэффициенты коррекции рабочих характеристик холодильных установок при различных значениях коэффициента загрязнения.

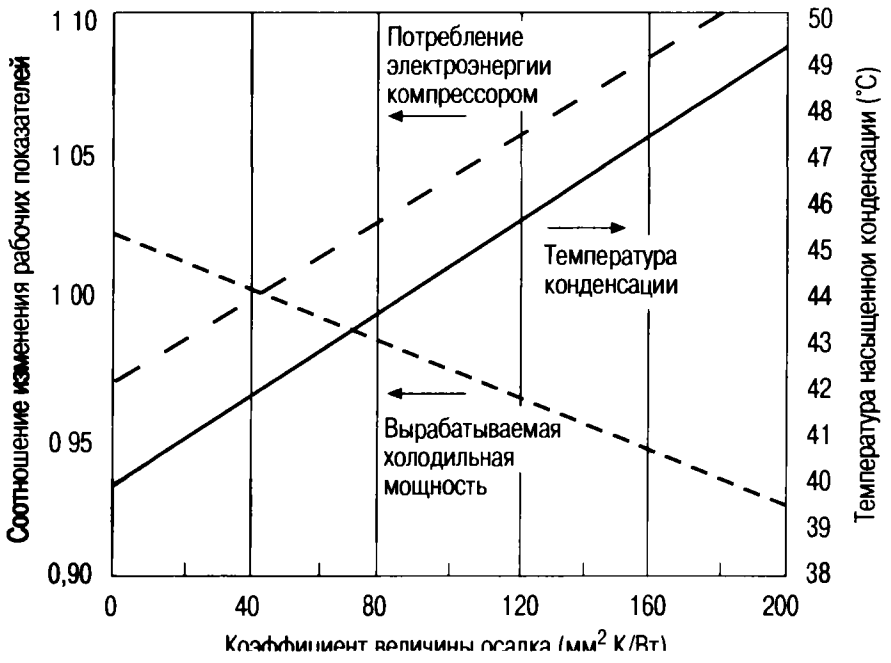


Рисунок 15 7 Влияние коэффициента загрязнения трубок конденсатора на рабочие показатели холодильнои группы при возрастании коэффициента величины осадка температура конденсации и потребляемая электроэнергия повышаются при одновременном уменьшении вырабатываемои мощности

Таблица 15.1. Средние коэффициенты загрязнение различных видов воды

Тип воды	Коэффициент загрязнения ($м^2К/Вт$)
Обработанная колодезная вода	0,44 10^{-4}
Обработанная водопроводная вода	0,44 10^{-4}
Вода реки или озера	0,86 10^{-4}
Морская вода (взятая далеко от берега)	0,44 10^{-4}

Таблица 15.2. Значения коэффициента коррекции рабочих характеристик холодильной установки при различных значениях коэффициента загрязнения конденсатора

Коэффициент загрязнения ($м^2К/Вт$)	Коэффициент коррекции холодильной мощности	Коэффициент коррекции мощности потребляемой электроэнергии	Коэффициент коррекции COP
0,44 10^{-4}	1,000	1 000	1 000
0 88 10^{-4}	0,990	1 018	0 973
1 32 10^{-4}	0,981	1,036	0 945

Таблица 15.3. Значения температуры воды на входе в конденсатор и соответствующие им типичные показатели температуры конденсации

Температура воды на входе (°C)	Типичная температура конденсации (°C)
16	32–38
24	38–40
30	40–44

Таблица 15.4. Проектные показатели различных национальных и зарубежных отраслевых учреждений

	Проектная температура (°C)	Проектное давление (бар)	
	мин./макс.	Газ	Вода
ISPESL	–10/+90	24 52	10
RINA	–10/+90	27 00	10
TTK	–10/+90	28 00	5
UDT	–10/+90	24 52	10
TUV	< +120/< +80	28 00	10*

*Возможное увеличение до 16 бар

В таблице 15.3 показаны некоторые типичные показатели температуры воды питания конденсаторов с соответствующими им значениями температуры конденсации, которые при них устанавливаются. В таблице 15.4, наконец, перечислены максимальные показатели давления при испытании водоохлаждаемых конденсаторов в соответствии с требованиями различных национальных и зарубежных отраслевых учреждений.

В целях минимизации загрязнения часто рекомендуется обеспечивать скорость движения воды по трубам наибольшего диаметра на уровне более 1 м/с; рекомендуется также периодически чистить трубки как механическим, так и химическим способами.

Циркуляция в системе гидравлики (количество прохождений воды)

Как уже было сказано, обычно имеется возможность изменять количество циркуляций (прохождений) воды через конденсатор. Этот показатель влияет на температуру конденсации, которая, в свою очередь, оказывает влияние на рабочие показатели установки.

На рисунке 15.8 показаны кривые рабочих режимов конденсатора с пучком трубок при одном, двух и трех прохождениях воды при температуре на входе 30°С: можно легко заметить различия рабочих показателей, приняв в качестве примера тепловую мощность на каждую трубку в 6,5 кВт.

При контуре воды с тремя ее прохождениями при сохранении разницы температур Δt в 7,8°С температура конденсации будет составлять 40,5°С; при двух циркуляциях разница температур Δt составит 5,6°С с температурой конденсации 39°С; при одном же прохождении воды разница температур Δt равна 2,8°С, а температура конденсации снижается до 37,4°С. Кроме того, при одной циркуляции требуется мощность потока в два раза большая, чем при двух, что влечет за собой увеличение габаритов и цены насоса и рост потребления электроэнергии насосом.

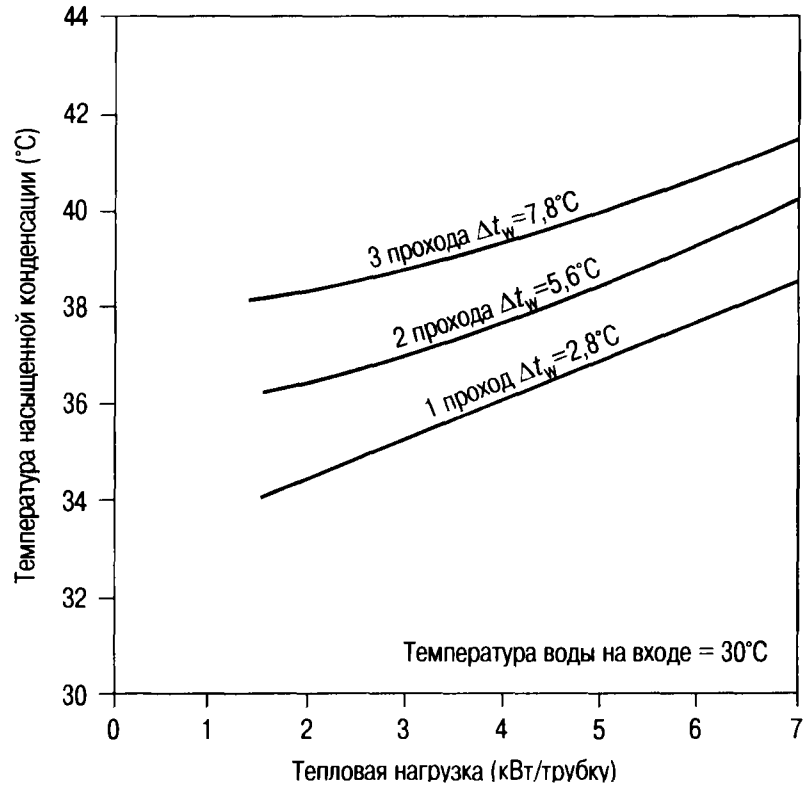


Рисунок 15.8. Влияние количества циркуляций через конденсатор (количество прохождений воды) на его рабочие показатели.

При выборе количества циркуляций необходимо учитывать различные факторы, применительно к местным условиям функционирования. Например, выбор трех прохождений воды может оказаться оправданным в случае недостатка воды или когда затраты на ее доставку превышают затраты в связи с перерасходом электроэнергии, вызванным возникновением более высокой температуры конденсации в установке.

Потери напора воды

Учет потерь напора воды при прохождении ее через конденсатор является важным элементом проектирования и его последующего выбора. Они связаны с сопротивлением, которое оказывается воде различными препятствиями:

— входным и выходным подсоединениями головок;
— при входе и выходе из трубок;
— при прохождении по трубкам;
— перегородками, связанными с установленным количеством циркуляций.

Обычно в системах, имеющих мокрую градацию, потеря напора при прохождении через конденсатор не должна превышать 70 кПа.

Контуры охлаждения с использованием градирни

Чтобы свести потребление воды к минимуму, большинство водоохлаждаемых конденсаторов соединены с градирнями.

На рисунке 15.9 показана схема типичного подсоединения водяного контура охлаждения конденсатора к градирне. Для поддержания необходимого давления конденсации (не допуская его уменьшения ниже заданного минимального значения) на линии воды устанавливается регулирующий трехходовой клапан, служащий для отвода воды в резервуар градирни с целью поддержания заданного минимального значения температуры. При проектировании контуров с мокрой градирней необходимо принимать некоторые меры предосторожности:

— обеспечивать необходимый уклон горизонтальных участков труб для предотвращения воздушных пробок;
— располагать градирню таким образом, чтобы уровень воды в ней был выше уровня насоса;
— обеспечить необходимую длину горизонтального участка трубы всасывания насоса, которая должна по меньшей мере в 5 раз превышать диаметр самой трубы;
— устанавливать фильтры для удержания посторонних взвесей.

На рисунке 15.10 показаны другие примеры схемы подсоединения, позволяющие регулировать давление конденсации. На рисунке 15.10а трехходовой клапан-смеситель может быть установлен на некотором расстоянии от градирни, и в этом случае может оказаться необходимым клапан калибровки. Работа клапана регулируется термостатом, датчик которого находится на участке всасывания насоса. На рисунке 15.10б функционирование трехходового клапана регулируется давлением конденсации, клапан обеспечивает обвод (bypass) требуемого количества воды через конденсатор.

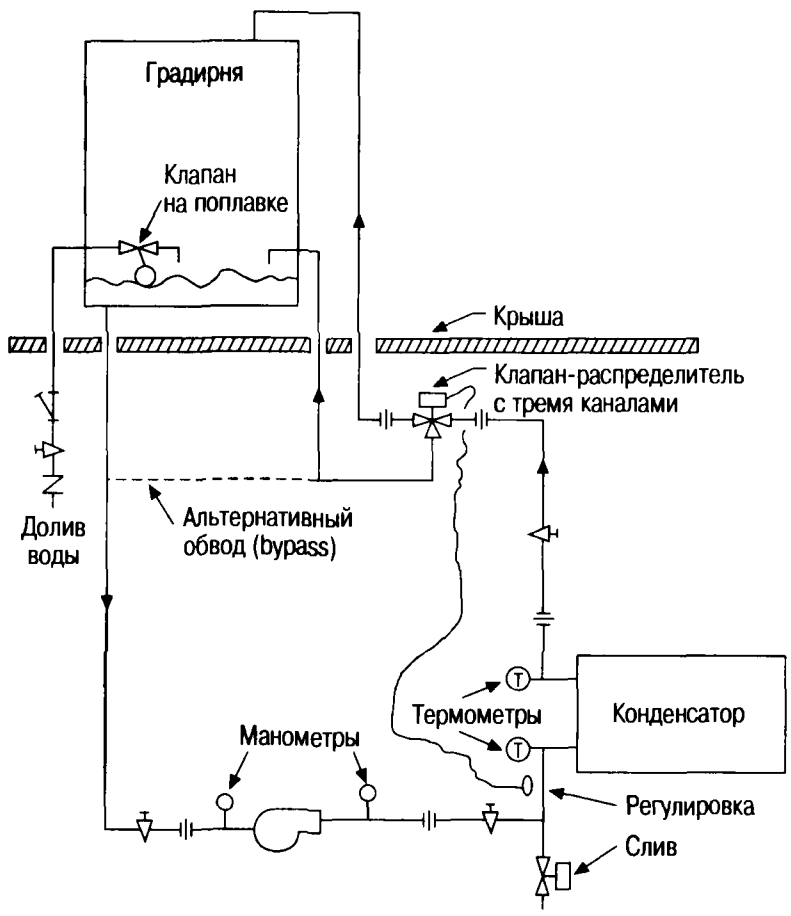


Рисунок 15.9. Схема системы гидравлики между конденсатором и градирней.

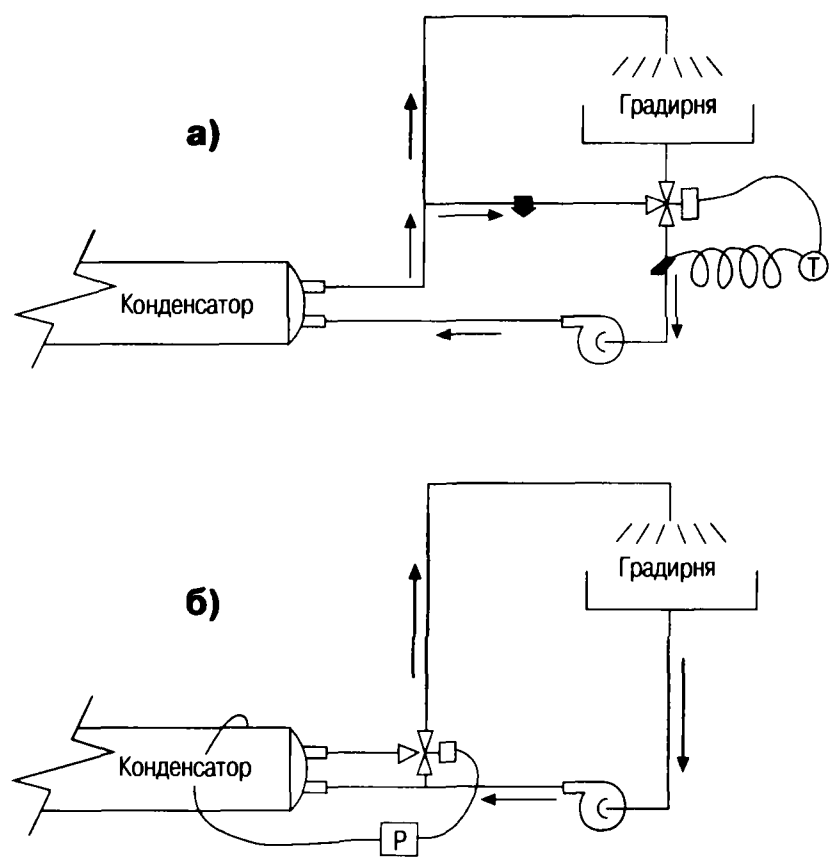


Рисунок 15.10. Схемы регулировки давления конденсации в системе конденсатор-градирня: а) регулировка производится в зависимости от температуры воды на выходе из градирни с помощью термостата; б) регулировка зависит непосредственно от давления внутри конденсатора

Конденсаторы с воздушным охлаждением

Конденсаторы с воздушным охлаждением состоят из трех основных элементов:
1) батарея теплообмена;
2) вентилятор;
3) двигатель вентилятора.

Батарея

Обычно батарея состоит из медных, алюминиевых или стальных трубок диаметром от 6 до 19 мм с пластинами, аналогично рассмотренным ранее батареям охлаждения. Хотя медь и является более дорогостоящим материалом, она имеет ряд преимуществ, поскольку легче поддается обработке и не подвержена коррозии. Для обработки алюминия требуется более тонкая технология, кроме того, необходимо принимать меры предосторожности при его контакте с медью. Сталь требует особых мер защиты от атмосферных реагентов.

При выборе материала трубок учитываются многие факторы, в частности: легкость обработки, потеря напора в контуре холодильного агента, потеря давления воздуха и пр. В настоящее время чаще употребляют трубки малых диаметров.

Пластины в большинстве случаев выполняются из алюминия, хотя иногда бывают и из меди. Самыми распространенными формами пластин являются:
— спиральные пластины;
— плоские пластины пакетом.

Второй тип является наиболее распространенным в установках по кондиционированию воздуха. Расстояние между пластинами обычно составляет от 1,5 до 2,1 мм (что эквивалентно 12 и 16 пластин на дюйм).

При пакетном расположении используются плоские пластины различного профиля:
— гладкие пластины;
— пластины, имеющие различные изгибы в соответствии с потоком воздуха.

Сохраняют свою силу технические выкладки, делавшиеся ранее в отношении батарей испарителя.

Как и в батареях охлаждения, плоские пластины закрепляются на трубках одним из следующих способов:
1) пластина с отверстием, прикасающаяся к трубке лишь своей реберной плоскостью;
2) обработанная пластина с кольцом, находящимся в контакте с трубкой, которое увеличивает площадь контакта.

В этом случае также сохраняют свою силу технические выкладки, делавшиеся ранее в отношении батарей испарителя.

Скорость прохождения воздуха через батарею обычно составляет 1–3,5 м/с.

Батареи конденсаторов обычно вставлены в соответствующие металлические корпуса для придания им большей прочности. Конструкция может предусматривать один или несколько рядов трубок, расположенных в направлении прохождения потока воздуха. Трубки могут располагаться в линию или быть сдвинутыми одна относительно другой, что обеспечивает более высокий теплообмен.

Другим важным аспектом является система циркуляции. Разогретый газообразный холодильный агент поступает в конденсатор в его верхней части и спускается вниз по контуру конденсатора. В верхней части батареи происходит снятие перегрева газа, на что приходится около 5% площади поверхности теплообмена. На этом участке интенсивность теплообмена высокая, как в силу большой разницы температур между перегретым газом и воздухом, так и в связи с относительно высоким коэффициентом теплообмена при высокой скорости движения газа. На следующем участке, занимающем 85% площади поверхности теплообмена, при почти постоянной температуре происходит конденсация. Остальная часть поверхности теплообмена используется для переохлаждения, если оно предусмотрено, имеющего обычно незначительные показатели ввиду малой разницы температур между жидким холодильным агентом и воздухом. В этой зоне происходит не более 5% теплообмена. Воздух и холодильный агент обычно движутся в противотоке, что обеспечивает большую эффективность теплообмена. Переохладитель является составной частью батареи и размещается таким образом, чтобы его питание про-

изводилось совместно с конденсатором. Важно, чтобы расположение контура в батарее обеспечивало поддержание минимального показателя напора холодильного агента, уменьшая тем самым возможность возврата жидкости в компрессор и смешивания масла с холодильным агентом.

Вентилятор

Воздух, поступающий для охлаждения батареи конденсатора, нагнетается вентилятором (или несколькими вентиляторами), который может быть осевым или центробежным и обычно устанавливается с соответствующим двигателем, чтобы создавать всасывание воздушного потока через батарею. Это решение имеет преимущество по сравнению с положением наддува, поскольку воздух, проходящий через батарею, не нагревается при предварительном прохождении через вентилятор и его двигатель, кроме того, это способствует более равномерному распределению потока по всей поверхности теплообмена. Исключение составляют мотоконденсаторы холодильных установок, в которых вентилятор почти всегда устанавливается с функцией наддува.

Осевой вентилятор в большей степени подходит для конденсаторов с малой потерей давления воздушного потока, учитывая необходимость обеспечения большого расхода воздуха. Часто производится установка двух крыльчаток на валу одного двигателя, и скорость их вращения составляет от 750 до 1450 об./мин. На понижение шума при работе вентиляторов оказывает влияние аэродинамическая форма ячеек прохождения воздуха через батарею.

Центробежные вентиляторы обычно используются в агрегатах, где имеется потребность в обеспечении более высокого статического давления, то есть в тех случаях, когда воздух должен поступать в воздуховоды. В подобных установках зачастую применяется ременная передача «двигатель-вентилятор» для обеспечения быстрого изменения скорости вращения при изменении требуемого статического давления.

При выборе мощности вентилятора обычно используются показатели производительности от 80 до 160 л/с на каждый кВт перерабатываемой тепловой мощности. Потребление электроэнергии вентиляторами обычно находится на уровне 21–42 Вт на каждый кВт перерабатываемой тепловой мощности.

Температура конденсации обычно устанавливается на 10–20°C выше температуры внешнего воздуха, температура на выходе воздуха — на 3–5,5°C меньше заданной температуры конденсации. В абсолютных значениях последний показатель обычно составляет от 42 до 55°C, хотя в некоторых случаях может достигать 60°C (в особо жарких районах, например, на Ближнем Востоке). В таблице 15.5 приводятся некоторые значения внешней температуры с соответствующими значениями температуры конденсации.

Таблица 15.5. Температура воздуха на входе в конденсатор и соответствующие ей типичные значения температуры конденсации.

Тип конденсатора	Температура воздуха на входе (°C)	Температура конденсации (°C)
С воздушным охлаждением	32,0	46–49
	35,0	49–51
	38,0	51–54
Испарительного типа	24,0	38–40
	25,5	40–43
	27,0	43–46

Таблица 15.6. Коэффициенты корректировки снижения мощности холодильной установки с конденсатором воздушного охлаждения при работе в высокогорных условиях.

Высота над уровнем моря (м)	Коэффициент коррекции холодильной мощности
300	0,991
600	0,981
900	0,972
1200	0,962
1500	0,953
1800	0,943

Рабочие характеристики конденсаторов с воздушным охлаждением приводятся обычно применительно к различным типам холодильных агентов и к функционированию на уровне моря. При больших высотах над уровнем моря показатели рабочих характеристик уменьшаются.

В таблице 15.6 приводятся коэффициенты корректировки снижения холодильной мощности при работе установки в высокогорных условиях.

Регулировка давления конденсации

Для обеспечения равномерности функционирования любой холодильной установки необходимо поддерживать давление и температуру конденсации в определенных пределах, чтобы обеспечить создание достаточно высокой разницы давлений и добиться прохождения через терморегулирующий вентиль установленного количества холодильного агента при определенной тепловой нагрузке. (см. Главу 7, раздел «Регулировка давления конденсации».)

Слишком малая разница давлений при прохождении холодильного агента через ТРВ может привести к снижению поступления холодильного агента в испаритель, вплоть до создания условий для образования наледи или остановки холодильной машины ввиду срабатывания реле низкого давления.

С другой стороны, при понижении внешней температуры производительность конденсатора воздушного охлаждения повышается одновременно с имеющим место снижением требуемого давления. Кроме того, конденсатор с воздушным охлаждением мгновенно подстраивается под изменения внешней температуры. Ввиду этого возникает необходимость установки системы регулирования давления конденсации. Для поддержания относительно постоянного давления конденсации применяются два основных метода:

1) регулировка потока воздуха;
2) регулировка контура холодильного агента.

Регулировка потока воздуха

Меры по регулировке потока воздуха позволяют изменить мощность охлаждения при прохождении воздуха через батарею конденсатора. Это может быть обеспечено различными способами:

— остановка вентилятора;
— установка регулирующего воздушного клапана;
— изменение скорости вращения вентилятора.

Остановка вентилятора. При определенных значениях давления конденсации или температуры внешней среды остановка вентилятора может вызвать значительное учащение циклов запуска/остановки компрессора и недопустимые колебания самой температуры конденсации. На практике остановка вентилятора при определенном значении внешней температуры позволяет понизить колебания давления, однако допускается только в конденсаторах с несколькими вентиляторами.

Тепловая производительность конденсатора с двумя вентиляторами одинаковой мощности при остановке одного из них снижается примерно на 55%. В конденсаторе с тремя одинаковыми вентиляторами остановка одного из них снижает производительность конденсатора на 40%. В конденсаторах с несколькими вентиляторами необходимо предусмотреть установку разделительных перегородок между вентиляторами для предотвращения обратного вращения остановленного вентилятора.

Когда в холодильной установке имеются два и более параллельных конденсаторов необходимо обеспечить подвод к ним электроэнергии таким образом, чтобы вентиляторы каждого конденсатора включались и останавливались одновременно; в противном случае давление конденсации в каждом конденсаторе не будут сбалансированным и жидкий холодильный агент будет задерживаться в конденсаторе с меньшим давлением (с остановленными вентиляторами).

Установка воздушного клапана. Воздушный клапан используется для снижения расхода воздуха через конденсатор на величину, необходимую для поддержания установленного давления конденсации. Регулировка положения клапана может производиться при помощи сервопривода, управляемого в зависимости от давления холодильного агента в самом конденсаторе, или с помощью электрического сервопривода с регулировкой в зависимости от температуры внешней среды. Если клапан применяется при наличии осевых вентиляторов, они должны иметь плоские кривые потребления электроэнергии

для предотвращения перегрузок двигателя привода самого клапана. Пример использования клапана на конденсаторе с осевым вентилятором показан на рисунке 15.11.

Изменение скорости вращения вентилятора. Это эффективный способ регулировки давления конденсации. Производится с использованием двигателя, управляемого от инвертора, который понижает количество оборотов пропорционально изменению температуры или давления. Даже при остановленном вентиляторе батарея может нуждаться в соответствующем экране защиты от ветра при высокой ветрености в районе пользования.

Регулировка контура холодильного агента

Регулировка давления конденсации посредством изменения показателей контура холодильного агента производится путем установки ряда автоматических клапанов, вызывающих затопление батареи конденсатора со снижением площади активной поверхности теплообмена и соответствующим снижением вырабатываемой холодильной мощности. Для регулировки и перекрытия потока холодильного агента через конденсатор могут использоваться различные сочетания клапанов, с одновременным обводом газа на выпуске непосредственно в накопитель жидкости для поддержания установленного давления конденсации (рисунок 15.12).

При нормальных значениях температуры внешней среды клапан обвода (bypass) закрыт, и холодильный агент свободно проходит через конденсатор. При низких температурах внешней среды обеспечивается затопление конденсатора, что позволяет обеспечить плавное изменение рабочих показателей с сохранением постоянного давления конденсации. Тем не менее, подобные системы требуют наличия большего количества холодильного агента в контуре, чем при работе в нормальных условиях, что в ряде случаев обусловливает необходимость установки соответствующего накопителя жидкости. Если количества холодильного агента недостаточно для затопления конденсатора, клапан обвода (bypass) нагретого газа может оставаться длительное время открытым, что приводит к неполадкам в терморегулирующем клапане.

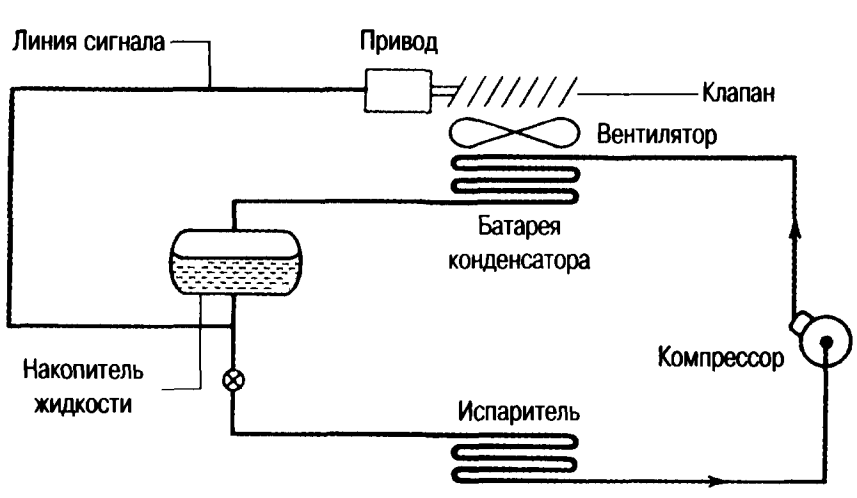


Рисунок 15.11. Схема установки воздушного клапана на конденсаторе с воздушным охлаждением с осевым вентилятором.

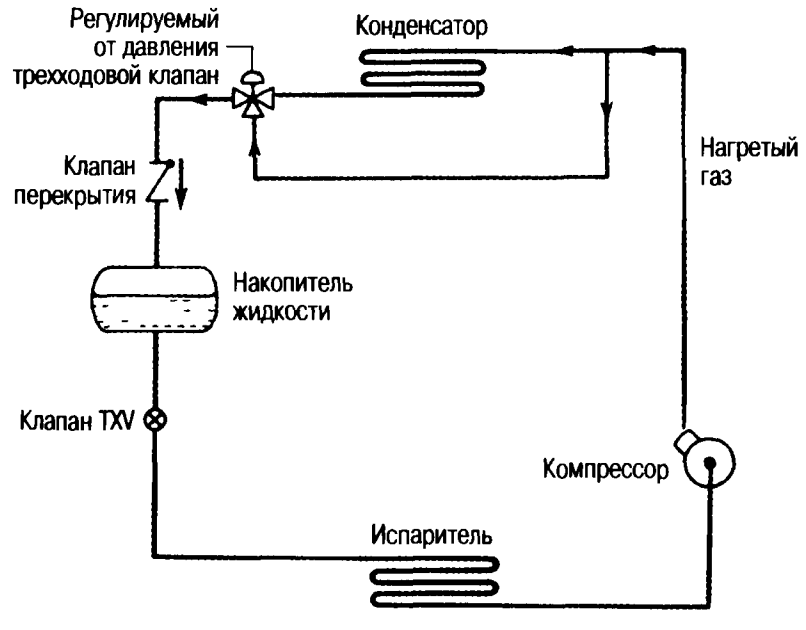


Рисунок 15.12. Схема типичного контура холодильного агента, позволяющего производить затопление холодильным агентом батареи конденсатора для регулировки давления конденсации. Обвод (bypass) производится с использованием трехходового клапана, что изменяет объем подачи газа в конденсатор в зависимости от условий внешней среды и функционирования

Если же наоборот, количество холодильного агента в контуре слишком велико, может оказаться невозможным произведение продувки (pump-down) с удержанием холодильного агента в накопителе и конденсаторе (если такое действие предусмотрено).

Наконец, необходимо учитывать, что во время остановки при низких температурах внешней среды холодильный агент стремится мигрировать в конденсатор, если он более охлажден, чем остальные компоненты контура. В результате могут возникать серьезные неполадки при последующем запуске. Для их предотвращения используются различные методы:

— шунтирование реле низкого давления с использованием реле времени для того, чтобы давление в контуре могло достичь величины, позволяющей обеспечить нормальное функционирование установки;
— обвод (bypass) газа на выпуске из компрессора непосредственно в накопитель жидкости при запуске, что позволяет произвести обвод конденсатора до достижения необходимого давления;
— установка на поверхности накопителя жидкости изолированного электронагревателя для поддержания внутри него температуры, соответствующей давлению насыщения с обеспечением поступления жидкого холодильного агента в испаритель при запуске. Нагреватель может управляться от термостата, а возврат жидкости в конденсатор может быть предотвращен посредством перекрывающего клапана.

Следует уточнить, что, если конденсатор с воздушным охлаждением оснащен контуром переохлаждения жидкого холодильного агента, лучше не использовать накопитель. Действительно, когда холодильный агент поступает непосредственно из конденсатора в накопитель, происходящее в нем парообразование зачастую сводит «на нет» эффект переохлаждения. Установка накопителя оправдана в случае его использования в качестве резервуара накопления при проведении работ по техническому обслуживанию, и при отключении его во время функционирования установки.

Установка

Конденсаторы с воздушным охлаждением могут являться составной частью агрегатов (например, холодильной группы, автономного устройства для кондиционирования воздуха, компрессорно-конденсаторных блоков и пр.), либо использоваться отдельно для внешнего воздействия на функционирование установки, к которой они относятся.

В обоих случаях установка или монтаж батарей конденсатора может производиться одним из трех ниже перечисленных способов:

1) вертикальные батареи
2) горизонтальные батареи;
3) батареи V-образной формы.

В зависимости от количества контуров могут иметься одна или несколько батарей, они могут быть параллельными или иметь отдельные подключения. В настоящее время чаще всего используется вертикальная установка батарей, за которой следует V-образная установка.

Положение и воздухопоток осевого вентилятора определяется выбранным типом монтажа батарей. Чаще всего встречаются следующие варианты.

— *Вертикальные батареи.* Вентилятор может устанавливаться с горизонтальным или вертикальным расположением вала (рисунок 15.13). В первом случае воздухопоток является горизонтальным. Вентилятор обычно располагается таким образом, чтобы обеспечивать всасывание воздуха через батареи по причинам, рассмотренным ранее. Это решение обычно применяется в установках малой и средней мощности. Использование вентилятора с вертикальным расположением вала обуславливает наличие горизонтального забора воздуха через батарею, тогда как выход воздухопотока производится по вертикали вверх. Этот метод монтажа используется в установках достаточно большой мощности.
— *Горизонтальные батареи.* Вентилятор монтируется с вертикально расположенным валом над батареей. Поток воздуха также является вертикальным с забором его снизу и выходом вверх.
— *Батареи V-образной формы.* Вентилятор монтируется с вертикально расположенным валом между двумя батареями. Забор воздуха производится по горизонтали с двух сторон с выходом вверх. Это решение позволяет ограничить высоту агрегата при равной площади занимаемой поверхности.

Несколько вариантов монтажа показано на рисунке 15.14. Иногда в одном и том же агрегате применяются два разных способа монтажа батарей.

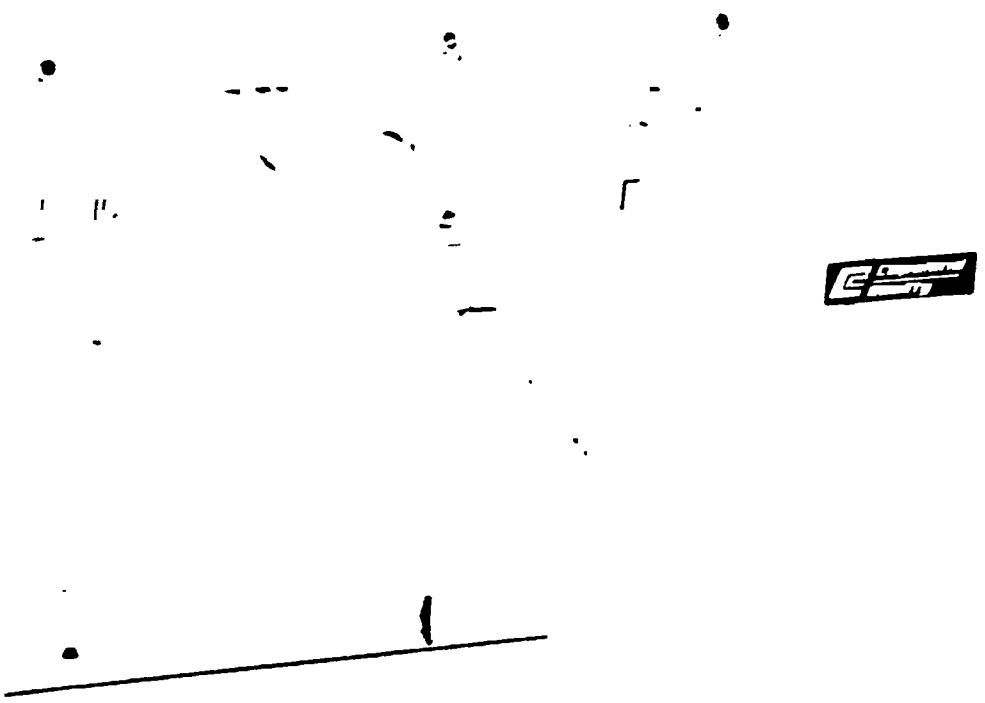
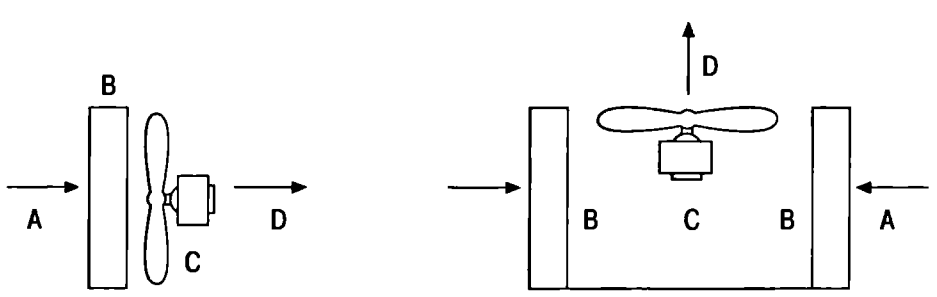


Рисунок 15.13. Компрессорно-конденсаторный блок холодильной установки с вертикальными батареями, вентиляторы расположены в положении наддува.



A) Воздух для охлаждения
B) Батарея конденсатора
C) Двигатель-вентилятор
D) Нагретый воздух на выходе

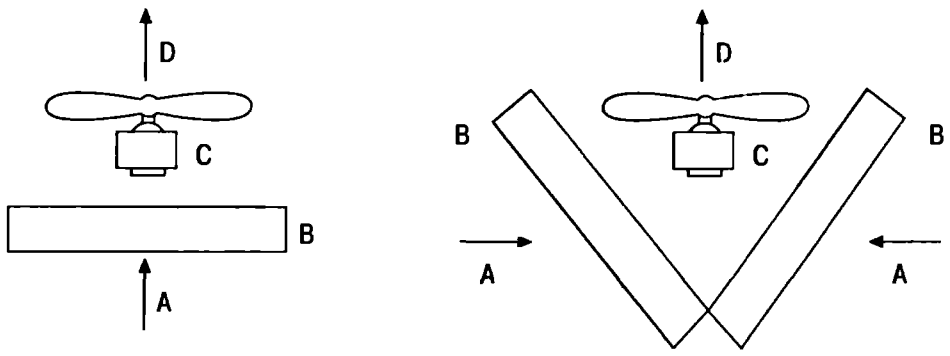


Рисунок 15.14. Схематичное изображение наиболее часто встречающихся вариантов монтажа батарей конденсатора с воздушным охлаждением с соответствующими вентиляторами.

Конденсатор с воздушным охлаждением может устанавливаться как снаружи, так и внутри помещения (группа с центробежными вентиляторами). Конденсатор может устанавливаться вблизи или на некотором расстоянии от испарительной установки; обычно, чем больше расстояние, тем большие затраты требуются для установки и рабочего функционирования конденсатора. Ниже приводятся некоторые рекомендации по установке конденсаторов:

— конденсатор должен устанавливаться таким образом, чтобы воздух свободно проходил через батарею с предотвращением обратного его забора;
— конденсатор должен быть размещен вдали от участков с загрязненным воздухом, пылью, мест сброса промышленных отходов, мест попадания листвы и пр., что могло бы привести к коррозии или засорению батареи;
— следует исключить случаи установки в углах, под крышей для предотвращения попадания дождевой воды и снежных завалов;

— при наличии черных гудронированных крыш в безветренную погоду локальная температура воздуха может быть на 10–15°С выше, чем температура внешней среды, с соответствующими последствиями в отношении функционирования установки. В этом случае следует делать насыпь из белой гальки под агрегатом, а также в некотором радиусе от него, либо принять другие меры для предотвращения слишком большого локального повышения температуры воздуха;
— конденсатор следует размещать вдали от мест пребывания людей для избежания воздействия шума на человека.

В районах с доминирующей розой ветров конденсаторы с горизонтальным потоком воздуха должны быть ориентированы таким образом, чтобы воздухозаборник (а не сторона выхода воздуха) был направлен в сторону преобладающего направления ветра. Кроме того, важно учитывать еще один фактор воздействия ветра: двигатели вентиляторов могут быть однофазными или трехфазными. После остановки однофазных двигателей, если они начинают вращаться под действием ветра, при следующем запуске сохраняют направление вращения, установленное таким воздействием, что может не совпадать с требуемым направлением вращения вентилятора. Трехфазные же двигатели вращаются только в установленную сторону, однако, если после остановки под действием ветра вентилятор начинает вращаться в обратную сторону, при запуске возникают перегрузки, способные привести к перегреву двигателя. До настоящего времени не существует устройств, обеспечивающих защиту от этого явления, поэтому в зонах с постоянным направлением ветра может возникать необходимость в установке соответствующих ветрозащитных щитов вокруг батарей.

Испарительные конденсаторы

Испарительный конденсатор можно назвать результатом скрещивания конденсатора с воздушным охлаждением и градирни. Конденсация в нем холодильного агента происходит посредством испарения определенного количества воды, набрызгиваемой на батарею охлаждения при одновременном прохождении через нее определенного потока воздуха. Схема конструкции испарительного конденсатора приводится на рисунке 15.15.

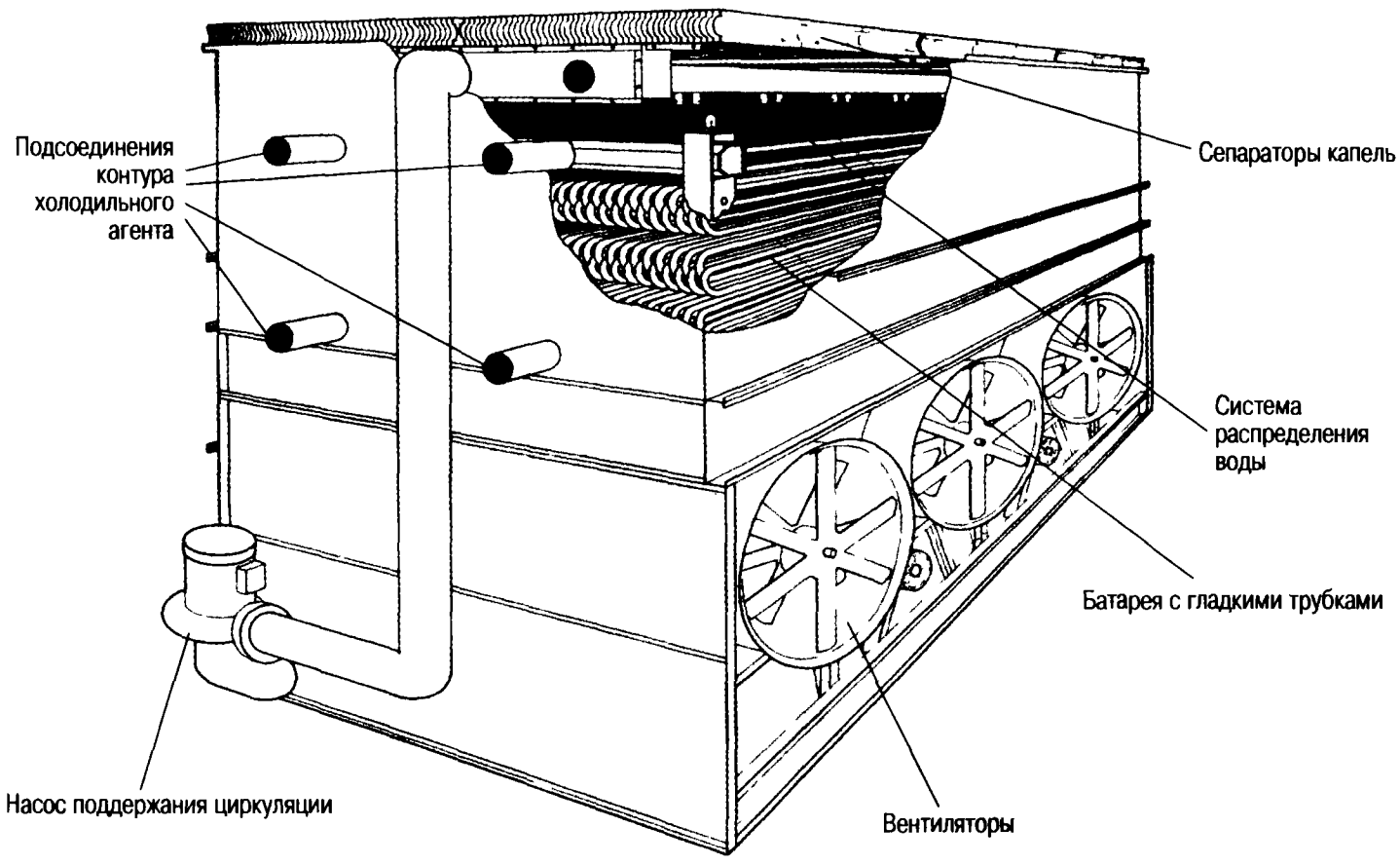


Рисунок 15.15. Внешний вид конструкции типичного испарительного конденсатора.

При нормальном функционировании установки нагретый газ, поступающий из компрессора, подается через верхнюю часть батареи конденсации; на батарею подается также поток воздуха от вентилятора с одновременным набрызгом определенного количества воды. Вода и воздух движутся в противотоке. Перекачка воды осуществляется насосом: набрызг ее на батарею производится через серию форсунок или с использованием коллекторов, обеспечивающих ее свободное падение на батарею. Часть попадающей на батарею воды испаряется, снимая таким образом, часть побочного тепла; только малая часть снятого таким образом тепла участвует в холодильном эффекте; неиспарившаяся вода проливается в поддон, установленный на дне агрегата, откуда вновь попадает в насос. Система возврата позволяет собрать испарившуюся часть воды. В верхней части испарительного конденсатора расположен ряд сепараторов капель для предотвращения создания капель воды, которые могли бы быть захвачены потоком выходящего воздуха. Холодильный агент в батарее конденсируется, выходя из ее нижней части в виде жидкости. В установке обычно присутствует накопитель жидкости.

Батарея конденсации обычно состоит из гладких трубок без пластин. Вентилятор бывает осевым или центробежным. В последнем случае он соединяется с двигателем посредством клино-ременной передачи. Вентилятор может располагаться выше (вентилятор наддува) или ниже (вентилятор всасывания) батареи конденсации.

Испарительные конденсаторы с осевыми вентиляторами устанавливаются снаружи. Модели, имеющие центробежные вентиляторы, могут устанавливаться и внутри помещения; в этом случае забор и выпуск воздуха для охлаждения производится по воздуховодам.

Рабочие режимы

Испарительные конденсаторы имеют рабочие характеристики, отличные от других видов конденсаторов, и по сравнению с конденсаторами с воздушным охлаждением имеют ряд преимуществ:

— функционирование с более низкой температурой конденсации по сравнению с конденсаторами с воздушным охлаждением при прочих равных условиях. Например, при значениях температуры внешнего воздуха 32°C при с.к. и 24°C при в.к. температура конденсации в конденсаторе с воздушным охлаждением составляет 46 и 49°C, тогда как температура в испарительном конденсаторе заметно ниже: от 38 до 40°C;
— низкий уровень шума при функционировании, связанный с меньшим объемом перерабатываемого воздуха по сравнению с конденсаторами с воздушным охлаждением;
— меньшие габариты по сравнению с конденсаторами с воздушным охлаждением при равных показателях перерабатываемого тепла.

Наконец, установлено, что испарительный конденсатор представляет собой наиболее эффективную систему переработки тепла как по сравнению с конденсаторами с воздушным охлаждением, так и по сравнению с водоохлаждаемым конденсатором на воде из градирни.

Потребление воды возвратного устройства аналогично параметрам мокрой градирни: около 3,5 л/ч при мощности установки 1000 Вт.

Регулировка давления конденсации

Существует несколько методов регулировки давления конденсации в испарительных конденсаторах:

— регулировка потока воздуха посредством установки направленных клапанов на подаче воздуха в вентилятор (только в агрегатах с центробежными вентиляторами);
— уменьшение потока воздуха от вентилятора посредством использования двухскоростного двигателя. Например, при использовании двигателей с 4 и 8 полюсами (соответственно 1450 и 750 об./мин), их функционирование с половиной загрузки поддерживает работу конденсатора на уровне 60% от его мощности. Путем остановки всех вентиляторов с сохранением рабочего состояния насоса циркуляции воды можно обеспечить снижение производительности конденсатора до 10% номинала;
— постоянное изменение расхода воздуха посредством использования двигателей с изменяемой скоростью вращения с инвертором. Эта система позволяет лучше регулировать производительность конденсатора при изменении рабочей нагрузки установки;
— функционирование «насухую», без набрызга воды. Может производиться зимой, когда холодильная нагрузка сводится к минимуму, а температура внешнего воздуха при в.к. намного ниже проектной температуры. Этот способ регулировки может использоваться вместе с одним из ранее описанных

(уменьшение потока воздуха при помощи воздушного клапана или с использованием двухскоростного вентилятора).

Установка

Испарительные конденсаторы могут устанавливаться как снаружи, так и внутри зданий. Для внешней установки в регионах, где температура зимой опускается ниже нуля, необходимо принимать соответствующие меры предосторожности для предотвращения замерзания воды в накопителе (при необходимости использования установки в зимний период). Характер мер аналогичен тем, которые применяются в отношении градирен: применение электрических нагревателей для подогрева накопителя или перемещение самого накопителя внутрь помещения.

При установке агрегата необходимо принимать те же меры предосторожности, которые были перечислены в разделе о конденсаторах с воздушным охлаждением в регионах с преобладающими направлениями ветра.

При проектировании и эксплуатации контура воды следует придерживаться тех же рекомендаций, которые приводились в разделе о контурах с градирней. Соединение холодильных линий должно производиться так же, как и соединение конденсаторов с воздушным охлаждением.

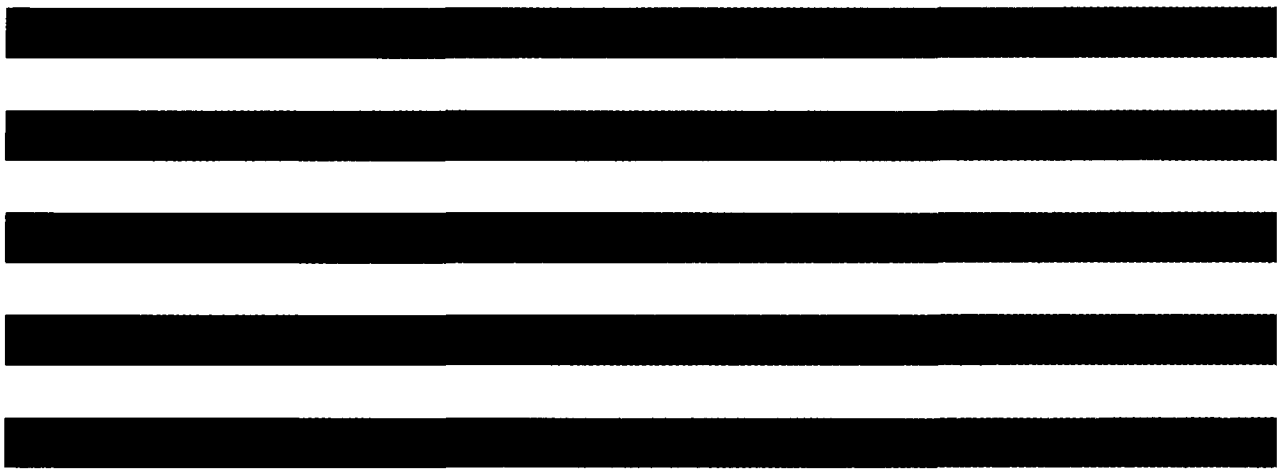
При установке внутри помещения воздуховоды забора и выпуска воздуха должны иметь соответствующий диаметр, позволяющий компенсировать потери давления воздуха и поддержание его расхода на заданном уровне.

Влажность, содержащаяся в нагретом насыщенном воздухе, может конденсироваться на стенках выходного воздуховода, особенно если он проходит через холодные помещения; в этих случаях необходимо предусмотреть системы дренажа конденсируемой воды. В любом случае, при использовании воздуховодов рекомендуется устанавливать высокоэффективные сепараторы капель для того, чтобы свести к минимуму захват капель воды.

Если зимой температура окружающей среды выше нуля, никаких специальных мер на зимний период эксплуатации не требуется.

Контур воды всегда должен иметь внизу отверстие для слива, чтобы обеспечить полное удаление воды из установки при проведении работ по техническому обслуживанию или длительных остановках работы установки.

ГЛАВА 16



Эксплуатация холодильных агентов

Азеотропные и зеотропные агенты 218
Поведение смесей 219
Холодильные агенты, заменяющие R-22 220
Меры по эксплуатации 221
Сбор, регенерация и переработка холодильных агентов 222
Сбор холодильного агента 223
Регенерация холодильного агента 225
Переработка холодильного агента 225
Обнаружение утечек холодильного агента 226
Стационарное мониторинговое оборудование 229
Переносные обнаружители утечек 230

Чистые холодильные агенты, такие как R-12 и R-22, не меняют своего состава при изменении состояния — переходе из жидкого в газообразное и наоборот — в холодильном контуре

За исключением R-134a, являющимся чистым холодильным агентом, в поисках более экологически безопасных холодильных агентов были разработаны различные смеси Они состоят из одного или двух холодильных агентов, смешанных в соответствующей пропорции По своим характеристикам эти смеси подразделяются на азеотропные, квази-азеотропные и зеотропные Поведение холодильных агентов каждой из этих групп отличается друг от друга, что может оказать воздействие на холодильный цикл Рассмотрим эти различия

Азеотропные и зеотропные агенты

— *Азеотропные* Не изменяют заметно ни своего объемного состава, ни температуры насыщения при испарении или конденсации с постоянным давлением На рисунке 16 1 представлена диаграмма показателей нормального холодильного цикла в значениях «давление-теплосодержание» Как испарение, так и конденсация происходят при постоянных значениях давления и температуры

— *Квази-азеотропные* Происходит лишь незначительный «сдвиг» (*glide*) температуры испарения и конденсации при изменении состояния, которое, однако, не имеет заметного влияния на технические параметры, функционирование и безопасность работы установки

— *Зеотропные* Имеют отличные от предыдущих групп характеристики, ввиду того, что температура испарения и конденсации заметно изменяется при изменении состояния хладагента, заметно меняется также объемный состав На диаграмме холодильного цикла на рисунке 16 2 показано изменение характеристик жидкого зеотропного холодильного агента Можно увидеть, что процессы испарения и конденсации протекают при постоянном давлении, но с изменением температуры на определенный показатель «сдвига» (*glide*)

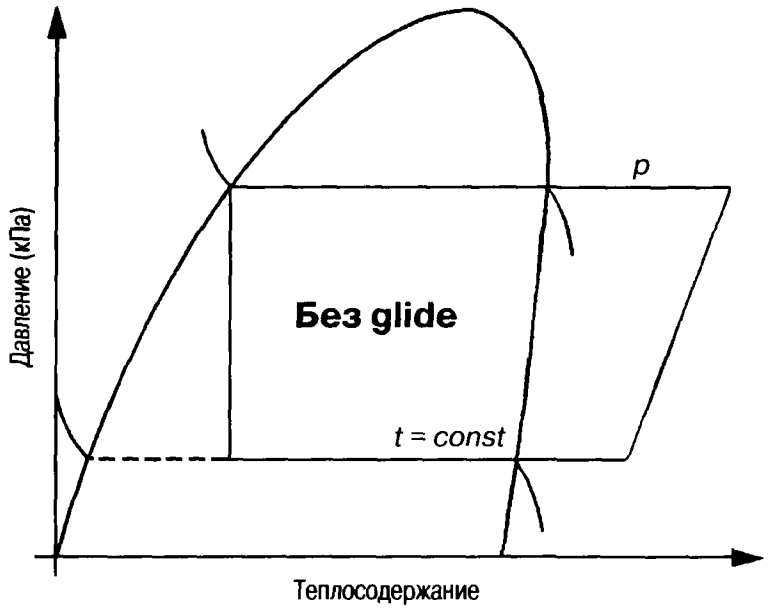


Рисунок 16 1 Диаграмма испарения и конденсации при постоянном давлении и температуре жидкого азеотропного холодильного агента в значениях «давление-теплосодержание»

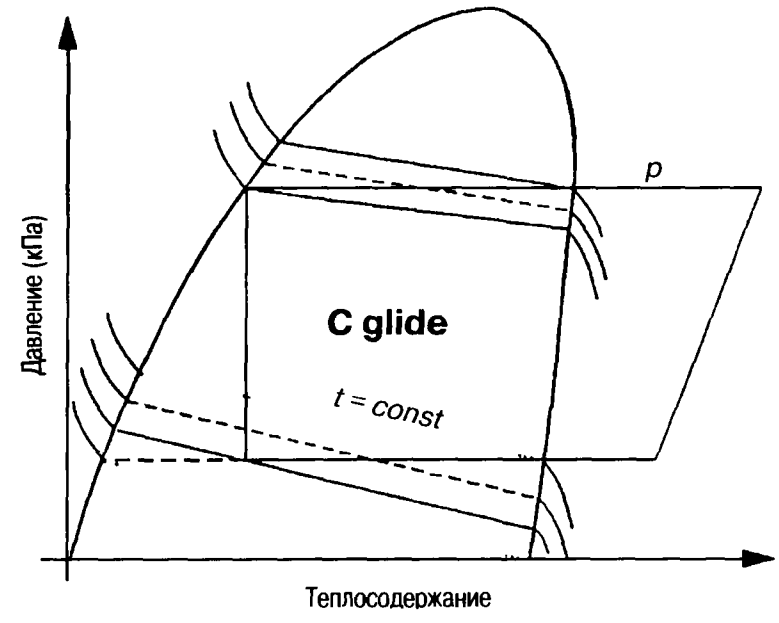


Рисунок 16 2 Диаграмма испарения и конденсации при постоянном давлении и изменяемои температуре жидкого зеотропного холодильного агента в значениях «давление-теплосодержание»

Испарение при постоянном давлении сопровождается изменением температуры холодильного агента, повышающейся с t_{ex} до t_{02}, в то время как при конденсации происходит уменьшение температуры с с t_{c1} до t_{c2} (рисунок 16 3) Термины «температура испарения» и «температура конденсации» следует уточнить, это особенно важно в отношении холодильных агентов с высокими сдвигами температуры, поскольку в теплообменниках происходит заметное изменение температуры Вместе с этим, необходимо заново определить понятия «перегрев» и «переохлаждение» Новые определения необходимо сделать для точного разграничения рабочих показателей с другими типами холодильных агентов, азео-

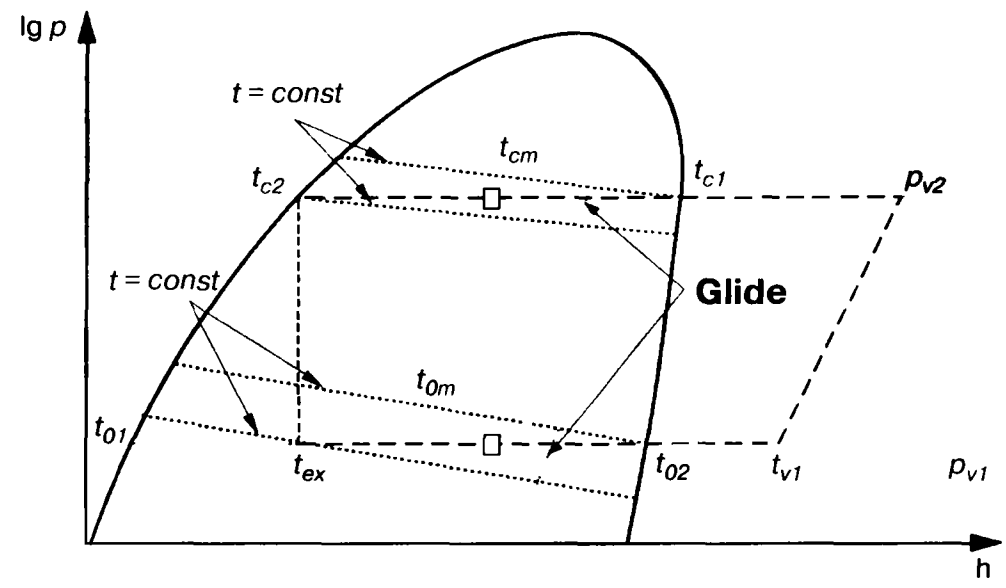
тропных и квази-азеотропных. Температура испарения определяется как средняя температура (t_{0m}) между температурой точки росы (t_{02}) при постоянном давлении всасывания (p_{v1}) и температурой, при которой холодильный агент поступает в испаритель (t_{ex}).

Температура конденсации определяется как средняя температура (t_{cm}) между температурой точки росы (t_{c1}) при постоянном давлении выпуска газа (p_{v2}) и температуры кипения холодильного агента (t_{c2}). Перегрев всасываемого газа, следовательно, определяется как разница значений температуры на входе в компрессор (t_{v1}) и температуры точки росы (t_{02}) холодильного агента при постоянном давлении (p_{v1}). Очень важно, чтобы это определение использовалось при регулировке перегрева терморегулирующего клапана.

Переохлаждение жидкости рассчитывается как разница реальной температуры жидкости и температуры точки кипения (t_{c2}) холодильного агента при давлении выпуска (p_{v2}).

Приведенные выше определения основываются на рекомендациях института ARI, являясь составной частью его программы *Alternative Refrigerants Evaluation Program* (AREP), и в настоящее время используются основными изготовителями компрессоров всех описанных типов.

Очень важно, чтобы особое внимание уделялось регулировке давления. Кроме того, при выборе мощности теплообменников необходимо учитывать влияние на изменение температуры потерь давления холодильного агента: в результате потерь давления значительно увеличиваются изменения температуры в холодильном контуре. Недооценка указанного фактора при расчете энергетического баланса может привести к выбору недостаточно мощных теплообменников и других компонентов контура. Особенно значительно влияние этих явлений на работу установок, работающих на предельно допустимых режимах.



(t_{c1}) Точка росы при конденсации при постоянном значении p_{v2}
(t_{c2}) Точка кипения при конденсации при постоянном значении p_{v2}
(t_{02}) Точка росы при испарении при постоянном значении p_{v1}
(t_{01}) Точка кипения при испарении при постоянном значении p_{v1}
(p_{v1}) Давление испарения
(t_{ex}) Температура после расширения
(t_{cm}) Средняя температура конденсации
(t_{0m}) Средняя температура испарения
(p_{v2}) Давление конденсации
(t_{v1}) Температура всасывания газа при постоянном значении p_{v1}

Рисунок 16.3. Сдвиг температуры зеотропных холодильных агентов в значениях «давление-температура».

Поведение смесей

В состоянии чистой жидкости или чистого пара все смеси, независимо от типа, являются равномерно перемешанными, и их характеристики единообразны на любом участке. Однако, при наличии, как жидкости, так и пара (например, в испарителе, конденсаторе и в ряде случаев в накопителе жидкости) показатели смеси различны и зависят от того, является ли она азеотропной или зеотропной.

В азеотропной смеси процентное содержание жидкости и пара имеет теоретически одни и те же значения; даже при утечке никаких существенных изменений состава остающегося в контуре холодильного агента не происходит. В зеотропных же смесях содержание пара и жидкости имеет неодинаковые показатели при одновременном присутствии этих двух состояний. При утечке из испарителя или конденсатора только парообразной составляющей может возникнуть изменение содержания компонентов в остающемся холодильном агенте, что влечет за собой опасность изменения рабочих характеристик установки, в ряде случаев существенных, с изменением холодильной мощности и потребляемой электроэнергии.

Квази-азеотропные смеси имеют особенности, схожие с зеотропными, однако подобные изменения менее значительны и вызываемые ими последствия могут быть существенно меньшими и почти не сказываться на рабочих характеристиках установки.

В установках, в которых используются зеотропные и квази-зеотропные смеси, состав газа может отличаться от состава жидкости, поэтому необходимо производить заправку установки холодильным агентом в жидком состоянии. Если заправка производится в газообразном состоянии холодильного агента, его состав в жидком состоянии в контуре будет отличаться от состава в баллоне, что является следствием расслоения холодильного агента в баллоне при использовании только парообразной фракции.

Холодильные агенты, заменяющие R-22

В настоящее время наиболее реалистичным путем развития холодильных установок и установок для кондиционирования воздуха является использование ряда холодильных агентов HFC и, в частности, четырех из них.

1. R-134a, рекомендованного для использования в установках с винтовыми компрессорами: это чистый холодильный агент, состоящий только из одного элемента, поэтому он не подвержен сдвигам температуры при изменении физического состояния. К сожалению, он имеет значительно более низкий показатель теплоемкости, чем R-22, и при равной холодильной мощности установки, агрегаты на R-134a должны иметь габариты, на 30–40% превышающие показатели аналогичных агрегатов на R-22 (компрессор с большим объемом цилиндров, трубки большего диаметра и теплообменники с большей площадью поверхности). Более предпочтительными являются перспективы его использования в больших холодильных установках с винтовыми и центробежными компрессорами, в которых обычно использовался R-11 и R-12. В таких случаях R-134a может представлять собой прекрасную замену при низких затратах и проектных усилиях.
2. R-407C: это холодильный агент группы HFC, для которого не требуется переделка установок, ранее работавших на R-22. Однако, являясь зеотропным, он обладает всеми теми недостатками, которые были описаны ранее. В частности, при его использовании имеют место значительные сдвиги температуры — на 5,4°C — к чему следует добавить еще и меньшую эффективность по сравнению с R-22. Как бы то ни было, при использовании этого холодильного агента переналадка установки производится значительно проще, чем с другими холодильными агентами: в случаях, когда его *glide* является приемлемым, R-407C является интересным решением при переходе на холодильные агенты HFC. Там же, где эффект *glide* может оказать большое воздействие на функционирование установок, например, в установках с затопленными или многочисленными испарителями, его использование менее рекомендовано. Кроме того, произвести переналадку установок, функционирующих на R-22 на этот агент сразу невозможно, поскольку все холодильные агенты HFC работают только на полиэстерных типах масла, и их функционирование на минеральном масле невозможно.
3. R-404A: это холодильный агент HFC, не опасный для озонового слоя, состоящий из смеси HFC 125 (44%), HFC 143a (52%) и HFC 134a (4%). Он разработан компанией «Дюпон» и является заменителем R-502 и R-22 при использовании в низкотемпературных режимах, уже получившим хорошие рекомендации как в Америке, так и в Европе. Тем не менее, он не является холодильным агентом типа «drop in» (быстрой замены), поскольку минеральные масла и альхибензин, обычно используемые с R-502 и R-22, являются несовместимыми с R-404A. С этим холодильным агентом могут использоваться только полиэстерные типы масла. Типичными примерами использования R-404A в качестве заменителя в действующих установках и для установок новой конструкции являются холодильные

шкафы в супермаркетах, холодильные камеры, машины для производства льда и в холодильных установках на транспортных средствах. Эффективность R-404A близка к показателям R-502, лишь на 5% уступая им. Сдвиг температуры в конденсаторе меньше 1°С. Поскольку R-404A, как уже говорилось, является смесью, важно производить заправку установок холодильным агентом в жидком состоянии, а не в состоянии пара. Заправка R-404A в состоянии пара может привести к созданию смеси, не соответствующей заданным показателям, и к выходу из строя самой установки. Цилиндры, работающие с R-404A, снабжены трубкой, спускающейся до дна цилиндра, для облегчения удаления холодильного агента при положении цилиндра в верхней точке. Для регулировки потока холодильного агента со стороны линии всасывания должен устанавливаться регулировочный клапан для обеспечения перехода жидкости в парообразное состояние до попадания в холодильный контур.

4. R-410A: также относится к разряду HFC, но с характеристиками квази-азеотропного холодильного агента, в связи с чем обеспечиваются более стабильные рабочие показатели. Этот холодильный агент является смесью R-32 и R-125 и имеет незначительный сдвиг температуры; однако он функционирует при значительно более высоких значениях давления, чем R-22, что обусловливает необходимость изменения проекта линии. Установлено, что R-410A имеет большую эффективность на 5–10%, чем R-22. Ввиду большей плотности, более высоком рабочем давлении и теплообмене, он позволяет использовать менее габаритные компоненты холодильного контура при равной его производительности. Кроме того, по сравнению с R-22 при равных габаритах компонентов установки, обеспечивается значительное повышение, до 50–55%, вырабатываемой холодильной мощности. Следует также добавить, что при работах по техническому обслуживанию со сливом холодильного агента, ввиду функционирования R-410A под высоким давлением, требуется обращать особое внимание на правильное использование баллонов, перекрытие контура, а также на работу самого оборудования для слива и заправки, оно должно быть рассчитано на высокие значения давления рабочих режимов этого холодильного агента. В отличие от R-22, важным условием использования R-410A является необходимость обеспечения его заправки в жидком состоянии (а не в парообразном) для того, чтобы свести к минимуму изменения состава смеси. Пары этого холодильного агента также тяжелее воздуха и поэтому потенциально опасны при их значительном скоплении в закрытых и слабо проветриваемых помещениях. Поэтому при его использовании в таких местах для обеспечения безопасности людей рекомендуется применять оборудование для определения утечек холодильного агента. Естественно, следует также продумать систему вентиляции и обеспечить наличие респираторов. Еще одной отличительной чертой R-410A является его значительное расширение при нагреве или попадании солнечных лучей. Одна из известных фирм-изготовителей рекомендует не допускать повышения температуры выше 52°С в баллонах с R-410A.

Меры по эксплуатации

В одной и той же холодильной установке могут иметься агрегаты с различными холодильными агентами. Это значительно усложняет ведение технического обслуживания в целом, и сбор холодильного агента в частности, поскольку приводит к повышению опасности перекрестного загрязнения различных холодильных агентов между собой, или даже их смешивания (*cross contamination*). Последствия для различных агрегатов установки подобного загрязнения холодильных агентов, даже в виде небольшого количества другого типа холодильного агента, могут быть очень серьезными: снижение энергетической эффективности работы, сокращение ресурса и возрастание числа причин выхода из строя с необходимостью более часто проводить работы по ремонту установок. Кроме того, повышаются и затраты на разделение фракций или утилизацию загрязненного холодильного агента. Поэтому специалисты по техническому обслуживанию, как и ответственные за поддержание рабочего состояния установки, должны предпринимать меры для предупреждения возникновения подобных опасностей. Опыт в данной области свидетельствует о необходимости предпринимать следующие действия:

— Отводить достаточно места под хранение контейнеров с холодильным агентом. В связи с возрастанием количества типов холодильных агентов в настоящее время требуется большее число контейнеров, а следовательно, и отведение больших площадей под их хранение с обеспечением соответствующей системы учета и контроля за использованием. Кроме того, для хранения холодильного агента

одного и того же типа иногда необходимо использовать разные контейнеры для чистого и для загрязненного холодильного агента, даже при направлении контейнеров на сборный пункт утилизации: в контейнере с загрязненным холодильным агентом в любом случае имеются остатки масла, попавшие в него во время слива из контура, и такой контейнер не может использоваться для хранения чистого холодильного агента без предварительной тщательной чистки.

— Использовать различные устройства для сбора, гибкие трубки и цилиндры для каждого холодильного агента в отдельности, использовать идентификационные таблички с указанием типа собранного или переработанного холодильного агента. Если это сделать невозможно, каждый компонент таких устройств следует тщательно очистить от остатков холодильного агента, прежде чем начинать его использование для работ с холодильным агентом другого типа.
— Убедиться, что цилиндры сбора и гибкие соединительные трубки не имеют следов масла или других загрязнений. При сборе холодильного агента в жидком состоянии опасность его загрязнения возрастает в связи с возможным наличием в нем масла.
— Точно установить тип или типы холодильного агента, который должен быть собран. При невозможности определения типа холодильного агента, находящегося в контуре, он может быть установлен по показателям соотношения «температура-давление» путем соответствующих измерений.
— Прежде, чем начать сбор холодильного агента установленного типа, путем проведения химического анализа или проверки соотношения «температура-давление» надо определить, имеются ли в нем загрязнения. При совпадении величины с установочными значениями указанного соотношения холодильный агент, скорее всего, является чистым. И наоборот, если величины, полученные в результате измерений, отличаются от заданных (то есть при определенной температуре величина давления не соответствует норме), имеется высокая вероятность, что холодильный агент загрязнен.
— При необходимости перепрофилировать контур холодильной установки или установки для кондиционирования воздуха на использование нового холодильного агента, кроме удаления старого агента, необходимо полностью слить и имеющееся в контуре масло, чтобы не допустить загрязнения нового холодильного агента.
— Регулярно производить техническое обслуживание оборудования для сбора и переработки холодильного агента, следуя рекомендациям изготовителя. В настоящее время в основном используется два типа такого оборудования: с компрессором на масляной смазке и с компрессором без использования смазки. Использование устройств первого типа позволяет более быстро производить сбор, однако в отношении него требуются особые меры предосторожности при переходе с одного холодильного агента на другой в связи с возможностью загрязнения масла. В моделях, не имеющих смазки, подобной проблемы не возникает, однако они позволяют производить работы заметно медленнее. Замена фильтра-осушителя на устройстве по сбору является обязательной операцией по истечении определенного количества часов эксплуатации, либо после переработки определенного количества холодильного агента в зависимости от установочных данных изготовителя. В случае сбора холодильного агента из контура, где сгорел компрессор, фильтр следует сменить сразу же по окончании работ.

Сбор, регенерация и переработка холодильных агентов

Ответственный за ведение технического обслуживания должен хорошо разбираться в сборе, регенерации и переработке холодильного агента. Каждый из этих терминов соответствует особой операции, ставшей насущной необходимостью при обслуживании контуров холодильных установок и установок для кондиционирования воздуха в связи с принятием новых законов и нормативных документов, запрещающих выброс холодильных агентов в атмосферу.

Необходимость удаления (сбора) холодильного агента из установки или агрегата может возникнуть в силу следующих причин:

1) сгорание компрессора;
2) демонтаж агрегата в связи с его заменой. В этом случае прежде, чем сдавать агрегат в утилизацию, необходимо освободить его от холодильного агента;
3) ремонт контура в условиях, не позволяющих обеспечить вывод холодильного агента в конденсатор или накопитель с использованием компрессора.

Для удаления холодильного агента специалист должен изучить состояние холодильного контура и выбрать оптимальную процедуру его проведения. При этом необходимо учитывать различные факторы. За исключением бытовых холодильников, морозильников и небольших кондиционеров воздуха в холодильных контурах могут иметься клапаны Шредера или вспомогательные клапаны, облегчающие проведение операций по сбору.

Сбор холодильного агента

Эта операция заключается в удалении холодильного агента, в каком бы состоянии он ни находился, с накоплением его в соответствующем внешнем контейнере. Ее можно проводить без обязательного анализа состава или обработки холодильного агента. В холодильном агенте может находиться воздух, кислоты, вода, примеси других холодильных агентов или твердые частицы, появившиеся в результате сгорания двигателя. Такой холодильный агент не должен ни при каких условиях использоваться в другом контуре, если не будет переработан или очищен в соответствии с нормативом ARI 700. В то же время, он может быть снова использован в том же холодильном контуре, если его состояние делает такое использование возможным.

Для сбора холодильного агента используют два основных метода:

1) сбор в состоянии пара;
2) сбор в состоянии жидкости.

Второй способ позволяет производить сбор за меньшее время. Оба способа требуют использования соответствующих устройств для сбора. Для агрегатов малой и средней мощности могут использоваться переносные устройства.

Схема сбора парообразного холодильного агента показана на рисунке 16.4. Сбор холодильного агента производится примерно так же, как и удаление его из контура с использованием вакуумного насоса. Естественно, что отдельные операции выполняются по-разному в зависимости от конструкции устройства для сбора. По существу, речь идет о соединении посредством гибкой трубки всасывающего штуцера устройства с клапаном Шредера со стороны низкого давления установки и соединении выпускного штуцера с контейнером для сбора. На входе установлен фильтр-осушитель, который должен заменяться через определенные промежутки времени при каждой смене холодильного агента. Процесс сбора начинается с запуска установки, в то время как агрегат, с которого производится сбор, естественно, остается выключенным. Когда процесс завершен, загорается сигнальная лампочка, и устройство по сбору может быть выключено. Отключение производится вручную или в автоматическом режиме в зависимости от конструкции устройства; затем перекрывается клапан на линии всасывания. После этого, как правило, на несколько минут следует сделать паузу и убедиться, что давление в холодильном контуре не повышается. Если такое повышение превышает определенный порог, в том числе с учетом типа холодильного агента, это означает, что в контуре имеются остатки жидкости, и процесс удаления холодильного агента следует возобновить.

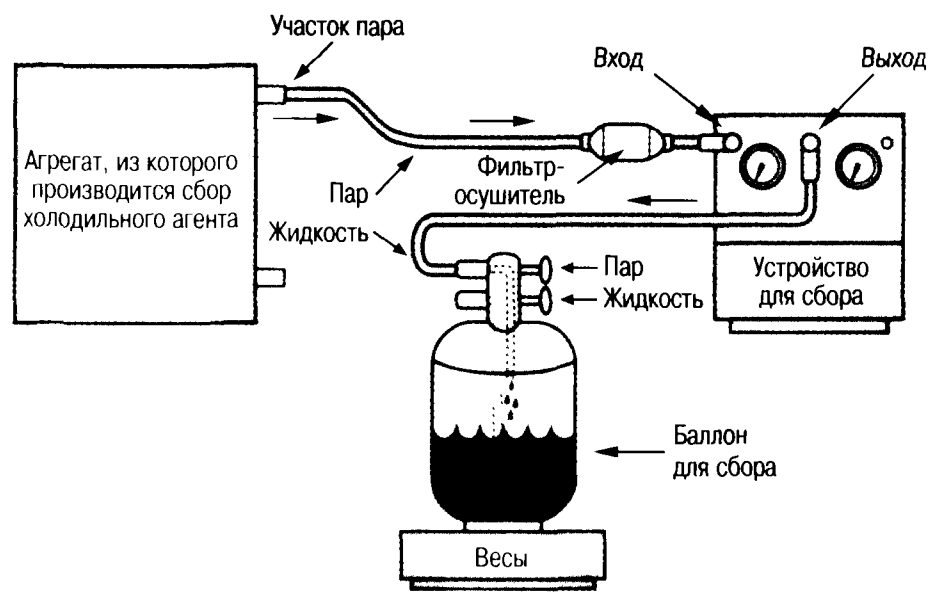


Рисунок 16.4. Сбор парообразного холодильного агента из агрегата холодильной установки или установки для кондиционирования воздуха.

Сбор холодильного агента в жидком состоянии производится быстрее, и для его проведения требуется не только специальное устройство по сбору, но и специальная схема подсоединения, как это показано рисунке 16.5. Баллон для сбора холодильного агента должен иметь два штуцера, один для жидкости, другой для пара.

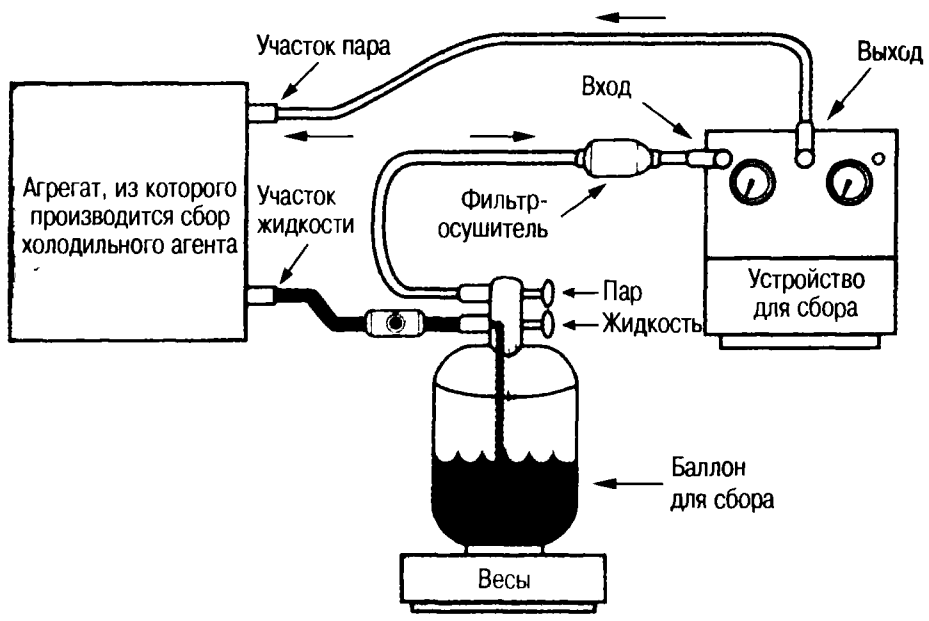


Рисунок 16.5. Сбор жидкого холодильного агента из агрегата холодильной установки или установки для кондиционирования воздуха.

Устройством для сбора обеспечивается накачивание парообразного холодильного агента через верхнюю часть баллона на участке низкого давления агрегата, создавая вакуум в его контуре. В результате разницы давлений между баллоном и агрегатом происходит перекачивание жидкого холодильного агента в баллон. После того, как вся жидкость удалена, производится удаление остающегося пара путем изменения схемы подсоединений.

В контуре, в котором имело место сгорание компрессора, масло следует обязательно заменить. Фильтр-осушитель заменяется также, если тип собираемого холодильного агента отличается от ранее перерабатывавшегося, или когда производилась работа с маслом, загрязненным остатками подгорания после сгорания компрессора. Наконец, следует сказать, что баллон может быть заполнен холодильным агентом только на 80% своего объема, необходимо чтобы при проведении операции по сбору специалист следил за этим показателем: баллон никогда не следует слишком сильно заполнять холодильным агентом.

На рынке имеются различные типы устройств для сбора холодильного агента, в некоторых из них имеется и баллон для сбора. Регулировка и управление работой устройства могут осуществляться различными способами, в том числе ввиду наличия электронных систем на микропроцессорах, позволяющих производить работы с холодильным агентом с установкой рабочих значений, обеспечивающих полностью автоматический режим функционирования. На рисунке 16.6 показано переносное устройство, рассчитанное на переработку холодильных агентов CFC, HCFC и HFC, функционирующее, по утверждению изготовителей, в три раза быстрее нормативов благодаря использованию особой технологии (*tank precooling*), обеспечивающей поддержание низкой температуры в баллоне, осуществляемое в автоматическом режиме.

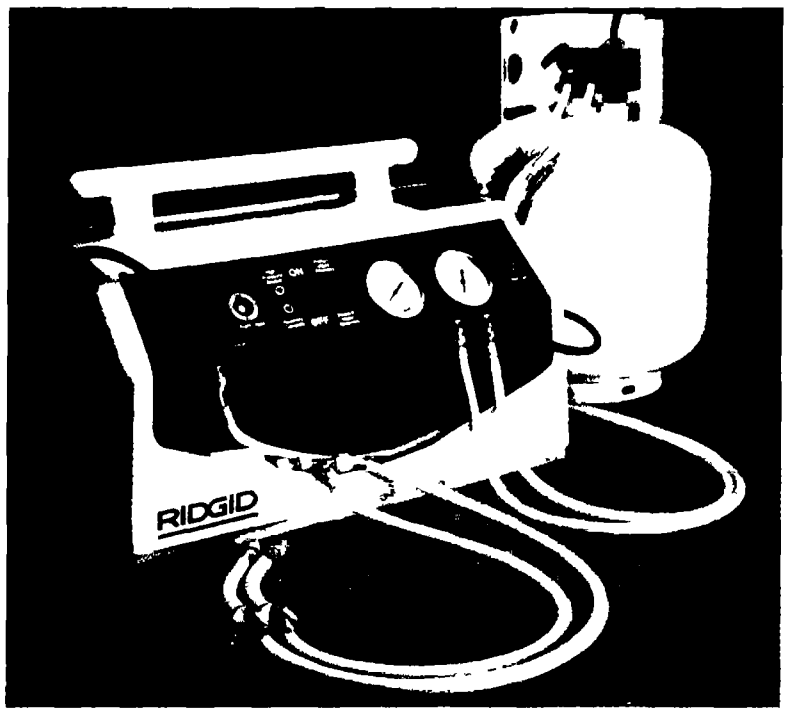
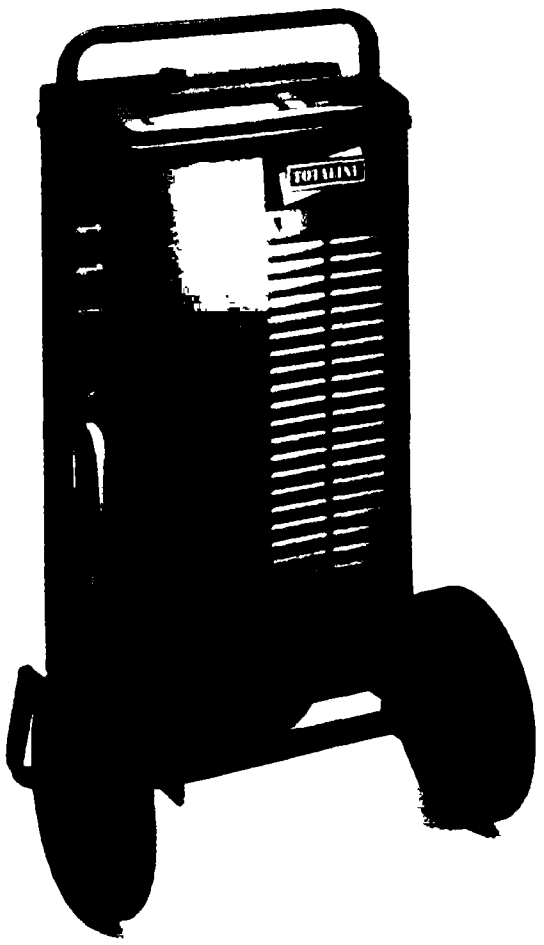


Рисунок 16.6. Переносное устройство для ускоренного сбора холодильного агента, в котором используется современное оборудование для охлаждения контейнера.

Регенерация холодильного агента

При регенерации, кроме сбора, производится очистка холодильного агента для снижения уровня его загрязнения. Понятно, что этим не достигается доведение холодильного агента до состояния его первичной чистоты, а лишь производится некоторая его очистка. Этот процесс производится путем отделения масла и фильтрации самого холодильного агента через фильтры-осушители.



Устройства для регенерации оснащены системами программирования, позволяющими задавать тип перерабатываемого холодильного агента: R-12, R-22, R-500 и R-502 или R-134a. Большинство таких устройств способны производить продувку (pump-down) установки и накапливать холодильный агент в баллоне, который иногда входит в их комплектацию. Затем холодильный агент можно вновь использовать в этом же контуре с более высокими показателями его чистоты. В зависимости от модели, некоторые устройства для регенерации могут производить операции по отделению масла или выделению кислот из холодильного агента. Эти устройства обычно оснащены гильзовыми фильтрами-осушителями, обеспечивающими удержание влаги, загрязнений, металлической стружки и кислот. Отделение масла производится посредством одного или нескольких прохождений его через устройство для регенерации. С этой точки зрения, функционирование устройств по регенерации может быть рассчитано на один или несколько циклов прогона масла. На рисунке 16.7 показано устройство для сбора и регенерации, имеющее функции анализа и очистки холодильного агента, а также отделения масла.

Рисунок 16.7. Устройство для сбора и регенерации холодильного агента, обеспечивающее широкий спектр операций по его очистке.

Переработка холодильного агента

Переработка холодильного агента позволяет восстановить его рабочие показатели на уровне заданных при изготовлении, что определяется путем проведения химического анализа. Для обеспечения восстановления характеристик холодильного агента, устройство по переработке должно обеспечивать удержание 100% содержащихся в нем влаги и масла.

Многие модели устройств по сбору-переработке этого не обеспечивают, поэтому их вряд ли можно с полной уверенностью относить к разряду устройств для переработки. На практике, для восстановления начальных параметров чистоты холодильного агента устройство по переработке должно обеспечивать отделение масла, выделение кислот, частиц твердых засорений, влаги и воздуха.

Во время функционирования контура холодильный агент загружается и попадает в устройство в виде пара или жидкости, подвергаясь, следовательно, кипению при высокой температуре и воздействию давления. Затем холодильный агент поступает в сепаратор, где скорость его движения заметно снижается: это приводит к поднятию вверх сильно разогретого пара, в то время как частицы загрязнений падают на дно сепаратора, откуда удаляются на определенном этапе процесса. Очищенный пар поступает в конденсатор с воздушных охлаждением и переходит в состояние жидкости; затем он попадает в одну или несколько камер охлаждения, где происходит его переохлаждение со снижением температуры до 3–4°C. Остаточная влажность и микроскопические частицы загрязнений удаляются фильтром. Охлаждение холодильного агента облегчает его перелив во внешний баллон.

Эксплуатация холодильных агентов является одной из новых проблем, встающих перед персоналом, ведущим техническое обслуживание, осложненной тем фактом, что в отношении зеотропных смесей при их утечках из конденсатора или испарителя возникает опасность изменения характеристик и поведения самих смесей, что приводит к изменению рабочих установок.

Сильно загрязненные холодильные агенты часто могут проходить утилизацию только в специальных центрах сбора, либо, в зависимости от степени загрязнения, должны уничтожаться. Выброс в атмосферу запрещается и в отношении холодильных агентов HFC: несмотря на то, что они не оказывают вредного воздействия на озоновый слой атмосферы, они способствуют созданию парникового эффекта в связи с их показателем GWP (*Global Warming Potential*).

Необходимость сбора, регенерации и переработки все чаще возникает во всех видах холодильных установок и установок для кондиционирования воздуха, и специалисты по техническому обслуживанию должны уделять этому вопросу значительное внимание. В том, что касается устройств для сбора или регенерации холодильных агентов, которые еще мало распространены в России, они должны стать обязательным элементом штатного оборудования не только специальных сервисных служб, но и самих конечных пользователей при наличии у них более или менее значительного парка оборудования.

Обнаружение утечек холодильного агента

Проверка наличия утечек холодильного агента из холодильного контура имеет первостепенное значение как для обеспечения защиты окружающей среды и обслуживающего персонала установки, так и для продления рабочего ресурса агрегатов. Для обеспечения безопасности в закрытых помещениях возможно попадающие в атмосферу объемы холодильных агентов должны смешиваться с достаточными объемами воздуха путем обеспечения механической вентиляции.

Организацией ASHRAE установлен норматив ANSI/ASHRAE Standard 15 —1994 *Нормы обеспечения безопасности в механических холодильных установках* и норматив ANSI/ASHRAE Standard 34—1992 *Цифровая нумерация холодильных агентов и обеспечение безопасности при работе с ними*. Этими нормативами вводятся шесть категорий холодильных агентов в зависимости от их токсичности и невоспламенимости, и устанавливаются уровни мониторинга наличия утечек холодильного агента в машинном зале.

В последней редакции Standard 15 ASHRAE устанавливается, что «каждый машинный зал, представляющий собой закрытое помещение, должен быть оснащен устройством для обнаружения утечек, установленным в месте возможного скопления холодильного агента в случае его утечки из установки. Устройство должно обеспечивать срабатывание сигнала тревоги и запуск системы механической вентиляции [...] при достижении концентрации, не превышающей соответствующий показатель TLV-TWA (или значения показателя токсичности)».

Кроме того, нормативом предписывается изоляция всех агрегатов, работающих на топливе с открытым пламенем (например, котлов), от оборудования, содержащего холодильные агенты, если в помещении не будет установлен определитель наличия паров холодильного агента, способный автоматически остановить работу агрегата, работающего на топливе, при обнаружении утечек холодильного агента.

Показатель TLV-TWA (*Threshold Limit Value-Time Weighted Average*, то есть предельный показатель среднего значения весового порога в единицу времени) определяет максимальный уровень наличия паров, воздействию которых может быть в среднем подвержен человек в течение 8-часового рабочего дня при 40-часовой рабочей неделе.

Целью хранения холодильного агента является как можно быстрая блокировка какой бы то ни было утечки из контура. Поэтому понятно, что ответственный за техническое обслуживание должен заранее владеть информацией о целях мониторинга, чтобы правильно выбрать соответствующий метод определения наличия утечки, каждый из которых имеет свои показатели чувствительности, избирательности и скорости реакции.

Двумя наиболее распространенными сегодня методами ведения мониторинга утечек холодильного агента являются IR (с использованием инфракрасного излучения) и CMOS (с полупроводником на оксиде металлокерамики); первый основан на поглощении молекулой холодильного агента определенной длины волны инфракрасного спектра, второй — на изменении проводимости оксидов металлов при контакте с газообразным холодильным агентом. Факторами оценки той или иной технологии являются избирательность, чувствительность и скорость реакции: необходимо находить правильное соотношение этих факторов и соответствующей цены оборудования. Между двумя перечисленными ме-

тодами существуют существенные отличия характеристик, однако при их правильном применении, каждый имеет свои определенные преимущества (таблица 16.1).

Таблица 16.1. Сравнение характеристик двух основных способов обнаружения утечек холодильного агента.

Показатель	IR	CMOS
Постоянность	Да	Да
Чувствительность	1–100 ppm	20–30 ppm для HCFC 30–40 ppm для HFC 40–100 ppm для CFC
Избирательность	Избирательный	Неизбирательный
Стабильность	Да	Да
Скорость определения	30–60 с	60–90 с
Стоимость	Высокая (4000–7000 $)	Низкая (2000–4000 $)
Надзор	Средний	Малый

Таблица 16.2. Классификация холодильных агентов организацией ASHRAE.

№ ASHRAE	Изготовитель	Состав	Весовой состав (%)	Класс безопасности*	Заменяет холодильный агент	Цвет баллона
22	Allied Signal, Dupont, другие	Чистый состав	CHF_2CL	A1	–	Светло-зеленый
123	Dupont	Чистый состав	$C_2HF_3CL_2$	B2	–	Серый-св синий
134a	Dupont, Allied Signal, ICI, другие	Чистый состав	CF_3CH_2F	A1	–	Св синий
401A	Dupont MP39	R-22 R-152a R-124	53/13/3	A1/A1	R-12	Светло-красный
401B	Dupont MP66	R-22 R-152a R-124	61/11/28	A1/A1	R-12	Желто-коричневый
401C	Dupont MP52	R-22 R-152a R-124	33/15/52	A1/A1	R-12	Сине-зеленый
402A	Dupont HP80	R-125 R-290 R-22	60/2/38	A1/A1	R-502	Светло-коричневый
402B	Dupont HP81	R-125 R-290 R-22	38/2/60	A1/A1	R-502	Коричнево-зеленый
403A	Rhone-Poulenc 69S	R-290 R-22 R-218	5/75/20	A1/A1	R-402	–
404A	Dupont HP62	R-125 R-143a R-134a	44/52/4	A1/A1	R-502	Оранжевый

Продолжение на следующей странице

Таблица 16.2. (продолжение)

№ ASHRAE	Изготовитель	Состав	Весовой состав (%)	Класс безопасности*	Заменяет холодильный агент	Цвет баллона
405A	Greencool G2015	R-22 R-152a R-142b R-C318	5/7/5,5/42,5	A1/A1	R-12	–
406A	Monroe Air Tech GHG-12	R-22 R-600a R-142b	55/4/41	A1/A2	R-12	–
407A	ICI Klea	R-32 R-125 R-134a	20/40/40	A1/A1	R-22	Лимонно-зеленый
407B	ICI Klea 61	R-32 R-125 R-134a	10/70/20	A1/A1	R-22	Кремовый
407C	Dupont AC9000 ICI Klea 66	R-32 R-125 R-134a	23/25/52	A1/A1	R-22	Средне-коричневый
408A	Atochem FX56	R-125 R-143a R-22	7/46/47	A1/A1	R-502	Средне-красный
409A	Atochem FX10	R-22 R-124 R-142b	60/25/15	A1/A1	R-12	Средне-коричневый
410A	Allied Signal AZ20	R-32 R-125	50/50	A1/A1	R-22	Розовый
410B	Dupont AC9100	R-32 R-125	45/55	A1/A1	R-22	Красно-коричневый
441A	Greencool G2018A	R-1270 R-22 R-152a	1,5/87,5/11	A1/A2	R-22	–
411B	Greencool G2018B	R-1270 R-22 R-152a	3/94/3	A1/A1	R-502	–
412A	ICI Arcton TP5R	R-22 R-218 R-142b	70/5/25	A1/A2	–	–
413A	Rhone-Poulenc	R-218 R-134a R-600a	9/88/3	A1/A2	R-12	–
507	Allied Signal AZ50	R-125 R-143a	50/50	A1	R-502/22	Сине-зеленый
508	ICI Klea 5R3	R-23 R-116	39/61	A1	R-503	–
509	ICI Arcton TP5R2	R-22 R-128	44/56	A1	–	–

* Класс безопасности согласно нормативу ASHRAE-34

A1 Низкая токсичность, невоспламеним,

A2 Низкая токсичность, воспламеним в баллонах <260 psig,

A3 Повышенная токсичность, невоспламеним

Чувствительность. Оба метода обеспечивают хорошую чувствительность, соответствующую требованиям безопасности, предусматривающим подачу сигнала тревоги, на пульт управления и включение вентиляции при достижении показателя TLV-TWA. Обычно, чувствительность приборов составляет 1000 ppm для холодильных агентов Группы A1 (R-11, R-12, R-22, R-134a и азеотропных) (таблица 16.2).

Тем не менее, необходимо учитывать, что речь идет не о единовременных, а о средних показателях воздействия за 8-часовой период. При установке сигнала тревоги его калибровка должна превышать показатель TLV-TWA не более, чем в 3–5 раз.

Минимальные показатели чувствительности лучших устройств IR колеблются от 1 до 5 ppm, в то время как у оборудования CMOS этот показатель составляет от 20 до 30 ppm для холодильных агентов HCFC или HFC и от 40 до 50 ppm для CFC наиболее распространенных типов. Важно учитывать, что 1 кг холодильного агента при испарении занимает объем примерно в 100 литров; при использовании смеси в идеальном состоянии без примесей ее концентрация в помещении с объемом 850–1100 м^3 возрастет примерно на 100 ppm.

Избирательность. Вторым важным показателем этих устройств является избирательность, которая заключается в способности устройства распознавать различные типы холодильных агентов. Технология IR может быть высоко избирательной, тогда как CMOS обычно считается неизбирательной. С другой стороны, необходимо учитывать, что не все устройства IR обладают высокой избирательностью.

Когда в машинном зале используется только один холодильный агент и нет опасности попадания паров другого, фактор избирательности не играет никакой роли. То же самое можно сказать и о случае использования двух холодильных агентов, входящих в группу A1, и целью мониторинга является только обеспечение безопасности труда обслуживающего персонала. В то же время, фактор селективности может иметь жизненно важное значение, когда в оборудовании машинного зала используются как холодильные агенты группы A1, так и принадлежащие к другим группам, или содержащие летучие алоуглероды или углеводороды. Если используются определители утечек с несколькими расположенными в разных местах датчиками, возможность произвести разграничение источников утечек понижает значение избирательности даже при наличии двух и более холодильных агентов.

Скорость реакции. Третьим основным элементов оценки оборудования является скорость реакции и количество датчиков или точек забора данных. Положительный опыт показывает, что необходимо устанавливать датчик или точку забора данных на каждые 500–1000 м^3 объема помещения, на один датчик или точку забора данных меньше общего количества холодильных групп, расположенных в помещении.

Датчики обычно располагаются на высоте 0,5–0,6 м от пола, поскольку холодильные агенты обычно скапливаются у поверхности; их следует помещать на низких участках, для обеспечения безопасности, или рядом с возможными источниками утечек холодильного агента, в целях обеспечения лучших условий хранения.

Стационарное мониторинговое оборудование

Основными реквизитами стационарного оборудование для мониторинга утечек холодильного агента являются:

1) постоянный режим функционирования без дополнительного наблюдения на протяжении периода эксплуатации в 3,6 или 12 месяцев;
2) дисплей с выводом на него данных о концентрации холодильного агента в атмосфере. При уровне концентрации 100 ppm может возникнуть необходимость только в поиске места утечки, тогда как при уровне 1000 ppm необходимо обеспечить срочную эвакуацию персонала из помещения;
3) способность автономного функционирования или функционирования в сети с другими системами контроля в нежилом помещении;
4) способность быстрой подачи команды на срабатывание различных систем при возникновении опасности (например, открытие одного из клапанов, запуск вентилятора, или включение визуальных или акустических сигналов тревоги).

Если устройство используется для целей безопасности, оно должно быть рассчитано на различные уровни опасности в соответствии с нормами TLV-TWA и другими предельными показателями, предусмотренными соответствующими нормативами. Важно, чтобы аппараты имели систему самокалибровки, позволяющую обнаружить и отразить даже малые утечки.

Оба метода обнаружения утечек (IR и CMOS) имеют некоторые уровни «допусков», связанные с погрешностями датчиков, вследствие которых подается сигнал о наличии утечки даже в помещении полностью лишенным наличия газа; обычно, подобные показания имеют очень малое значение, до нескольких ppm. Кроме того, оба упомянутых метода в некоторой степени чувствительны к изменениям температуры, давления или влажности. Для нейтрализации этого воздействия используются различные технологические приемы самокалибровки (установки на ноль), направленные на то, чтобы снизить значение появляющегося допуска и соответствующих сигналов посредством изменения электронным способом сигналов преобразователя. На рисунке 16.8 показано стационарное устройство для обнаружения утечек всех видов холодильных агентов.

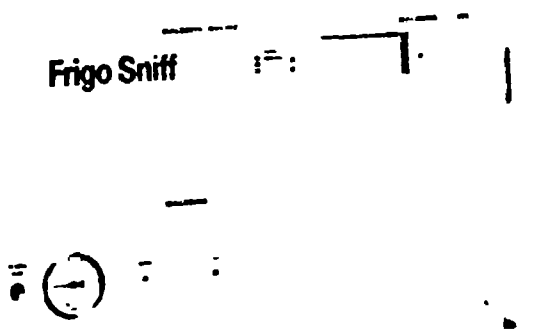


Рисунок 16.8. Высокочувствительное стационарное устройство для обнаружения утечек холодильных агентов, способное определять наличие утечек холодильных агентов типа CFC, HCFC и HFC.

Переносные обнаружители утечек

Чаще всего в качестве переносных устройствах для обнаружения утечек используются пропановые лампы, флуоресцентные обнаружители и электронные датчики

Пропановая лампа. Это лампа, действующая на пропане, которая для горения всасывает воздух через гибкую резиновую трубку. Поскольку при наличии в воздухе холодильного агента цвет пламени изменяется, достаточно провести заборник трубки по компонентам контура, чтобы установить место, в котором пламя приобретает зеленый цвет. Этот метод является достаточно точным, простым и быстрым в применении, но, естественно, не может использоваться при наличии воспламеняющихся веществ и является опасным при больших утечках, поскольку может привести к отравлению оператора продуктами горения.

Флуоресцентные обнаружители. Метод основан на добавлении флуоресцирующей присадки, добавляемой в незначительных количествах в холодильный контур. При помощи переносной лампы ультрафиолетового излучения (рисунок 16.9) можно установить участок утечки по четкой и локализованной флуоресценции (рисунок 16.10). Чувствительность обнаружителя очень высока и позволяет установить наличие утечки объемом всего



Рисунок 16.9. Лампа ультрафиолетового излучения для обнаружения утечек холодильного агента в контуре.

лишь 7 г/год. Присадка смешивается не с холодильным агентом, а с маслом системы смазки компрессора, благодаря чему происходит ее распределение по контуру. Вследствие этого одним из преимуществ этого метода является возможность определения наличия утечки даже при незагруженном холодильном контуре. Кроме того, он позволяет визуально оценить объемные показатели утечки, что помогает правильно спланировать необходимые в таком случае действия. Недостатком системы является сложность в обеспечении полной очистки флуоресцирующего участка после произведения ремонта для предотвращения возможных ложных сигналов тревоги.

Электронные обнаружители. Принцип их функционирования может основываться на изменении силы тока вследствие ионизации холодильного агента при его разложении между двумя электродами с противоположными зарядами. Эти обнаружители утечек обеспечивают значительную надежность поиска, поскольку их датчики, подключенные к насосу, способны обнаружить даже самые незначительные утечки любого типа холодильного агента. Однако их не рекомендуется использовать при наличии паров воспламенимых веществ, а также приводящих к искажению показателей паров монооксида углерода.

Электронные обнаружители утечек на ультразвуке улавливают высокочастотный звук, издаваемый при прохождении газа через щель утечки, трансформируя его в звук низкой частоты, различаемый ухом человека (рисунок 16.11). Подобные устройства прекрасно функционируют даже при высоких концентрациях газа, однако на эффективность их работы могут влиять посторонние шумы.

Рисунок 16.10. Участки флуоресцентного свечения, возникающего в местах утечек холодильного агента из холодильного контура при облучении лампои ультрафиолетового излучения; в холодильный контур добавляется специальная присадка, вызывающая флуоресценцию

Рисунок 16.11. Ультразвуковой обнаружитель утечек холодильного агента: имеется гнездо для подключения наушников, используемых специалистом, производящим поиск утечек.

ГЛАВА 17



Переналадка имеющегося холодильного оборудования

Конверсия оборудования 233
Сохранение холодильного агента 234
Замена оборудования 235
Выбор правильных решений 236

Огромное число установок, работающих в разных странах мира на CFC и HCFC, создает немало проблем владельцам и специалистам по техническому обслуживанию: главное — заранее предвидеть возникновение этих проблем для того, чтобы при любых условиях обеспечить эффективную эксплуатацию с соблюдением нормативов по охране окружающей среды.

В настоящее время существует три способа эксплуатации установок на CFC и HCFC, выбор одного из которых зависит от условий эксплуатации и состояния парка оборудования:

1) конверсия;
2) консервация;
3) замена.

Необходимо правильно представлять, к чему может привести каждый из способов и при каких условиях следует отдать предпочтение каждому из них.

Конверсия. Заключается в перепрофилировании существующих холодильных агрегатов, работающих на CFC и HCFC на использование природосберегающих холодильных агентов, таких как R-407C или R-134a, в зависимости от конкретного случая.

Консервация. Заключается в сохранении (консервации) в контуре установки существующих холодильных агентов CFC или HCFC в таком количестве, чтобы обеспечить полную выработку ресурса установки.

Замена. Заключается в замене агрегатов, функционирующих на CFC или HCFC, на другие, спроектированные на использование неопасных холодильных агентов.

Особенно в больших установках, все три типа операций могут применяться одновременно с учетом срока функционирования агрегатов, их состояния и соответствия установленным показателям эксплуатации.

В других случаях, в установках малой и средней мощности, приходится каждый раз решать вопрос о выборе правильной стратегии, которая учитывала бы как проблему понижения затрат, так и достижения более высоких производственных показателей.

Конверсия оборудования

При использовании относительно новых агрегатов, имеющих многолетний рабочий ресурс (рисунок 17.1), рекомендуется произвести их конверсию.

Затраты на эту операцию выше, чем на консервацию, но ниже, чем на замену агрегатов. Конверсия сложна по исполнению, поскольку, как уже говорилось, в большинстве случаев природосберегающие холодильные агенты несовместимы с обычными минеральными типами масла, используемыми до настоящего времени при работе с холодильными агентами CFC и HCFC. Тем не менее, уже накоплен достаточно большой практический опыт проведения таких работ, позволяющий достичь удовлетворительных результатов при переналадке оборудования на использование выбранного типа холодильного агента.

Содержащееся в агрегате минеральное масло следует слить и провести промывку установки, лучше даже двукратную или трехкратную, с недельными интервалами, до достижения концентрации минерального масла, остающегося в контуре до показателя ниже 5%. Необходимо заменить старые фильтры-осушители на новые модели, пригодные для использования с HFC, а также ряд менее значительных операций по регулировке.

Основным недостатком конверсии оборудования является снижение производительности или эффективности агрегата, либо сочетание этих факторов, в зависимости от типа нового холодильного агента.

Случается, что в связи с переходом на новый холодильный агент HFC, величина холодильной мощности установки понижается настолько, что ее уже не хватает для обеспечения требуемого режима работы; в этих случаях может потребоваться установка нового агрегата, способного восполнить потери холодильной мощности.

Рисунок 17.1. Холодильная группа с несколькими компрессорами на R-22, выработавшая менее половины своего рабочего ресурса: это кандидат на конверсию на использование холодильного агента HFC.

MISSENARD
QUINT
ENTREPRISE

Поэтому при конверсии агрегата с холодильными агентами типа CFC или HCFC на новый природосберегающий необходимо учесть различные факторы. Надо также иметь в виду, что для доведения операции до конца требуется определенное время: несколько дней, или более того, в течение которых работу установки приходится останавливать. Поэтому рекомендуется производить конверсию вне основного сезона работы.

Сохранение холодильного агента

Сохранение холодильного агента в необходимом его количестве в контуре — наименее дорогостоящее решение, являющееся, в то же время, лишь временным выходом из положения. При консервации холодильного агента необходимо учитывать физиологические или фактические потери, располагая в этой связи соответствующим запасом холодильного агента. Практический опыт показывает, что годовые потери холодильного агента в холодильной установке составляют 5–10% от общего используемого объема. Следовательно, необходимо обеспечить запас с учетом этого показателя и планируемого количества лет функционирования холодильной установки, предусмотрев также некоторый его дополни-

тельный резерв. В зависимости от степени консервации установки можно разработать план мероприятий по сведению к минимуму возможных утечек для того, чтобы их количество было значительно меньшим, чем при нормальной работе, до 1—3%, если условия это позволяют. Естественно, что по окончании рабочего ресурса агрегата весь объем используемого холодильного агента должен быть собран и сдан в соответствующие центры переработки/утилизации.

Замена оборудования

Выбор замены агрегата, хотя и является наиболее дорогостоящим на начальной стадии решением, тем не менее, имеет радикальный характер и большие преимущества в долгосрочном плане. Его рекомендуется делать, когда оборудование достигло предельного срока эксплуатации (рисунок 17.2). При сроке эксплуатации около 17 лет (смотри следующий раздел) замена оборудования — это единственное приемлемое решение. Действительно, когда агрегаты вырабатывают свой ресурс, прогрессивный рост количества неисправностей и связанных с этим остановок в работе делают нерациональным ни сохранение холодильных агентов CFC или HCFC, ни конверсию на использование природосберегающих холодильных агентов. В этих условиях агрегат работает под постоянным риском выхода из строя и остаточный ресурс является незначительным.

С другой стороны, не стоит думать, что, просто приняв решение о приобретении нового агрегата, проблема решается полностью: необходимо определить технологический цикл (особенно в том, что касается использования компрессора и холодильного агента) в зависимости от имеющихся показателей производительности и имеющихся потребностей производства, решить вопросы с габаритами, влиянием на окружающую среду и ценой на оборудование. Выбор холодильного агента также является сложным вопросом при переходе на использование нового оборудования. Если исключить R-22 в связи с законодательством, действующим в этой области, остаются только три холодильных агента HFC (для установок по кондиционированию воздуха): R-407C, R-134a и R-410A, о которых мы уже говорили.

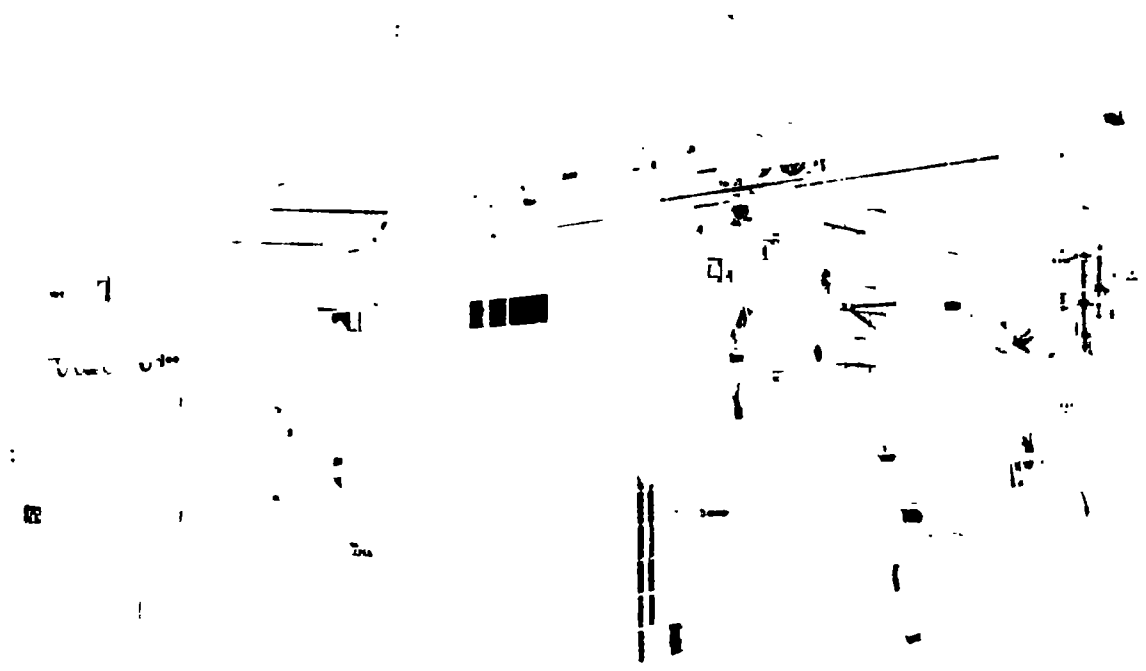


Рисунок 17.2. Холодильные группы на R-22 с почти выработанным рабочим ресурсом: рекомендуется произвести замену оборудования на новые агрегаты, рассчитанные на использование холодильных агентов HFC

Выбор правильных решений

При выборе одного из решений (конверсия, консервация, замена) необходимо учитывать различные факторы. В общем плане многое определяется возрастом агрегата и его состоянием (Напомним, что, по оценкам ASHRAE, предусмотренный период эксплуатации водоохлаждаемой холодильной установки составляет 20 лет при использовании поршневого компрессора и 23 года при использовании центробежного). На основании этих данных можно принять одно из перечисленных ниже решений.

Возраст агрегата меньше половины предусмотренного рабочего ресурса (менее 10 лет): конверсия. Агрегаты с таким периодом эксплуатации являются наиболее вероятными кандидатами на проведение конверсии с переходом на новый тип холодильного агента. Они еще относительно новые и находятся в хорошем состоянии, поэтому можно рассчитывать на длительный срок их эксплуатации.

Возраст агрегата равен половине предусмотренного рабочего ресурса (10–12 лет): консервация. К этой категории относятся агрегаты, находящиеся в хорошем состоянии и с периодом эксплуатации, не превышающим половины расчетного ресурса. В отношении таких агрегатов следует произвести работы по уменьшению годовых потерь холодильного агента с доведением этого показателя до 1% его общего объема. Кроме того, следует сделать соответствующий запас холодильного агента. Консервация может производиться, по возможности, в период проведения внеочередных работ по техническому обслуживанию, в случае возникновения такой необходимости.

Возраст агрегата близок к предельным показателям предусмотренного рабочего ресурса (более 17 лет): замена. В отношении агрегатов, срок эксплуатации которых близок к предусмотренному ресурсу, или находящихся в состоянии, требующем их замены, замену необходимо произвести.

Каким бы ни было принимаемое решение, необходимо предусмотреть соответствующие меры на каждом этапе проведения работ. Вот некоторые примеры.

— Потребности в охлаждении помещений постепенно возрастают; после 10–15 лет этот показатель может быть значительно выше, чем в начале эксплуатации. Конверсия или замена агрегата должна производиться с учетом возможного возрастания потребности вырабатываемой холодильной мощности для того, чтобы не подвергаться опасности установить агрегат с недостаточной мощностью.
— Замена агрегата, особенно водоохлаждаемого типа, должна производиться с учетом реально существующего пространства в машинном зале. Речь идет об очень важном условии, которому следует уделять максимум внимания.
— Консервация холодильного агента при больших его объемах связана с необходимостью соблюдения жестких норм безопасности в отношении обслуживающего персонала. Холодильные агенты тяжелее воздуха и в случае утечки скапливаются на нижних уровнях в помещении, вытесняя воздух, что чревато серьезными опасностями для людей.
— Когда решаются вопросы создания запаса холодильного агента, необходимо точно соблюдать рекомендации, приведенные в Главе 16.
— Следует обеспечить разделение холодильных агентов для того, чтобы предотвратить их взаимное загрязнение. Необходимо помнить, что, если в установке используются старые агрегаты на CFC или HCFC и новые на HFC, смазочные масла и соответствующий инструмент следует хранить строго раздельно. С HFC используются полиэстерные типы масла, в то время как с CFC и HCFC — минеральные, хотя вместе с ними могут применяться и полиэстерные масла, которые ни при каких условиях не должны загрязняться минеральными.
— При совместной эксплуатации агрегатов на CFC или HCFC и оборудования на HFC требуется соблюдение строгих норм разделения масла и холодильных агентов, а также предусматривать различные планы ведения технического обслуживания.

ГЛАВА 18

Техническое обслуживание оборудования

Меры по техническому обслуживанию 242
Проверка забора внешнего воздуха 242
Изменение настройки термостата 242
Оптимизированный запуск оборудования 242
Периодическое функционирование вентилятора 243
Регулировка термостата контура горячей воды 243
Меры по доводке 243
Установка клапанов вблизи решеток забора внешнего воздуха 243
Доводка выпускных клапанов и клапанов забора внешнего воздуха 243
Изоляция воздуховодов 244
Герметичность воздуховодов 243
Чистка теплообменников 244
Чистка воздушных контуров 247
Чистка воздуховодов 249
Меры гигиены в рабочих помещениях 251
Чистка установок обработки воздуха 252
Вынос конденсата из батареи охлаждения 253
Неудовлетворительный выбор параметров батареи 253
Загрязнение батареи 254
Неравномерность распределения скорости потока воздуха 254
Общие меры по чистке 254
Очистка градирен и испарительных конденсаторов 255
Легионелла и болезнь легионеров 256
Эксплуатация градирен 257
Система привода вентилятора 258
Техническое обслуживание воздушных фильтров 260
Меры профилактики 260
Утилизация фильтров 261

Через несколько лет после начала эксплуатации в установках для кондиционирования воздуха почти всегда происходит снижение рабочих характеристик по сравнению с характеристиками в начале функционирования. Кроме того, возможно повышение значения требуемой холодильной мощности для кондиционирования воздуха в здании, возможен рост цен на электроэнергию. Со временем возможно появление причин не соответствия характеристик установки требованиям потребителей в отношении создаваемых условий комфорта; некоторые из них, возможно, окажутся среди тех , что перечислены в таблице 18.1 (см. также таблицы 18.2 и 18.3). В этом случае необходимо принять меры по улучшению работы установки для кондиционирования воздуха, уже отработавшей некоторую часть своего ресурса.

Таблица 18.1. Основные причины жалоб на работу оборудования и возможные меры их устранения применительно к аэравлическим установкам.

1) Ощущение спертости воздуха в помещении		
Возможные причины	а)	Недостаток вентиляции с использованием внешнего воздуха
	б)	«Короткие замыкания» воздушных потоков между элементами подачи и забора воздуха, что не позволяет внешнему воздуху поступать в помещение
Пути устранения	а)	Увеличить забор внешнего воздуха в установку
	б)	Увеличить расстояние между элементами подачи и забора воздуха
2) Неприятные запахи в помещении		
Возможные причины	а)	«Короткие замыкания» между устройствами выброса воздуха из туалетов, кухонь и пр и местами забора внешнего воздуха в установку
	б)	Попадание запахов с больших расстояний ввиду доминирующих ветров
	в)	Попадание выхлопных газов автомобилей с улицы
Пути устранения	а)	Переместить или переориентировать раструбы выпуска и забора внешнего воздуха
	б–в)	Установить элемент забора воздуха в другом месте, оценить возможность использования фильтров на активированном угле на линии внешнего воздуха
3) Избыточное давление воздуха в помещении с возникновением потоков воздуха наружу		
Возможные причины	а)	Неправильная регулировка установки с недостаточностью путей выпуска воздуха
	б)	Воздействие доминирующих ветров на забор внешнего воздуха
Пути устранения	а)	Отрегулировать рабочий режим установки, увеличив объем вытяжного воздуха, установить клапаны избыточного давления на ключевых участках здания
	б)	Установить элемент забора воздуха в другом месте
4) Пониженное давление воздуха в помещении с созданием потоков снаружи внутрь		
Эта ситуация является противоположной вышеописанной, но возникает реже, необходимо принять меры, описанные выше, но в обратном ключе		
5) Ощутимое наличие пыли в помещении		
Возможные причины		Низкая эффективность, отсутствие или неправильная установка воздушных фильтров
Пути устранения		Заменить фильтры на более эффективные (предварительно определив характеристики вентилятора), либо, в случае их отсутствия, установить либо правильно переустановить для предотвращения bypass
6) Наличие участков холодного воздуха в помещении		
Возможные причины	а)	Слишком высокая разница температур между воздухом в помещении и воздухом подачи
	б)	Недостаточное давление воздуха относительно пропускной способности распределителя
	в)	Неправильное расположение или направление распределителя или раструба (например: расположены слишком низко, крепление раструба к стене без втулки подачи или кулисы заграждения, распределитель установлен с направляющими, установленными в низком направлении и пр)
Пути устранения	а)	Скорректировать величину разницы температур установки, предварительно проверив, что новые значения позволяют обеспечить требуемый температурный режим
	б)	Открыть клапан распределителя (при его наличии) или поставить новый распределитель с меньшей пропускной способностью
	в)	Соответствующим образом сориентировать положение раструба или распределителя

Продолжение на следующей странице

Таблица 18.1 (продолжение)

7) Появление шумов при функционировании установки

Возможные причины	а)	Режим вентилятора с повышенным уровнем шума
	б)	Появление неисправностей в работе вентилятора
	в)	Источниками шума являются другие компоненты установки, звук через воздуховоды распределяется по помещению
Пути устранения	а)	Проверить, можно ли уменьшить скорость вращения вентиляторов, если снижение давления воздуха не вызывает осложнений в работе установки, или установить шумоглушитель, если связанное с его установкой уменьшение давления воздуха может быть компенсировано повышением скорости вращения вентилятора
	б)	Для обнаружения неисправностей см раздел настоящей главы, посвященный поиску неполадок вентиляторов
	в)	Установить источники возникновения шума и определить возможность изменения положения воздуховода, проходящего через шумный участок либо перемещения или звукоизоляции агрегата, являющегося источником возникновения шума При невозможности применения ни одной из указанных мер произвести звукоизоляцию участка воздуховода с использованием звукопоглощающих щитов, состоящих из одной или двух свинцовых пластин, укрепленных на резиносодержащей основе При необходимости полностью покрыть воздуховод звукопоглощающим материалом В особо сложных случаях установить звукопоглотитель выше участка возникновения шума

Таблица 18.2. Факторы вредного влияния условий функционирования установки на здоровье человека.

Фактор влияния	Показатель	Комментарий
CO_2 – Углекислый газ	Вентиляция относительно количества находящихся людей	< 800 ppm хорошая гигиеничность воздуха > 1000 ppm недостаточная гигиеничность воздуха
CO – монооксид углерода (угарный газ)	Продукты горения Табачный дым Загрязнение извне (выхлопные газы автомобилей)	при 10 ppm возникает повышенная утомляемость, головная боль, возможна слезоточивость
Запахи	Недостаточность вентиляции Особые факторы загрязнения (мхи, композиционные материалы мебели или стройматериалы)	Запахи неустановленной природы могут повышать чувствительность к отдельным их компонентам
Пыль	Табачный дым Загрязненность внешнего воздуха	Средние показатели содержания пыли при нормальных условиях функционирования жилые помещения < 0,1 мг/м^3 офисы 0,1–0,2 мг/м^3 школы > 0,2 мг/м^3
Влажные пятна	Опасность появления биологических источников загрязнения Опасность конденсации влаги	Влажные и поврежденные влажностью материалы, бесспорно, должны быть удалены
Повышенная температура	Недостатки регулировки работы установки или повышенные показатели тепловой производительности	Температура воздуха в помещении должна находиться на уровне комфорта ASHRAE 55-2-1992 или ISO 7730

Таблица 18.3. Основные причины неудовлетворительного функционирования вентиляторов

Недостаточно сильный напор воздуха

Вентилятор	Низкое число оборотов Крыльчатка установлена не по центру заборного раструба Крыльчатка установлена в обратном направлении Обратное направление вращения крыльчатки
Установка	Слишком большие потери в воздушном тракте (ошибки проекта, закрытые клапаны, засоренные фильтры или батареи, потери воздуха в воздуховодах, сужение воздуховодов на участков высокой скорости потока, колено воздуховода расположено слишком близко к вентилятору)

Продолжение на следующей странице

Таблица 18.3 (продолжение)

Слишком сильный напор воздуха		
Вентилятор		Слишком большое число оборотов Крыльчатка установлена в обратном направлении Обратное направление вращения крыльчатки
Установка		Слишком большая мощность системы вентиляции Отсутствие необходимых элементов (сетки, раструбы, распределители, клапаны, фильтры и пр) Наличие обвода (bypass) батарей
Слишком высокое потребление электроэнергии двигателем вентилятора		
Вентилятор		Слишком высокая скорость вращения Крыльчатка установлена в обратном направлении Ошибки в выборе типа вентилятора или его размере, в результате параметры его функционирования не соответствуют требованиям установки
Установка		Слишком большая мощность системы вентиляции Отсутствие необходимых элементов
Слишком высокий уровень шума		
Вентилятор	Трансмиссия	Слабое крепление шкивов на валу Недостаточное натяжение ремней, которые стучат по корпусу Перетянутые ремни Неправильный выбор сечения или длины ремней Изношенность ремней Невыровненность шкивов двигателя и вентилятора Плохо затянуты крепления двигателя и вентилятора
	Крыльчатка	Неотцентрована на валу Не закреплена на валу Сломана или повреждена (затрудняет вращение вентилятора) Разбалансирована
	Рабочее колесо	Наличие посторонних предметов
	Вал	Несоосность подшипников Погнутость вала Недостаточной размер вала
	Подшипники	Отсутствие смазки Изношенность подшипников Наличие посторонних предметов в подшипниках Ослабление крепления подшипников к опоре Замедленное вращение подшипников вокруг вала Несоосность подшипников
Установка	Шумы могут иметь различные характеристики свист гул и пр в зависимости от причины возникновения шума	
	1) Повышенная скорость движения воздуха Недостаточный размер воздуховодов, вентилятора, клапанов и сеток Недостаточная площадь поверхности батарей	
	2) Засорения участков с высокой скоростью движения воздуха с возникновением свиста или стука Резкие изменения сечения воздуховодов, слишком узкие колена, плотно расположенные направляющие, клапаны и пр	
	3) Пульсация Слишком большой размер вентилятора Недостаточная мощность вентиляционной системы, что приводит к функционированию вентилятора в нештатном режиме Резонанс вибрации воздуховодов на той же частоте, что и вентилятор	
	4) Гул и стук Вибрация стенок воздуховодов Вибрация стенок панелей	

Перед началом любых видов работ необходимо тщательно изучить состояние установки. По окончании проверки требуется проведение чистки ее компонентов. Работы по чистке могут быть различного типа и с различной направленностью.

Загрязнение трубок водоохлаждаемых конденсаторов и батарей в конденсаторах с воздушным охлаждением холодильных групп приводит к повышению температуры конденсации в агрегатах при равных температурах охлаждающей жидкости. Деиствительно, загрязнения создают изоляционный слой на поверхностях теплообмена, что приводит к прогрессивному повышению температуры конденсации, связанной с необходимостью переработки большего объема тепла. Следствием этого является понижение вырабатываемой холодильной мощности при повышении потребления электроэнергии. Повышение температуры на каждый градус Цельсия, что эквивалентно повышению давления конденсации, вызывает рост потребления электроэнергии на 1–2%. Кроме того, компрессор начинает работать с повышенным соотношением компрессии, а температура газа на подаче может достигать значений, соответствующих уровням подгорания масла со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями Более того, в водоохлаждаемых конденсаторах отложения твердого осадка на стенках трубок приводит к уменьшению сечения последних, что связано с уменьшением напора воды и, как следствие, повышение потребления электроэнергии насосами. В гидравлических контурах градирен отложение осадка вызывает снижение теплообмена, как показано в таблице 18.4. В работе котлов загрязнение дымовых труб и отложение осадка в трубах для воды приводит к тем же последствиям: возрастает расход топлива при равенстве тепловои мощности.

Таблица 18.4. Потери эффективности теплообмена в контурах воды градирен относительно толщины слоя отложений.

Толщина слоя отложений в трубках (мм)	Потеря эффективности теплообмена (%)
1,58	15
4,56	20
6,54	39
13,50	70
20,43	90

В силу этих причин необходимо удалять отложения осадка и сажи из труб и с поверхностей теплообмена в котлах. Даже небольшого объема отложений достаточно для существенного снижения теплообмена. Отложение слоя золы и сажи в 0,8 мм может привести к повышению расхода топлива на 2,5–3%. Вследствие отложения осадка в трубках контура воды возникают потери напора воды, и, как следствие, возрастает потребление электроэнергии насосами. Наконец, не следует недооценивать опасности ржавления и точечной коррозии труб, что является еще одной причиной необходимости проведения чистки поверхностей теплообмена. В таблице 18.5 приводятся некоторые условные показатели потерь, вызванных загрязнениями и отложениями осадка.

Таблица 18.5. Влияние фактора загрязнения труб на рабочие характеристики котлов и холодильных групп.

КОТЛЫ		
Отложение сажи в дымоходах котла		
Толщина слоя сажи (мм)	**Потери тепла (%)**	**Повышение расхода топлива (%)**
0,8	12	2,5
1,6	24	4,5
3,2	47	8,5
Отложение осадка в трубах контура воды		
Толщина слоя накипи (мм)	**Потери тепла (%)**	**Повышение расхода топлива (%)**
0,8	8	2,0
1,6	12	2,5
3,2	20	4,0
ХОЛОДИЛЬНЫЕ ГРУППЫ		
Коэффициент загрязнения ($м^2К/Вт$)	**Эффективность функционирования (%)**	**Повышение потребления электроэнергии (%)**
0,000088	100	0
0,000264	94	11
0.000440	80	22
0,000660	58	33
0,000792	36	44

В батареях теплообменников установок для переработки воды и агрегатов холодильных установок или в компрессорно-конденсаторных блоках с воздушным охлаждением скопление загрязнений приводит к прогрессивной потере производительности. Опыт в этой области показывает, что после 18 месяцев функционирования новой установки производительность батарей теплообмена понижается на 27%. Даже после проведения чистки производительность батарей все еще была на 9% ниже показателей новых. Причина подобного явления кроется в создании на стенках труб и панелей пленки загрязнений, которую не удается полностью ликвидировать. Подобная пленка представляет собой слой изоляции, который со временем приводит к понижению производительности установки. Чистка поверх-

ностей теплообмена и трубок теплообменников является, следовательно, основополагающим фактором повышения эффективности работы установки.

Установки, имеющие контуры воды, должны быть освобождены от воздушных пробок, которые неизбежно создаются на критических участках и оказывают влияние на распределение тепла, вызывая почти во всех случаях перерасход топлива. Для повышения эффективности работы и уменьшения количества несгораемых остатков топлива и избытка воздуха может быть полезна проверка функционирования камер сгорания и их правильная наладка с проведением анализа дымов, вырабатываемых в процессе сгорания топлива. В большинстве случаев после квалифицированных работ по наладке можно добиться повышения экономии топлива на уровне 5–9%. Ниже более подробно рассматривается проблема очистки установок.

Все действия по техническому обслуживанию любого агрегата должны производиться в соответствии с инструкциями изготовителя: в противном случае возможно появление неполадок в оборудовании и признание недействительным предоставление гарантийного ремонта, если таковой предусмотрен. Кроме того, в инструкциях почти всегда указывается наиболее эффективный способ проведения операций по техническому обслуживанию. Помимо специальных инструкций существуют также общие рекомендации по проведению основных операций по проверке функционирования установок, устанавливающих последовательность проведения операций и основные связанные с ними действия.

Меры по техническому обслуживанию

Прооерка забора онешнего воздуха

Обеспечение забора внешнего воздуха для вентиляции помещений является почти всегда значительной составляющей общего показателя потребления электроэнергии установкой. Поэтому важно убедиться в том, что объем поступающего воздуха соответствует действующим нормативам: UNI 10339, ASHRAE Standard 62—1999 или местным нормам): если он превышает норму, необходимо принять меры по его уменьшению и приведению в соответствие с параметрами, предусмотренными в нормативе.

Не менее важным является определение периодов нахождения людей в помещении и особенности его использования. В периоды отсутствия людей, за исключением особых случаев, клапаны на линиях забора внешнего воздуха могут быть закрыты. Если при пользовании помещением предусмотрены периоды особо значительного числа посещений в рабочее время (например, в банках, местах общественного пользования, супермаркетах, выставочных залах и пр.), открытие и закрытие клапанов должно производиться в соответствии с графиком. Это может производиться и вручную, однако более предпочтительным является использование автоматических систем, настроенных, например, на определенный уровень концентрации углекислого газа в помещении.

Изменение настройки термостата

Эта мера также связана с графиком посещаемости помещения. Установленная проектом температура среды поддерживается только в периоды обычного уровня посещаемости, в остальное же время она понижается (зимой) или не поддерживается ниже определенного значения (летом). Например, в зимнее время, во время отсутствия людей в помещении, может допускаться снижение температуры на 5–8°C относительно установленной; на каждый градус Цельсия понижения температуры в зимнее время экономия расхода топлива будет составлять 1–2%.

Изменение настройки термостата может производиться исходя из недельных или годовых циклов, включая также возможные периоды закрытия помещений в период отпусков, что обеспечивают современные электронные термостаты с программным управлением. Обычно, если используется одна из программ рабочих режимов помещения (BMS, *Building Management System*), подобные регулировки на различные режимы эксплуатации являются уже предусмотренными.

Оптимизироованный запуск оборудования

Многие установки имеют управление от часового механизма с программным управлением или от рабочей системы, обеспечивающий такой запуск установки, при котором установление уровня ком-

форта совпадает со временем пребывания людей в помещении. Часто подобные системы отрегулированы с некоторым запасом так, что начало охлаждения или обогрева происходит раньше, чем в этом может возникнуть реальная необходимость. Чтобы предотвратить случаи неоправданно раннего установления рабочего режима система оптимизированного запуска может быть основана на более точных данных и оценках температуры внешней среды. Это позволяет добиться увеличения периодов функционирования установки в экономичном режиме с соответствующим уменьшением потребления электроэнергии. Еще одной мерой является обеспечение так называемого «плавного запуска» установки для кондиционирования воздуха, при котором ограничивается число запускаемых компрессоров с целью сохранения потребления энергии в установленных рамках.

Периодическое функционирование вентилятора

В периоды отсутствия людей в помещении вентилятор установки для переработки воздуха должен выключаться на более или менее продолжительные периоды в зависимости от конкретных условий. Действительно, только в некоторых случаях необходимо обеспечивать наличие постоянного потока воздуха. Остановка вентилятора на период незанятости помещения может производиться от часового механизма с программным обеспечением и занесено в программу поддержания рабочих режимов установки, что позволяет обеспечить дополнительную экономию электроэнергии.

Регулировка термостата контура горячей воды

В установках, имеющих контур воды, изменение температуры воды может производиться в соответствии с изменением температуры внешнего воздуха. Эта система не только позволяет ограничить расход топлива, но и почти во всех случаях обеспечивает лучшую регулировку температуры в помещении.

Меры по доводке

Установка клапанов вблизи решеток забора внешнего воздуха

Часто забывают о необходимости установки клапанов на линиях забора внешнего воздуха или выпуска как можно ближе к стенам или крыше здания. Действительно, при отсутствии мер предосторожности решетки забора внешнего воздуха становятся настоящей «дверью» для теплообмена между внешним воздухом и воздухом в помещении. Использование клапанов в непосредственной близости от стен или крыши позволяет свести к минимуму неконтролируемый забор внешнего холодного или нагретого воздуха в воздуховод.

В противном случае, воздуховод, даже если он имеет теплоизоляцию, передает наведенное тепло снаружи внутрь или наоборот, в зависимости от времени года. Подобная возможная утечка или проникновение тепла в большинстве случаев недооценивается, а то и вовсе игнорируется.

Доводка выпускных клапанов и клапанов забора внешнего воздуха

Клапаны должны быть запорного типа и иметь теплоизоляцию. Их возможность перекрытия потока воздуха должна обеспечивать снижение утечки воздуха до 5% по сравнению с обычными типами клапанов, для которых этот показатель составляет 10%. Поэтому пластины должны иметь продольные уплотнительные прокладки, а также другие приспособления для снижения проникновения воздуха. Клапаны, которые используются для разделения забора рециркуляционного и внешнего воздуха, не обязательно должны иметь теплоизоляцию, в то время как наличие уплотнительных прокладок необходимо. Используемые для прокладок эластомерные материалы со временем обычно теряют свою удерживающую способность в связи с износом; поэтому, при необходимости, их следует заменить.

Все типы клапанов, вне зависимости от типа их использования, должны проверяться не реже одного раза в год на предмет их функционирования и состояния приводов и рычагов и, при необходимости, проводить их чистку, ремонт или замену.

Изоляция воздуховодов

По этой же причине на всех воздуховодах, имеющих выход наружу, должна быть установлена теплоизоляция вне зависимости от того, является ли воздуховод заборным или выпускным. Воздуховоды подачи воздуха должны быть теплоизолированы, в том числе и в связи с возможным образованием конденсата. Отсутствие теплоизоляции, если воздуховод расположен выше теплового периметра здания, может привести к потере теплохолодильного эффекта на 5–20%.

Герметичность воздуховодов

Оцинкованные воздуховоды, изготовленные с применением обычных методик без использования мастик или уплотнительной клейкой ленты, имеют в среднем 10%-ную потерю поступающего от вентилятора воздуха. Потери теплохолодильного эффекта оцениваются на уровне 10–30% в зависимости от конструкции воздуховода и использованных в нем материалов. Следовательно, воздуховоды могут являться основным источником потерь энергетической производительности установки. Поэтому в любом плане доводки оборудования следует предусматривать проверку состояния плотности прилегания фланцев в воздуховодах, соединений различных каналов, а также состояние всех элементов изоляции. При необходимости все уплотнения должны быть заново переделаны или восстановлены в случае их разбалансировки.

Чистка теплообменников

Чистка теплообменников котлов и холодильных установок заключается в удалении слоев загрязнений, часто скапливающихся на поверхности; цель заключается в том, чтобы в максимально возможной степени восстановить изначальные показатели теплообмена для того, чтобы снизить потребление энергии агрегатами и повышения их производительности.

В агрегатах холодильных установок, автономных кондиционерах воздуха и конденсаторах подобные мероприятия могут заключаться в следующем:

— чистка батарей конденсаторов с воздушным охлаждением;
— чистка трубок водоохлаждаемых конденсаторов.

Контуры воды испарителей, в большинстве случаев закрытого типа, обычно не нуждаются в подобных мероприятиях.

Почти всегда агрегаты с воздушным охлаждением устанавливаются снаружи, что относительно облегчает их очистку, производимую с использованием струи воды под давлением, с регулировкой напора в зависимости от типа агрегата и прочности конструкции батареи. На рынке имеются моечные машины с регулировкой давления струи от 10 до 35 бар, позволяющие использовать воду с добавлением моющих средств. Они обеспечивают капельный набрызг воды под высоким давлением, способный устранить скопления загрязнений на пластинах батарей.

Для очистки трубок водоохлаждаемых конденсаторов в связи с запретом использования химических реактивов, а также для охраны окружающей среды все с большим спросом пользуются системы механической очистки. Для ее проведения имеются устройства, использующие гибкие элементы с вращающимися щетками-наконечниками, выполненными из разных материалов и имеющих различные диаметры, вставляющиеся в трубку и обеспечивающие удаление загрязнений с ее поверхности. С противоположной стороны подается напор воды, которым выносятся твердые частицы, остающиеся в результате чистки.

На рисунке 18.1 показана часть вращающейся щетки при наличии потока воды сверху; операция производится одним человеком (рисунок 18.2). Некоторые модели обеспечивают автоматическую подачу вперед и втягивание гибкого стержня внутри трубки, что ускоряет проведение операции по чистке. Эти устройства имеют относительно небольшие габариты и являются передвижными, располагая рамой на колесах. В любом случае, гамма подобных установок с различными габаритами и техническими характеристиками весьма широка, некоторые из моделей являются менее транспортабельными; они питаются от электросети с низким потреблением электроэнергии.

В местах, где нет подвода электроэнергии или запрещено ее использование, используются другие системы на сжатом воздухе в том числе в огнезащитном исполнении. Это часто является обязательным при

работах в котлах и других местах повышенной опасности. Упомянутые устройства могут быть рассчитаны на влажную и сухую чистку; на рисунке 18.3 показана деталь двухсекционной головки внутри изогнутой трубки для влажной чистки. Скорость вращения головки регулируется от 500 до 3000 об./мин; постоянный поток воды смывает остатки чистки, образуемые вследствие вращения головки. При сухой чистке чистящая головка имеет вид гибких лезвий из нержавеющей стали, которые при вращении раскрываются вплоть до прилегания их к стенкам трубки (рисунок 18.4). Удаление твердых остатков производится соответствующим вакуумным насосом.

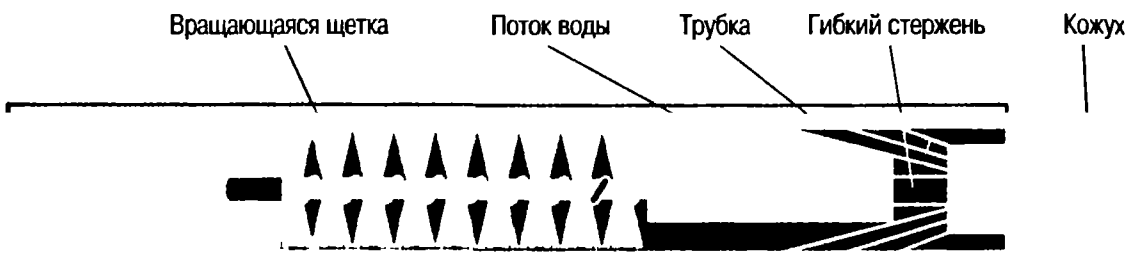


Рисунок 18.1. Удаление отложений и загрязнений с внутренней поверхности трубок с использованием вращающейся щетки и потока воды.

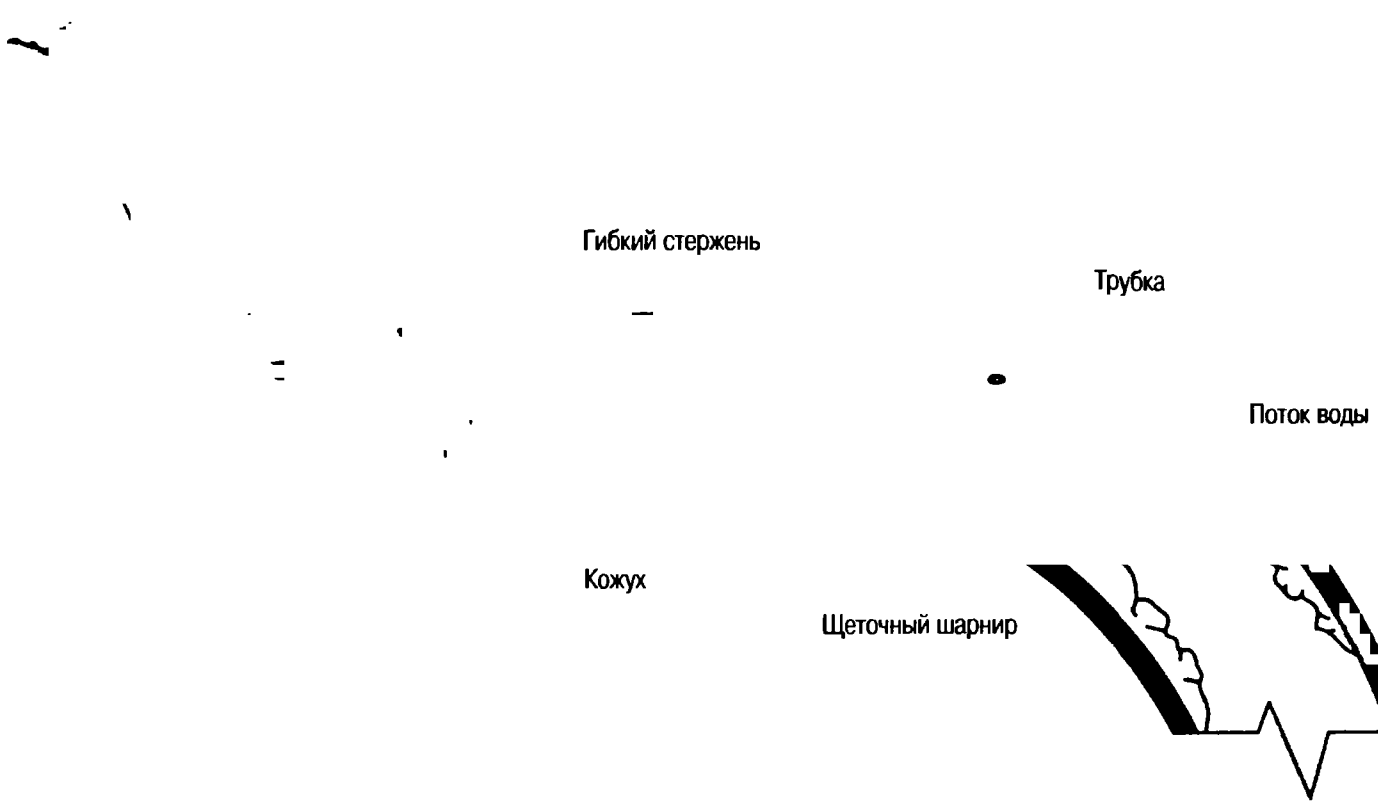


Рисунок 18.2. Прочистка трубок водоохлаждаемого конденсатора холодильной группы с использованием вращающейся щетки на гибком стержне с одновременной промывкой напором воды.

Рисунок 18.3. Вращающиеся головки на шарнирах для очистки изогнутых частей трубок; действие щетки сопровождается промывкой водой.



Рисунок 18.4. Сухая чистка внутренних поверхностей трубки с использованием вращающихся лезвий которые, раздвигаясь, прилегают к стенкам трубки под действием центробежной силы.

Эти устройства оснащены пневмодвигателем, работающем от сжатого воздуха с давлением 4—7 бар с расходом около 3 м³/мин. На рисунке 18.5 показана операция чистки внутри теплогенератора, учитывающая малые габариты агрегата.

Еще одном способом чистки дымовых труб котлов является использование щетки, укрепленной на гибком стержне, с подсоединением к механическому всасывающему устройству для удаления продуктов чистки; типичное устройство такого рода показано на рисунке 18.6.

Речь идет о переносном устройстве с насадным наконечником, обеспечивающем возвратно-поступательное движение гибкого стержня внутри трубки с использованием соответствующего привода на электродвигателе. Одновременно с этим через канал стержня, соединенный с внешним всасывающим устройством, происходит удаление продуктов чистки. Операцию проводит только один человек.

Рисунок 18.5. Чистка дымовых труб теплогенератора при помощи вращающихся щеток.

Большое значение для эффективности чистки труб имеет используемый тип материала щеток, поэтому необходимо обращать на это внимание при выборе соответствующего инструмента для обеспечения наилучшего результата, не приводя к эрозии или внешнему повреждению обрабатываемой поверхности. В таблице 18.6 приводятся краткие данные о типах наиболее распространенных щеток для различных материалов труб в зависимости от вида загрязнения.

Другим устройством для быстрой механической чистки трубок конденсатора является пистолет, работающий на сжатом воздухе и воде, выстреливающий пластиковые пули, имеющие внешний профиль, повторяющий внутреннюю полость трубки. При движении пуль происходит отделение отложений на стенках трубок с одновременным удалением всего образования при помощи струи воды. Этапы чистки показаны на рисунке 18.7. Пистолет оснащен системой обеспечения безопасности оператора на случай засора в трубке.

При чистке труб нередко возникает необходимость проверки наличия изломов или утечек в самих трубках. Чаще всего используется метод, основывающийся на обнаружении потерь давления; для этих целей также разработаны легкие переносные устройства, позволяющие быстро производить проверку.

Рисунок 18.6. Операция сухой чистки в трубах котла; возвратно-поступательное движение гибкого стержня внутри трубки обеспечивается электродвигателем.

Таблица 18.6. Наиболее распространенные типы щеток при определенных видах материала труб и загрязнений.

Материал щетки	Материал труб	Тип загрязнения
Нейлон	Прямые трубы: медные, латунные, пластиковые и пр.	Легкие отложения: мох, грязь и пр.
Латунь	Прямые трубы цветных металлов: медные, латунные, пластиковые и пр.	Легкие отложения и осадок
Нержавеющая сталь	Прямые железосодержащие трубы: углеродистая сталь, нержавеющая сталь	Легкие отложения и осадок
Углеродистая сталь	Прямые железосодержащие трубы: не рекомендуется для труб из нержавеющей стали	Легкие отложения и осадок
Пластик	Прямые трубы цветных и черных металлов	Легкие отложения: мох, грязь и пр.

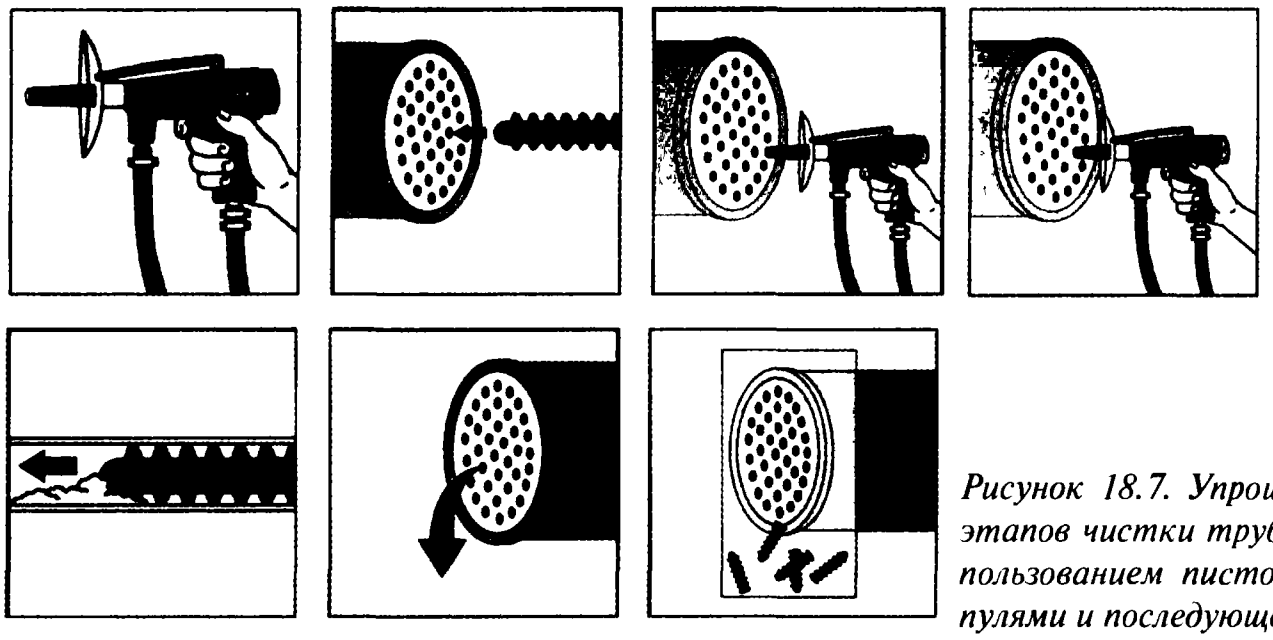


Рисунок 18.7. Упрощенная схема основных этапов чистки трубок конденсатора с использованием пистолета с пластиковыми пулями и последующей промывкой.

Речь идет о двух пистолетах, которые вставляются в торцы трубки и создают в ней определенное давление воздуха; манометры каждого из пистолетов позволяют установить, поддерживается ли давление или падает, что является признаком утечки или поломки трубки (рисунок 18.8).

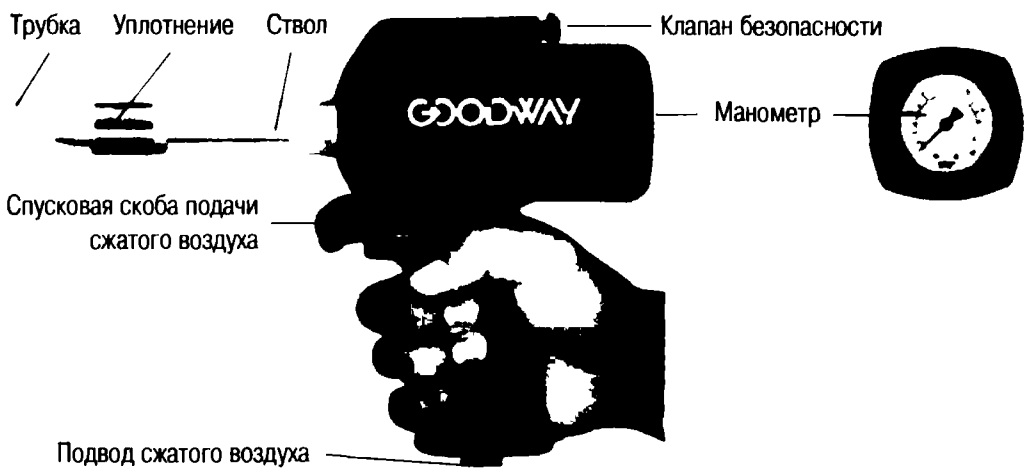


Рисунок 18.8. Устройство в виде пистолета для определения герметичности трубок посредством замеров давления воздуха; установленный в задней части манометр позволяет установить наличие возможных утечек.

Чистка воздушных контуров

Чистка воздушных контуров должна производиться на всем протяжении контура, от установки по переработке воздуха до раструбов и распределителей подачи и решеток забора воздуха из помещения.

Установка для обработки воздуха при неправильной ее эксплуатации является источником возникновения опасности для здоровья людей, поскольку существует возможность появления грибковых образо-

ваний на воздушных фильтрах и скапливания бактерии, таких как легионелла, в воде емкости для сбора. Поэтому требуется проведение ряда проверок, о которых будет сказано ниже.

Одним из общепринятых методов является частая замена воздушных фильтров. Однако зачастую она не проводится с требуемой периодичностью, фильтры выходят из строя, пропуская загрязнения, которые постепенно засоряют батарею охлаждения и другие расположенные выше по контуру элементы установки. Поэтому фильтры должны тщательно проверяться, прочищаться или при необходимости заменяться. Хорошим правилом является замена фильтров на более эффективные, убедившись при этом, что потеря давления воздуха не приведет к снижению рабочих характеристик системы.

Еще одним важным моментом является правильное проведение проверки функционирования увлажнителя (при его наличии), с последующим проведением очистки всех остальных внутренних элементов установки вплоть до самих лопастей вентилятора (это, кстати, может уберечь от разбалансировки его винта). Наконец, необходимо уделять особое внимание емкости для сбора жидкости: необходимо проверить, не засорены ли каналы слива, удалить осадок, восстановить при необходимости защитную обработку поверхности, и, наконец, провести обильную промывку с последующей гигиенической обработкой соответствующими составами.

Воздуховод забора внешнего воздуха, от клапанов установки до решеток забора воздуха, является путем проникновения пыли, песка, насекомых, листвы, различных посторонних предметов и пр. В городе, в связи с загрязнением и наличием выхлопных газов автотранспорта, частички масла являются аэрозолью, буквально приклеивающей пыль и грязь к решеткам, стенкам каналов, к воздушным клапанам. Важно определить, имеется ли непосредственно перед решеткой забора внешнего воздуха сетка от попадания насекомых, проверить ее состояние и при необходимости заменить.

Следующей операцией является очистка стенок воздуховодов забора воздуха, несмотря на то, что обычно эта операция непростая. Воздуховоды подачи воздуха и забора воздуха из помещения являются еще одним местом скопления пыли и загрязнений, особенно если техническое обслуживание фильтров установки оставляет желать лучшего; случай, представленный на рисунке 18.9, является вовсе не исключением. Решетки рециркуляции и выпуска также могут являться местом появления грибковых образований, в частности в туалетах, в связи с повышенной влажностью и температурой в этих помещениях (рисунок 18.10). Эти образования рассеивают в помещении споры, которые при вдыхании людьми вызывают ухудшение состояния и аллергию.

Для проверки состояния внутренней поверхности воздуховодов чаще всего применяется два метода: использование оптических стекловолокон и роботизированных устройств с телекамерой. Устройства на стекловолокнах позволяют провести настоящую эндоскопию воздуховодов через раструбы или распределители установки. Кроме визуальной проверки, подобная эндоскопия позволяет сфотографировать прилегающие участки. Этот метод отличается быстротой проведения проверки, однако радиус его действия достаточно ограничен. Для его увеличения, особенно при наличии продолжительных прямых участков воздуховодов, используются небольшие роботизированные средства на колесиках, управляемые на расстоянии и оснащенные телекамерой, позволяющей выводить изображение на монитор и при необходимости записать на видеопленку всю внутреннюю поверхность воздуховола (рисунок 18.11).

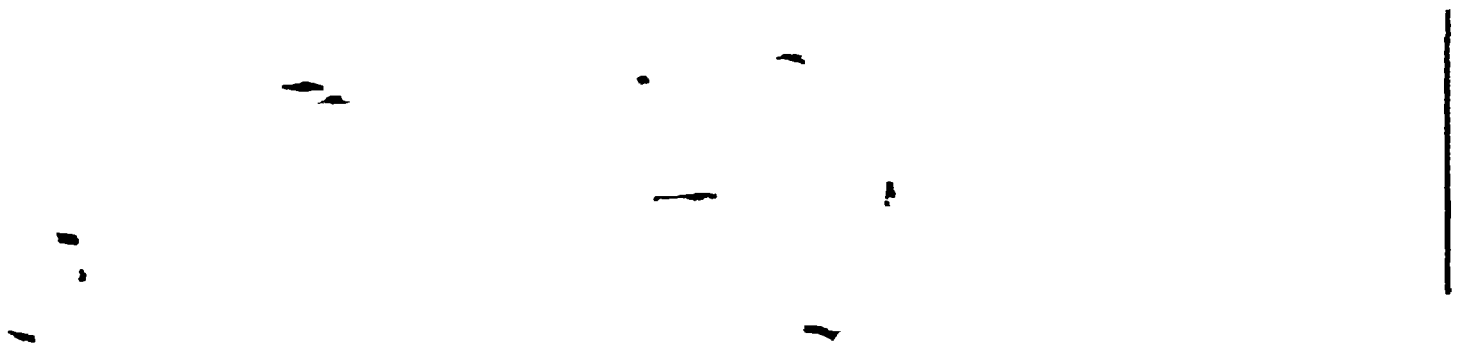


Рисунок 18.9. Загрязнения внутренних стенок воздуховода.

Рисунок 18.10. Возникновение грибковых образований на решетке рециркуляции воздуха.



Рисунок 18.11. Роботизированные средства с телекамерой для проверки состояния и очистки воздуховодов; имеется широкая гамма моделей.

Чистка воздуховодов

При техническом обслуживании воздуховодов могут потребоваться различные виды работ, от простой чистки, до ремонта или извлечения изоляции, и до работ по дезинфекции и гигиенической обработки на длительный период.

Из проблем общего характера в первую очередь приходится сталкиваться с проблемами конструкции: все установки для кондиционирования воздуха, введенные в строй, начиная с пятидесятых годов создавались без учета того фактора, что когда-нибудь их придется чистить и, следовательно, проверять их состояние. Возникают препятствия в расположении различных элементов конструкции, как отсутствие путей доступа для проверки, расположение воздуховодов в самых недоступных местах и зачастую оплетенных пучком электрокабелей, что еще больше усложняет работу либо встречаются случаи выполнения кирпичных воздуховодов, а не жестяных.

Прежде всего необходимо провести тщательное изучение установки в кабинете, то есть провести анализ чертежей и рабочих схем (если таковые имеются) для определения наилучших путей доступа при проведении работ.

Часто случается, что чертежи установок бывают утеряны, или получить их не представляется возможным: следовательно, с использованием необходимой аппаратуры необходимо восстановить начальную схему воздушного контура, уточнив размеры, расстояния и расположение воздуховодов.

По завершении этого первого переходят к следующему, цель которого заключается в мониторинге или визуальной проверке состояния воздуховодов; эта операция производится с использованием телекамер, которые, в зависимости от типа устройства, смонтированы на роботизированном средстве или рассчитаны на использование вручную (рисунок 18.12). Этот начальный осмотр уточняет состояние воздуховодов: имеется ли на них изоляция или нет, ее состояние, количество осевшей пыли и загрязнений, наконец, он помогает понять, какие действия целесообразнее предпринять.

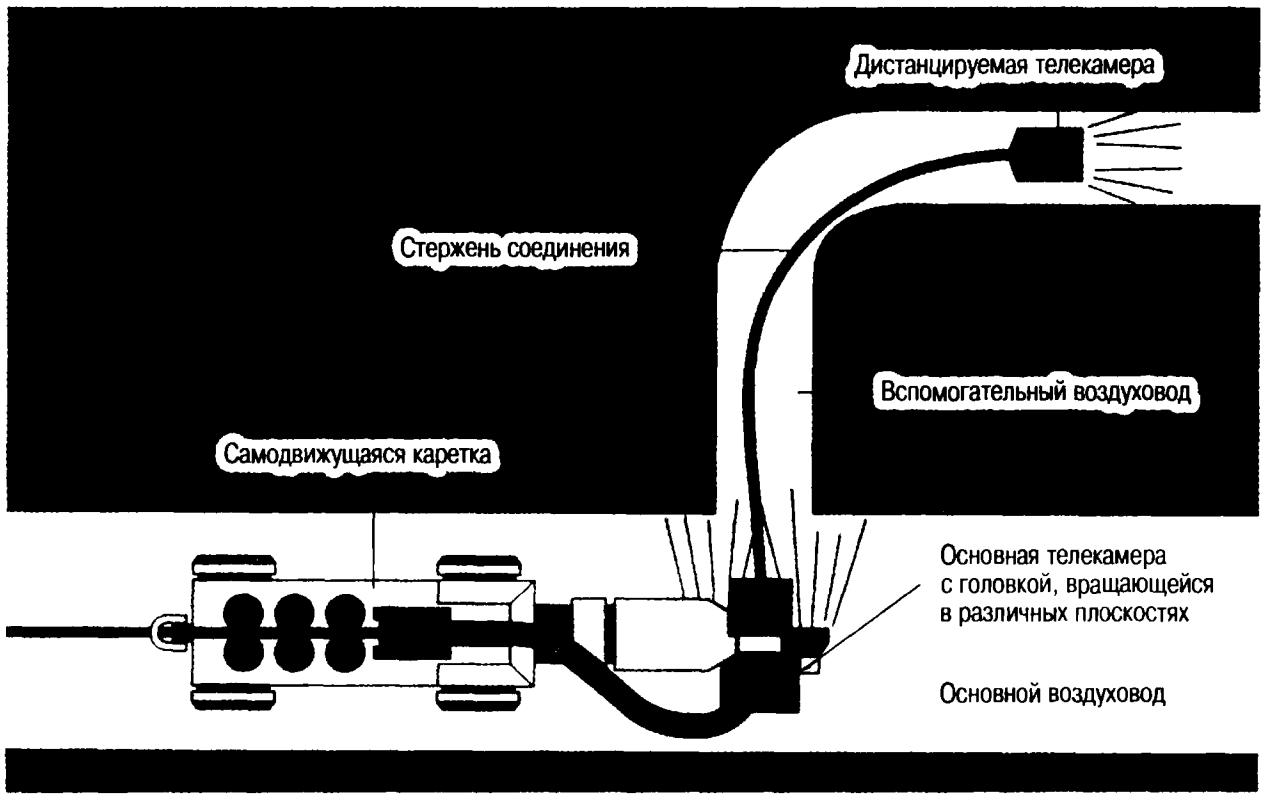


Рисунок 18.12. Пример проверки состояния вспомогательного воздуховода с использованием роботизированного устройства с дистанцируемой телекамеры, имеющей соответствующий приводной механизм: при помощи одной операции можно проверить состояние основного воздуховода и его ответвлений.

Наибольшие трудности, с которыми приходится сталкиваться, связаны с определением состояния изоляции: в зависимости от внешнего вида прокладки изоляции могут оказаться необходимы действия различной сложности. В установках со значительным временем эксплуатации встречаются три вида ситуаций:

1) большая степень износа и разрушения;
2) отставание от жестяного короба;
3) расслоение волокон.

В первых двух случаях необходимо полностью удалить изоляцию, что является самым сложным и трудоемким видом работ по чистке.

Необходимо избегать рассеивания волокон изоляции в помещении. Чистка агрегатов и фильтров, засорившихся этими волокнами, должна производиться в открытых местах с применением мер предосторожности, в том же, что касается работ в отношении конструкции самой установки, необходимо производить их таким образом, чтобы не делать слишком много отверстий и не повреждать конструкцию самих воздуховодов. Было бы целесообразным производить удаление изоляции проделыванием не более двух отверстий на каждые 30 м, одно служит для ввода инструментов, через другое производится всасывание воздуха и извлечение удаляемого материала (рисунок 18.13).

После удаления изоляции необходимо восстановить рабочие характеристики воздуховодов, это следует делать с использованием материалов, рассчитанных на подобный тип использования.

Если процесс деградации имеющейся изоляции находится только на начальной стадии, самым лучшим будет уплотнить изоляцию, собрав волокна воедино, с последующим нанесением пластифицирующегося пленочного покрытия (coating), которое не только укрепляет и защищает изоляцию от разрушения, но и обладает антибактерицидным и антигрибковым действием.

При наличии неизолированных воздуховодов виды производимых работ являются более простыми: производится только их чистка, следовательно, можно применять целый ряд приспособлений без угрозы повреждения изоляции. Другим будет и вид удаляемого материала (в основном пыль и сор); вследствие этого следует ожидать меньшей степени засорения фильтров агрегатов и, следовательно, меньшего объема работ по техническому обслуживанию, кроме того, сама чистка будет производиться значительно быстрее. Краткие данные о времени выполнения работ по чистке воздуховодов приводятся в таблице 18.7.

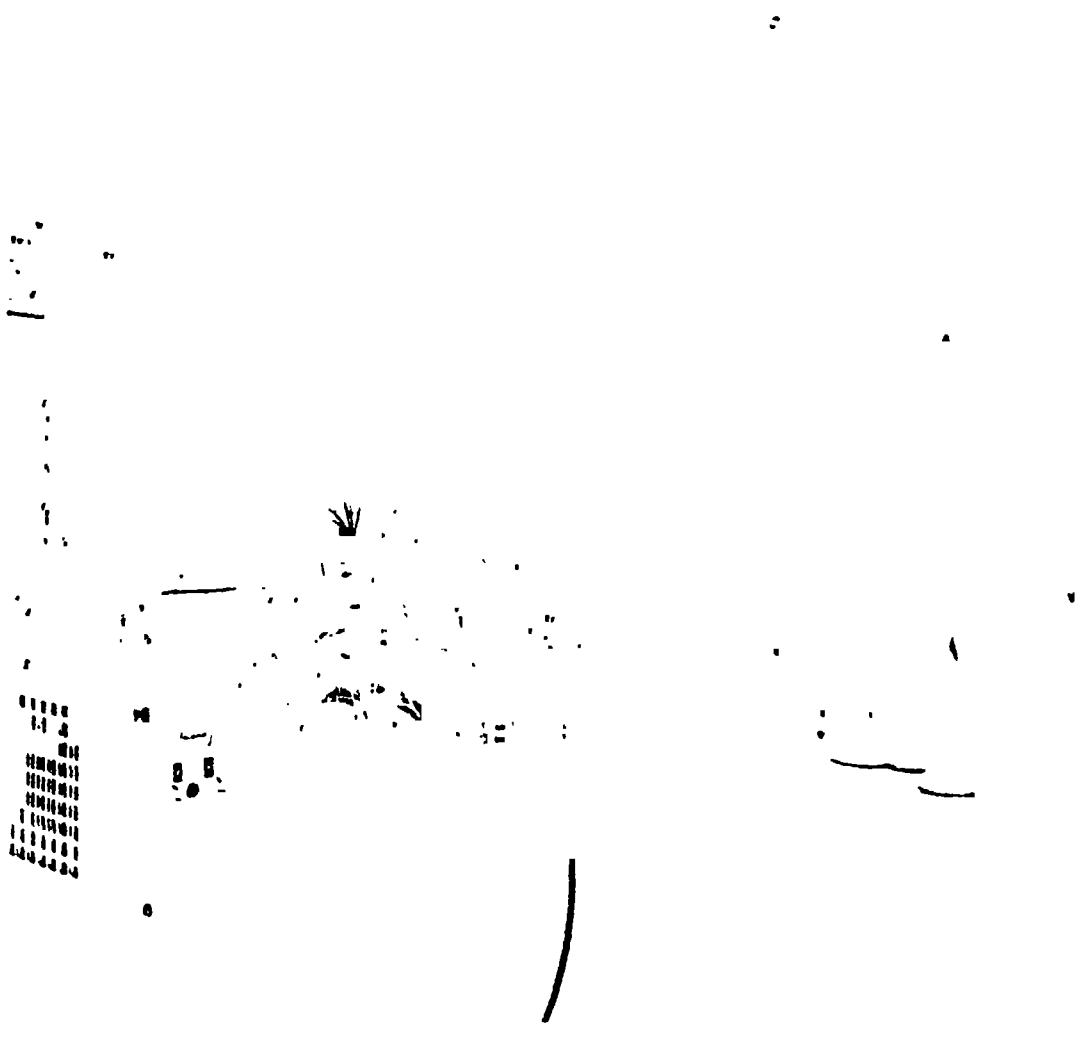


Рисунок 18.13. Чистка внутреннего периметра воздуховода: участок воздуховода перекрывается (путем вставления в него надувных шариков); с одной стороны помещается агрегат для всасывания воздуха с гибким рукавом, а с противоположной стороны оператор вставляет вращающуюся щетку, укрепленную на гибком стержне.

Таблица 18.7. Ориентировочный расчет времени выполнения и количества специалистов для проведения различных операций по очистке воздушных контуров установок.

Вид работ	Объем работ в день	Количество персонала
Чистка воздуховода без изоляции	30–50 метров	2 по 8–10 часов
Чистка воздуховода с изоляцией	20–40 метров	2 по 8–10 часов
Удаление изоляции	10–15 метров	3 по 8–10 часов
Нанесение защитного покрытия на изоляцию (coating)	50 метров	3 по 8 часов
Укрепление изоляции	50 метров	3 по 10 часов
Очистка от налета и отложений установок для переработки воздуха (100000 м³/ч)	1 агрегат	3 по 2 дня
Очистка от ржавчины установок для переработки воздуха (100000 м³/ч)	1 агрегат	3 по 1 дню
Нанесение защитных покрытий установок для переработки воздуха (100000 м³/ч)	1 агрегат	3 по 2 дня

Меры гигиены в рабочих помещениях

При проведении работ по чистке необходимо принять все меры для избежания попадания удаляемых из воздуховодов загрязнений в окружающее пространство.

Для успешного проведения работ необходимо принять некоторые меры, основными из которых являются: защита мебели соответствующими чехлами; поддержание чистоты и эффективности оборудования (в частности, необходимо заменить соответствующие фильтры) с учетом того, что их чистка должна производиться за пределами рабочих помещений. Это необходимо для предотвращения попадания в них пыли; обеспечение обслуживающего персонала соответствующей защитной одеждой и применение необходимых мер поддержания чистоты и гигиены. Все проделываемые отверстия должны быть закрыты двойными заслонками на уплотнении для того, чтобы не допустить просачивания воздуха, а при полностью изолированных каналах — обеспечить устойчивость изоляции. Кроме того, могут применяться различные решения, характер которых зависит от состояния и типа установки, на которой производится чистка. Работы могут включать различные операции, от простой чистки до удаления изоляции; в самых критических случаях — до проведения гигиенической обработки (во всех

случаях с одновременной чисткой), покрытия пластифицирующими составами изоляции или ее укрепления, либо до проведения дезинфекции.

Следует заметить, что не всегда ремонт следует предпочитать замене частей контура, при работе в отдельных помещениях, например, с полным отсутствием людей и мебели, либо при полной открытости воздуховодов, бесспорно, более приемлемой является замена.

Чистка воздуховодов применяется в основном на работающих предприятиях, где имеются подвесные потолки и мебель, поэтому ввиду того, что при работах по чистке воздуховодов не требуется останавливать производственный процесс, она, конечно, остается самым быстрым и эффективным способом восстановления рабочих показателей установки.

Чистка установок обработки воздуха

Для полной очистки установки недостаточно просто прочистить воздуховоды, необходимо произвести и очистку самого оборудования для обработки воздуха.

Работы в установке производить, конечно, легче, поскольку имеются большие зоны доступа и больше пространство для выполнения вспомогательных операций. Виды производимых работ могут быть различными: некоторые входят в понятие текущего ремонта, тогда как другие направлены на защиту агрегатов от износа и обеспечение продолжительного эффективного с точки зрения соблюдения норм гигиены функционирования. Вследствие этого, наряду с заменой фильтров и промывкой батарей с использованием обычных имеющихся в розничной сети моющих средств, могут производиться более сложные работы: от простой чистки до обезжиривания, нанесения ингибиторных покрытий и, наконец, нанесения защитных покрытий, устойчивых как к воздействию влажности, так и коррозии, с бактерицидными и антигрибковыми свойствами.

Контроль функционирования и технического обслуживания агрегатов имеет первостепенное значение, поэтому проверка их эффективности и операции по чистке должны производиться с соблюдением строгих норм качества и периодичности.

Таблица 18.8. Средние показатели периодичности работ по техническому обслуживанию установок для обработки воздуха

Компонент	Вид проверки	Тип проверки	Инструмент	Предельные показатели (Па)	Периодичность (дней)
Блок вентилятора	Выравненность шкивов	С инструментом	Метал. линейка		60
	Натяжение ремней	С инструментом	Динамометр		60
	Износ ремней	Визуально			60
	Крепление шкивов	Визуально			60
	Очистка винта	Визуально			60
	Подшипники	Визуально			60
Синт.фильтр	Загрязнение	Визуально			15
Метал. фильтр	Загрязнение	Визуально			15
Карман. фильтр	Загрязнение	С инструментом	Манометр	300	15
Блочн.фильтр	Загрязнение	С инструментом	Манометр	600	15
Ролик. фильтр	Расход бобины	Визуально			При необх.
Пакетные увлажнители	Засорение пакета	Визуально			60
	Очистка поддона для воды				60
	Очистка фильтра воды				60
	Слив воды из поддона				Конец сезона
	Уровень воды	Визуально			30
Моющий увлажнитель	Работа форсунок	Визуально			45
	Очистка поддона для воды				45
	Очистка фильтра воды				45
	Уровень воды	Визуально			45
Батареи теплообмена	Очистка пакета пластин	Визуально			Сезонно
	Очистка поддона для конденсата	Визуально			Сезонно

Часто кондиционеры находятся в очень запущенном состоянии, с покрытыми ржавчиной стенками, почти полностью разъеденным ржавчиной дном, засоренными и проржавевшими батареями и с забитыми или недействующими фильтрами.

В этих случаях, являющихся предельным состоянием агрегата перед его заменой, производится снятие ржавчины и загрязнения с корпуса, вентиляторов, клапанов и прочих подверженных загрязнению частей. Затем осуществляется антикоррозийная обработка и при необходимости, в самых пораженных местах, устанавливаются новые жестяные элементы с обеспечением должного их прилегания; наконец, вся внутренняя поверхность агрегата покрывается пластифицирующимся составом, имеющим двойное действие: защиты от коррозии и воздействия влаги и обеспечения качества обрабатываемого воздуха при одновременной бактерицидной и антигрибковой обработке.

При нанесении пластификатора (coating) важно обеспечить защиту батарей и трубок воды от попадания загрязнений, так как если в этот состав, являющийся термоизолятором, попадут теплопроводящие элементы, их функционирование не будет соответствовать требуемым показателям; таким же образом производится нанесение защитных покрытий на другие части и агрегаты установки. Особое внимание следует уделять работам на вентиляторах для того, чтобы в результате не возникло разбалансировки валов крепления лопастей с последующим выходом из строя подшипников. Основные типичные виды и периодичность работ по техническому обслуживанию установок по переработке воздуха перечислены в таблице 18.8.

Вынос конденсата из батареи охлаждения

Вынос конденсата возникает, когда скорость движения воздуха, проходящего через батарею охлаждения и осушения, достигает таких параметров, что происходит захватывание капель воды, образующихся на пластинах и на трубках, с их выносом из самой батареи. Каждый раз, когда компоненты установки или другие поверхности ниже батареи покрываются влагой, возможной причиной этого может служить вынос воды из батареи. Наличие равномерного выноса, в свою очередь, свидетельствует о наличии определенного типа неисправностей, тогда как локальный вынос свидетельствует о наличии других проблем.

Тремя основными причинами выноса конденсата являются:

1) неудовлетворительный выбор параметров батареи;
2) загрязнение батареи;
3) неравномерность распределения скорости потока воздуха.

Рассмотрим каждую из этих причин подробней.

Неудовлетворительный выбор параметров батареи

О нем можно говорить, когда имеет место более или менее равномерный вынос со всей поверхности лишенной загрязнений батареи. Характеристики выноса конденсата определяются несколькими показателями: напором воздуха в установке, высотой и шириной батареи, диаметром трубок и расстоянием между ними, толщиной трубных досок и расстоянием между ними.

При возникновении выноса конденсата возможным решением может быть только изменение одного или двух выше перечисленных параметров. На практике в функционирующих установках представляется весьма затруднительным изменить объемные параметры батареи, единственной возможностью остается понижение скорости движения воздуха, то есть его напор; это достигается путем уменьшения скорости вращения вентилятора, что в большинстве случаев обеспечивается за счет изменения диаметра шкивов.

Часто напор воздуха можно уменьшить без серьезных последствий для установки; действительно, во многих случаях холодильные установки и установки для кондиционирования воздуха имеют запас мощности. В этих условиях уменьшение напор воздуха не приводит к понижению холодильной мощности установки; и в целом, холодильная мощность относительно мало зависит от напора воздуха. Например, уменьшение напора на 20% приводит к снижению холодильной мощности на 5% относительно установленных параметров, поскольку, несмотря на то, что холодильная мощность ощущаемого диапазона понижается в большей степени, показатель косвенной холодильной мощности увеличивается.

Даже в случаях определенного снижения общей холодильной мощности вследствие уменьшения напора воздуха лучшим решением является принятие подобного компромисса и устранение неполадок, вызываемых наличием выноса конденсата.

Использовать сепараторы капель, располагая их после батареи, не рекомендуется по двум причинам: увеличиваются потери давления и возникает опасность отстоя воды с образованием среды для развития микроорганизмов.

Загрязнение батареи

Даже в установках, где параметры батареи являются полностью удовлетворительными, может возникать вынос конденсата, если в ней имеются скопления загрязнений. В связи с тем, что скопления загрязнений на поверхности батареи распределяются неравномерно, могут создаваться участки с повышенным выносом конденсата (рисунок 18.14). Скопления загрязнений уменьшают отверстие для прохода воздуха, что приводит к повышению скорости его движения, превышающие порог начала выноса конденсата. Кроме того, загрязненная батарея имеет менее высокие показатели теплообмена, что приводит к снижению эффективности работы установки.

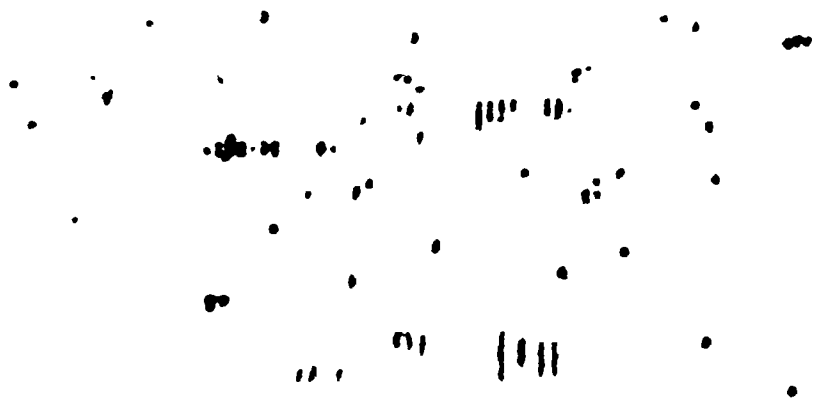


Рисунок 18.14. Неравномерное скопление загрязнений на батарее установки для обработки воздуха

Для решения этой проблемы чаще всего разрабатываются планы ведения технического обслуживания, включающие в себя периодическую чистку батареи. Речь идет о дорогостоящих и продолжительных по времени работах. Более того, нередко батареи размещены в почти недоступных местах. Это приводит к тому, что чистка или производится редко, или откладывается до тех пор, пока не возникнут серьезные проблемы. В качестве профилактической меры здесь может быть предложена установка перед батареей высокоэффективных фильтров, способных улавливать большую часть пыли, содержащейся воздухе.

Неравномерность распределения скорости потока воздуха

Неравномерность распределения скорости потока воздуха по поверхности батареи на входе в нее может возникать по разным причинам: не последней из них в установках с всасывающими вентиляторами (draw-through) является неверное соединение коробов забора воздуха под прямым углом к батарее. В этих случаях вынос конденсата может возникать даже при нормальной скорости потока, проходящего через батарею; возникновение этого явления можно наблюдать визуально при проверке, что помогает определить и устранить причину подобной неравномерности.

В установках с вентилятором в положении наддува (*blow-through*) относительно батареи причина смещений потока воздуха может заключаться в работе самого вентилятора. В этом случае вынос конденсата локализуется в тех частях батареи, где происходит подобное смещение.

Возможной мерой в данном случае может быть установка короба забора большего размера и/или пластин отклонения потока воздуха: приспособления подобного рода при правильной их установке не только улучшают равномерность воздухопотока, но и способствуют существенному снижению потерь напора и шумов.

Общие меры по чистке

Непредвиденные ситуации могут возникнуть при функционировании даже прекрасно спроектированных установок при правильном их техническом обслуживании и нормальных рабочих режимах. По разным причинам относительная влажность воздуха в помещении может превысить допустимые

нормативы. Известно, что при относительной влажности выше 60% (вкупе с загрязнениями, почти всегда имеющимися в воздушных контурах) ускоряется рост микроорганизмов, поэтому важно регулярно проводить проверку всей установки для обработки воздуха и контура воздуховодов для того, чтобы обнаружить возможные признаки поражения. Эти проверки должны включаться в план обычного технического обслуживания установки.

В заключение следует сказать, что для правильного проведения работ по чистке установок необходимо придерживаться некоторых правил и принимать некоторые меры:

— не располагать только одним приспособлением для ведения работ, а несколькими для того, чтобы иметь возможность компенсировать недостатки одних за счет достоинств других;
— принимать необходимые меры предосторожности в отношении персонала, работающего в помещениях, самих помещений и в отношении специалистов, осуществляющих техническое обслуживание;
— поддерживать в чистоте и нормальном рабочем состоянии агрегаты и фильтры;
— проделывать и заделывать отверстия в воздуховодах должным образом и с использованием соответствующего инструмента;
— отлично владеть технической информацией об установке и иметь значительный опыт работы в этой области помноженный на высокий профессиональный уровень.

Несмотря на то, что установка на линии оборудования систем контроля и стерилизации не входит в категорию работ по техническому обслуживанию и чистке, она должна иметься ввиду в плане обеспечения безвредности подаваемого в помещение воздуха.

Не так давно были разработаны датчики поступления через воздуховод углекислого газа, способные предоставлять условную информацию о качестве поступающего воздуха. Они устанавливаются на стенках воздуховода, а датчик вводится внутрь через небольшое отверстие. При достижении определенного значения содержания CO_2 в воздухе устройство подает сигнал тревоги, или включает привод открытия клапана забора внешнего воздуха, или производит другие действия, сигнализирующие наличие проблемы, либо устраняющие ее причины. Подобные датчики должны располагаться на участке воздуховода, находящегося в непосредственной близости от обслуживаемого помещения, что обеспечивает большую достоверность определения состояния поступающего в него воздуха.

Эффективным способом обеспечения стерилизации воздуха и уничтожения попадающих с ним в помещение микроорганизмов может служить установка внутри каналов антигербицидных ламп ультрафиолетового излучения. Однако, для обеспечения их эффективного функционирования необходимо соблюдение некоторых условий; кроме того, необходимо предусматривать их периодическую очистку и со временем замену. Тем не менее, правильное применение этих ламп, несомненно, является важным средством предотвращения попадания в помещение возбудителей различных инфекционных болезней, прежде всего дыхательных путей.

Очистка градирен и испарительных конденсаторов

Градирни и испарительные конденсаторы испытывают прямое воздействие атмосферных реагентов и поэтому в значительной мере подвержены коррозии и загрязнению. Кроме того, при функционировании они действуют как настоящие мойки для воздуха, вследствие чего в емкостях для сбора жидкости скапливаются различные загрязнения и ввиду этого при отсутствии соответствующей и регулярной чистки могут вызывать значительное снижение рабочих показателей всей установки. Наличие прямого попадания солнечного света, в свою очередь, способствует развитию микроорганизмов в отстойниках, способных привести к засорению трубок и контуров питания конденсаторов. В то же время, исключительно большое внимание должно уделяться градирням и испарительным конденсаторам в связи с развитием в них бактерий *Legionella pneumophila* (смотри следующий раздел): условия, создающиеся в отстойниках этих агрегатов, являются особенно благоприятными для развития этих бактерий; поэтому и в работе обслуживающего персонала здесь требуется особая осторожность.

Кроме проведения работ по чистке, рекомендуемых изготовителями агрегатов, разработан целый ряд специальных инструкций, касающихся профилактики *легионеллы*.

Для этого не реже одного раза в год должна проводиться полная очистка градирен и испарительных конденсаторов, для больниц периодичность составляет раз в полгода. Реальный срок проведения чистки

должен в любом случае определяться на основе данных регулярно проводимого мониторинга состояния воды в градирне и местных условий. Если градирня используется только в летнее время, чистку следует проводить зимой, в период ее отключения; при этом рекомендуется производить последующую проверку и гигиеническую обработку внутренних поверхностей градирни перед новым запуском на лето.

Одна из мер предосторожности заключается в хлорировании воды в контуре градирни до содержания 5 ppm перед проведением работ по чистке для обеспечения определенного уровня защиты персонала, проводящего техническое обслуживание, от заболеваний. Самым быстрым и экономичным способом определения содержания хлора в воде является использование хлорометра (Palin-DPD), в котором используются специальные таблетки, при добавлении которых в воду, цвет воды изменяется, после чего можно сопоставить его с цветом на шкале показателей содержания хлора. Хлорирование всегда следует проводить в два этапа. Первый заключается в измерении содержания свободного хлора в воде контура. Хлор является очень реагентным и легко вступает в химические реакции с органическими примесями воды, поэтому зачастую необходимо добавлять его больше, чем рекомендовано в результате расчетов. Второй этап обуславливается тем фактом, что биоцидные свойства хлора в значительной степени зависят от кислотности воды (pH): при значениях pH выше 7 его бактерицидная способность резко снижается; поэтому для достижения максимальной биоцидности следует либо откорректировать значение показателя pH воды, либо увеличить дозу хлора.

Для проведения чистки градирен прежде всего необходимо слить ранее хлорированную воду, затем провести обработку различных узлов агрегата (пакета пластин теплообменника, сепараторов капель, форсунок распыления, вентиляторов, и устройств для регулировки воздушного потока при их наличии: они должны быть очищены и освобождены от загрязнений с заменой или ремонтом возможно имеющихся поломанных или поврежденных компонентов). Вода из отстойника должна быть слита, а он сам тщательно промыт с удалением всех органических образований и налета. Все фильтры, используемые на градирне, включая сетчатый фильтр на линии всасывания, должны быть в свою очередь прочищены. При остановке контура на зиму перед отключением электропитания насоса и вентилятора следует провести прогонку ингибиционного состава. Затем следует провести антифризную обработку контура.

Перед новым запуском на летнее время контур градирни должен быть освобожден от воды, промыт и вновь заполнен чистой дезинфицированной водой с добавлением 15 ppm свободного хлора в течение двух или более часов; затем воду снова следует слить, вновь заполнить контур и провести обработку воды до достижения установленных показателей. Вместо добавления в воду на два часа 15 ppm хлора, может быть проведена обработка с добавлением 5 ppm хлора на шесть часов.

Градирни с круглогодичным периодом эксплуатации после чистки и сборки контура должны быть заполнены чистой водой с доведением действительного содержания свободного хлора до 15 ppm. Показатель pH воды должен составлять ниже 7, в противном случае, как уже было сказано, количество добавляемого хлора следует увеличить. Обработанная таким образом вода должна циркулировать по всему контуру установки не менее двух часов с сохранением указанного показателя концентрации свободного хлора. Затем воду следует слить, заново заполнить градирню чистой водой и провести обработку воды до достижения установленных показателей.

Персонал, осуществляющий техническое обслуживание, должен иметь обычные защитные костюмы при проведении всех работ по чистке внутри градирен. Не рекомендуется использовать моющие машины со струей воды под давлением, поскольку при их работе образуется влажная взвесь, попадание которой в дыхательные пути вредно для здоровья. Если использование этих машин необходимо, персонал должен быть одет в специальные защитные костюмы и иметь респираторы с соответствующими фильтрами.

В больницах, где бывает много пожилых людей, следует рассмотреть возможность замены градирен и испарительных конденсаторов на конденсаторы с воздушным охлаждением или другие агрегаты, исключающие контакт воздуха с водой.

Легионелла и болезнь легионеров

Микроорганизм, вызывающий болезнь легионеров, *Legionella pneumophila*, был впервые выделен в 1976 году во время эпидемии заболевания воспаления легких среди членов Американского Легиона в ходе проведения конференции в Филадельфии. В действительности же ни сама болезнь, ни вызывающая ее бактерия новыми не являлись, поскольку в прошлом уже имели место случаи подобных забо-

леваний, однако до этого времени их рассматривали как обычную пневмонию, у которой действительно много общих признаков с этой болезнью. Инфекция возникала при вдыхании влажных взвесей, содержащих бактерии легионеллы.

В настоящее время выявлено несколько сьерогрупп *Legionella pneumophila*; самой опасной является группа *1 (SG1)*, которая вызвала большую часть инфекций; отдельный подвид является возбудителем так называемой *лихорадки Понтиака.*

Длина бактерий легионеллы колеблется от 2 до 50 мкм, однако, в большинстве случаев она составляет от 1 до 3 мкм с шириной от 0,5 до 1,0 мкм; в природе они встречаются в реках, прудах и по берегам озер. Следовательно, речь идет о бактериях, распространяющихся в водной среде, способных быстро создавать колонии в гидравлических системах, используемых человеком.

Именно из подобных систем и происходит их распространение через капельную взвесь в воздухе в окружающей среде. Если эти взвеси вдыхаются людьми группы риска, пожилого возраста или с пониженной иммунной защитой, они могут вызвать развитие заболевания, которое в самых тяжелых случаях имеет летальный исход.

Благоприятной для развития легионеллы является температур от 25 до 42°С с пиковым показателем от 35 до 37°С. При снижении температуры ниже 20°С бактерии «засыпают», при температуре выше 55°С — погибают. Легионелла выдерживает наличие кислоты в воде до показателя pH 2. В градирнях и испарительных конденсаторах создаются благоприятные условия для развития бактерии; кроме того, взвеси воды и капли влажности, образующиеся при функционировании этих агрегатов, являются потенциальными переносчиками — как это не раз уже случалось — распространения инфекции.

Эксплуатация градирен

Ниже приводятся некоторые рекомендации практического характера по обеспечению эффективного функционирования и лучшей эксплуатации градирен.

Расход воды. Расход воды в градирнях обычно составляет 2–4% от общего объема перерабатываемой воды. Теоретически на испарение приходится 1% при разнице температур на уровне 7°С, однако к этому следует добавить слив воды и вынос ее с выпускаемым воздухом.

Объем слива воды (bleed-off). Постоянный слив некоторого количества воды необходим для снижения концентрации солей в отстойнике и в контуре, а также для удаления возможного загрязнения, обычно скапливающегося в отстойнике. Объем слива воды пропорционален показателю ее жесткости: чем более жесткая вода, тем большим должен быть слив. При средней жесткости воды рекомендуется предусматривать слив объема воды, равного объему испарения, то есть 2–4%. Тем самым концентрация солей и загрязнений не будет превышать начальные показатели более чем в два раза.

Все градирни обычно оснащены линией слива, позволяющей производить постоянное частичное удаление воды, возвращающейся из установки в градирню; почти всегда на подобной линии устанавливается калиброванный кран слива. Возврат слитой воды в градирню производится через контур возврата.

Номинальные показатели. Обычно градирни для систем кондиционирования воздуха выбираются, исходя из номинальных значений температуры воды: условно таким значением является температура воды в пределах 35°С с величиной на выпуске 29,5°С. Таким образом устанавливается постоянная разница температур в 5,5°С. В любом случае, минимальная температура воды на выходе не опускается ниже температуры внешнего воздуха при влажном датчике плюс 2–3°С.

Как известно, выбор градирни определяется объемом тепла для переработки и предполагаемой температурой внешней среды при влажном датчике. Однако в отношении последнего показателя следует иметь в виду возможность кратковременного повышения температуры в период функционирования установки, которое может совпасть с наибольшей потребностью в обеспечении охлаждения. Для того чтобы предотвратить перегрузку холодильных групп, рекомендуется выбирать градирню, исходя из температуры при влажном датчике примерно на 2°С выше установленной для данной местности. Эта мера не только позволяет предотвратить перегрузку установки, но и позволяет снизить потребление электроэнергии холодильной группы в течение всего сезона функционирования. В промышленных хо-

лодильных установках в нефтехимической промышленности температура нагретой воды нередко составляет 65–79°С. В отношении них может потребоваться замена обычного пакета пластин охладителя на специальный высокотемпературный.

Система привода вентилятора

В установках по переработке воздуха, различных кондиционерах, градирнях и испарительных конденсаторах широко используются вентиляторы. Вентиляторы центробежного типа в большинстве случаев соединяются с двигателем посредством клино-ременной передачи, которая требует проведения тщательных проверок и постоянного технического обслуживания. Проверки бывают двух типов: с включенным и выключенным вентилятором, каждый из которых имеет свой набор необходимых операций.

С выключенным вентилятором:

— проверка смазки подшипников вала;
— проверка выровненности ведущего шкива и шкива вентилятора;
— проверка параллельности валов двигателя и вентилятора;
— проверка натяжения ремней;
— проверка центровки крыльчатки на валу;
— контроль вращения крыльчатки (вручную) и наличия цепляний;
— проверка, очистка и снятие налета с крыльчатки;
— проверка правильности положения картера защиты ремней;
— проверка амортизационных пружин в основании мотовентилятора;
— проверка гибкости и прочности крепления антивибрационных опор.

С включенным вентилятором:

— контроль вибрации и необычных шумов;
— проверка уплотнения антивибратора;
— замер потребляемой силы тока на трех фазах двигателя;
— измерение скорости вращения вентилятора.

Трансмиссионные ремни должны заменяться на ремни того же сечения для того, чтобы избежать возникновения двух проблем, показанных на рисунке 18.15. После установки ремня следует проверить его натяжение, следуя инструкциям изготовителя; положение при правильном натяжении показано на рисунке 18.16.

Может возникнуть проблема невыровненности шкивов. Проверку выровненности шкивов следует производить периодически, особенно если при проверке выявляется повышенный или неравномерный износ ремней, или наличие вибрации, или необычных шумов. Для определения выровненности шкивов используется металлическая линейка (рисунок 18.17).

Шкив

Рисунок 18.15. Прилегание трансмиссионных ремней к шкиву: а) сечение ремня меньше сечения шкива и передача вращательного момента затруднена; б) сечение ремня больше сечения шкива, вследствие чего будут иметь место проскальзывания или соскакивания ремня.

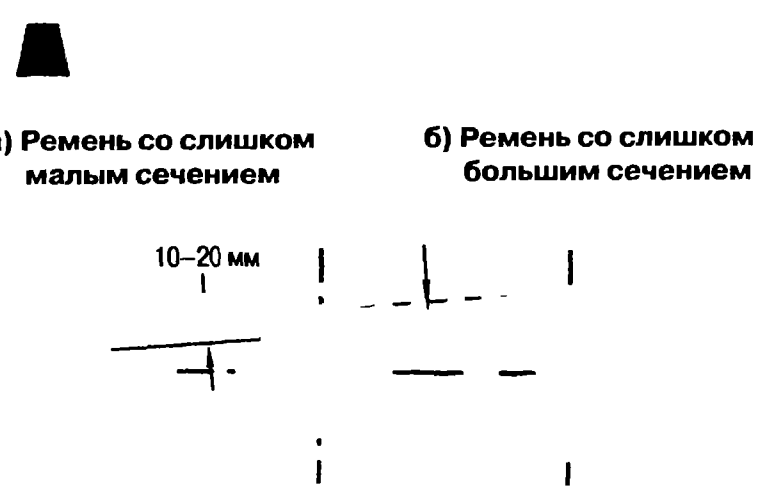


Рисунок 18.16. Проверка натяжения ремня между двумя шкивами: прогибание при нажатии рукой должно обычно составлять от 10 до 20 мм.

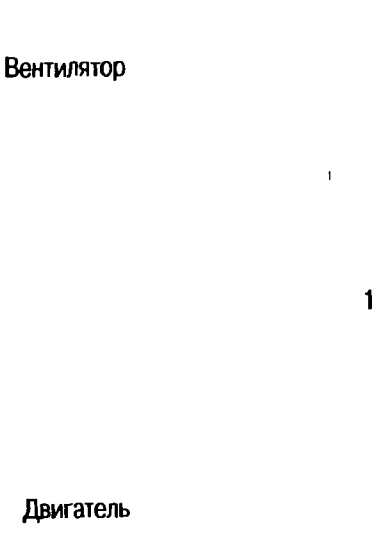


Рисунок 18.17. Проверка выровненности двух шкивов при помощи металлической линейки (1): при неполной выровненности происходит повышенный износ ремня ввиду повышенного трения о шкивы

Техническое обслуживание воздутных фильтров

Влажность является одним из главных врагов воздушных фильтров: со временем она может привести к полному перекрытию воздуха и выходу их из строя, что приводит к возникновению обводных потоков (bypass) нефильтрованного воздуха вокруг них. В самых экстремальных случаях происходит «цементирование» фильтров (в связи с отложением пыли) с остановкой работы и возможным повреждением вентилятора или холодильного оборудования.

Кроме того, во влажных фильтрах могут создаваться мох и грибок, для развития которых создаются благоприятные условия в связи с наличием пыли и переносимых воздухом спор: последние удерживаются в самих фильтрах, находя здесь питательную среду. Впоследствии эти микроорганизмы могут переноситься воздухом в рабочие помещения, вызывая аллергию, раздражение слизистой и другие недомогания.

В любом случае, влажность приводит к снижению рабочих характеристик фильтров; повышаются потери давления воздуха, снижается эффективность его фильтрации и сокращается рабочий ресурс фильтра, поскольку уменьшается его пылеулавливающая способность.

В некоторых видах фильтров — с мягкими элементами карманного типа — влажность приводит к утяжелению самих карманов до такой степени, что они уже не в состоянии открываться при прохождении воздушного потока. Легко представить, какие последствия это имеет в отношении рабочих характеристик установки: происходят потери производительности с повышением потребления электроэнергии вентиляторами и снижением напора воздуха. В работе холодильной группы это может привести к снижению температуры испарения и опасности обледенения батареи прямого расширения (если таковая имеется).

Еще одной опасностью является то, что менее мощный напор воздуха не в состоянии обеспечить потребности в его охлаждении.

Особенно большой ущерб влажность наносит двум типам фильтров: электростатическим и фильтрам на активированном угле. В электростатических фильтрах высокий уровень влажности приводит заметному снижению эффективности процесса ионизации: не обеспечивается достижение необходимых показателей электростатического заряда частиц пыли, которые вследствие этого не притягиваются к пластинам сбора и под действием потока воздуха следуют за пределы фильтра.

Еще большее воздействие на работу фильтров с активированным углем, используемых для улавливания запахов и раздражающих веществ, оказывает влажность. При относительной влажности воздуха более 60% (при нормальном кондиционировании воздуха) фильтр начинает прогрессивно адсорбировать водяной пар, но при этом освобождается от макромолекул пахучих и раздражающих веществ, уловленных ранее, поскольку легче вступает в соединение с водяным паром. Поэтому может иметь место выброс запахов в поступающий в помещение воздух с легко предсказуемыми последствиями.

Не существует рецептов мгновенного решения проблемы попадания влажности в фильтры, поскольку оно может происходить по разным причинам. Например, в установках для переработки воздуха, расположенных снаружи, одним из основных поставщиков влаги может оказаться дождевая вода, если не будут приняты необходимые меры защиты. Функционирование установок для кондиционирования воздуха в районах с повышенной влажностью воздуха является еще одной причиной нарушения работы фильтров. Другой причиной может быть расположение фильтров вблизи моек, увлажнителей, батарей охлаждения и пр. В целом, образование конденсата на одном из участков установки по переработке воздуха является признаком возможного скопления влаги в фильтрах.

Меры профилактики

Скопление влаги в фильтрах можно предотвратить или ограничить путем применения некоторых мер как на стадии проектирования установки, так и при ее монтаже и, не в последнюю очередь, путем правильной организации технического обслуживания. Ниже приводятся некоторые рекомендации.

— В некоторых видах установок, в которых требуется обеспечение особенно высокой чистоты воздуха, конечный фильтр (HEPA, *High Efficiency Particulate Air filter*) устанавливается после вентилятора установки для переработки воздуха. Тепло, образующееся при работе двигателя вентилятора, является

разновидностью постнагрева, которого почти во всех случаях бывает достаточно для предотвращения насыщения переносимого влажного воздуха. С большими опасностями связана установка фильтра выше вентилятора, после батареи охлаждения.

— В кондиционерах roof-top и в установках для переработки воздуха, размещенных снаружи, необходимо предусмотреть покрытия, способные предотвратить попадание дождевой воды, снега, града в агрегаты. В регионах с постоянной розой ветров может понадобиться установка защитных элементов для предотвращения попадания воды внутрь с воздухом через заборник внешнего воздуха.
— В установках, в которых предполагается наличие высокого уровня влажности, рекомендуется выбирать фильтры, активный элемент которых устойчив к ее воздействию. Следует стараться не использовать модели с металлическими корпусами и сетками удерживания для того, чтобы предотвратить образование ржавчины. На рынке имеются различные модели фильтров с активным элементом из устойчивой к воздействию влаги бумаги типа маленькой гармошки в корпусе из синтетического материала.
— Необходимо периодически проводить операции по техническому обслуживанию фильтров с заменой тех, в которых имеются признаки наличия влаги, даже если они установлены недавно.
— Необходимо, используя дифференциальный манометр, периодически определять увеличение потерь давления на воздушном фильтре. Рекомендуется также измерять скорость движения воздуха при помощи анемометра на поверхности фильтра для того, чтобы убедиться в ее равномерности и наличии возможных засоренных участков, которые могут возникать под действием влажности.

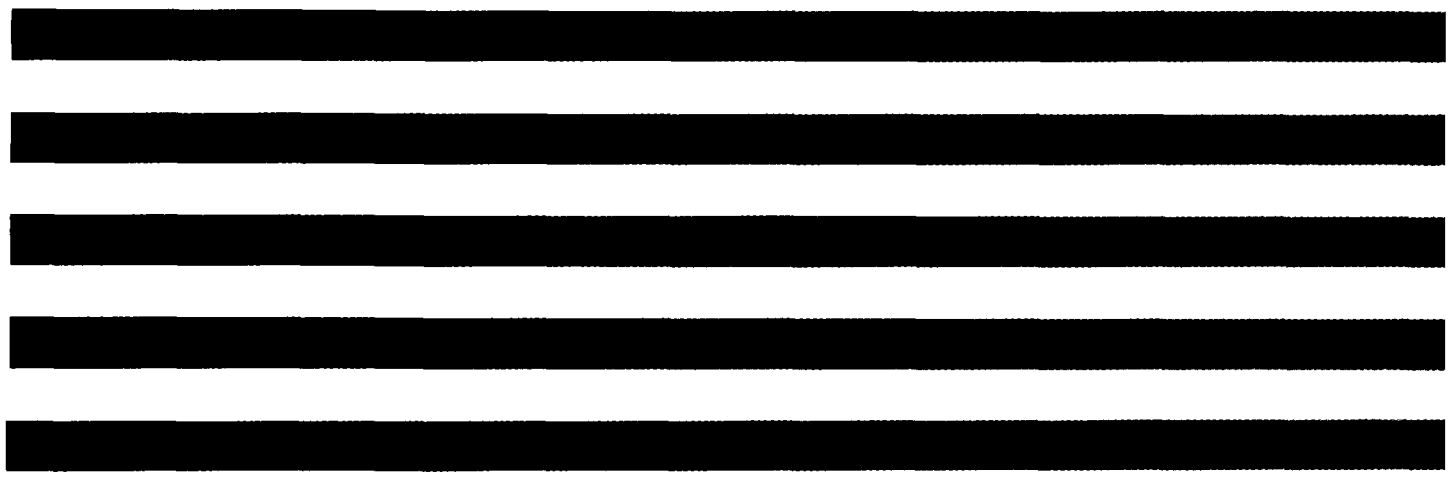
Утилизация фильтров

Фильтры, пораженные влажностью, как и в целом засоренные и полностью выработавшие свой рабочий ресурс, должны утилизироваться в соответствии с одним из методов, предписываемых местными нормами гигиены: на свалку, путем сожжения, в переработку. Возможна комбинация из этих трех способов, в зависимости от материалов конструкции фильтра. За проведение утилизации фильтров отвечает начальник службы технического обслуживания или начальник производства. В особых случаях фильтры должны быть утилизированы как опасные отходы; это касается фильтров, используемых в больницах, медико-биологических лабораториях, промышленных предприятиях, перерабатывающих вредные вещества, всех тех случаев, когда фильтры неизбежно могут быть подвержены заражению. Фильтры, снимаемые с таких производств, почти всегда должны утилизироваться с соблюдением особых мер предосторожности в отношении защиты здоровья персонала службы утилизации, а также людей и окружающей среды.

Еще одной опасностью для службы технического обслуживания являются системы влажной очистки воздуха в установке, даже если перерабатываемый воздух не имел отношения к опасным производственным циклам. Действительно, с водой системы промывки в емкости для сбора воды выносятся вещества, которые могут способствовать развитию вредных микроорганизмов, таких, как уже упомянутая бактерия легионеллы; в этих случаях возникает опасность заражения воздушных фильтров.

За исключением особых случаев, демонтаж и утилизация фильтров для специалиста по техническому обслуживанию является рутинной процедурой. В сезон функционирования оборудования может понадобиться неоднократная проверка и даже замена фильтров, если возникают условия создания повышенной влажности обрабатываемого воздуха. Необходимо сделать шаг вперед относительно старых методов произведения проверки фильтров только один раз, в начале сезона.

ГЛАВА 19



Системы гидравлики и линии вывода конденсата

Техническое обслуживание и ремонт систем гидравлики 263
Измерение расхода жидкости 264
Обнаружение мест утечек воды из труб 267
Защита от замерзания воды 267
Обработка воды градирни 268
Стандартные показатели качества воды 269
Типичные меры контроля качества воды 269
Вода контура охлаждения 269
Охлажденная вода 269
Линии вывода конденсата 270
Несоответствие требованиям эксплуатации параметров накопителя 270
Накопители с наклонным дном 272
Проверка функционирования накопителей 273
Проверка функционирования сифона водостока 273

Прежде чем принимать решения о проведении значительных работ по реконструкции и чрезвычайных мер по техническому обслуживанию систем гидравлики, всегда необходимо провести тщательную проверку установки (auditing) для определения некоторых важных параметров:
— возможность обеспечения новых рабочих характеристик (напора воды и давления в системе гидравлики);
— состояние контура труб, его компонентов и агрегатов;
— выработанный рабочий ресурс установленных агрегатов (котлов, установок по санированию воды, насосов);
— соответствие законодательству и действующим техническим нормативам обеспечения безопасности и энергосбережения.

Проверка состояния установки может потребовать немалых усилий, особенно в старых зданиях с отсутствием чертежей контуров гидравлики. Может потребоваться изготовление новых чертежей контуров с определением места нахождения различных элементов. Эту операцию рекомендуется производить даже в отношении относительно новых зданий, поскольку зачастую имеющиеся чертежи являются устаревшими ввиду произведенных изменений конструкции системы при монтаже или при последующей эксплуатации.

Кроме того, необходимо определить положение и состояние труб, расположенных в стенах или в фундаменте, например труб слива. Проверка установки должна также распространяться на изучение состояния основных ее компонентов: котлов, установок по санированию воды, насосов, агрегатов для обработки воды и пр. В отношении всех этих компонентов необходимо получить данные о возможности обеспечения существующих рабочих режимов, выработанном ресурсе и эффективности функционирования. Наконец, необходимо установить соответствие параметров установки или ее компонентов техническим нормативам и законодательству; это всегда необходимо делать в старых зданиях, поскольку со времени их постройки неизбежны изменения технических нормативов и законодательства. Часто в этих случаях необходимо произвести работы по приведению установки в соответствие с такими нормативами.

По окончании проверки ответственный за техническое обслуживание должен сделать отчет владельцу здания или ответственному за его техническое содержание (facility manager) о действительном состоянии установки. Отчет должен включать в себя следующие положения:
— основные выявленные проблемы (например: устаревшие агрегаты, линии гидравлики со значительными отложениями, несоответствие тепловой установки нормативам и пр.);
— наличие потенциальных опасностей (например: ожидаемые частые остановки линии, нарушение норм безопасности труда и пр.);
— причины возрастания расхода материалов (перерасход воды в связи с утечками в компонентах установки и санузлах, перерасход топлива в связи с низкой эффективностью работы котла и установок санирования воды и пр.).

На основании этих показателей ответственный за техническое обслуживание должен сделать свои предложения о необходимых мерах с указанием приоритетных, по его мнению, мероприятий, например:
— приведение состояния установки в соответствие с нормами безопасности труда, действующими в отношении холодильных и тепловых установок;
— замена компонентов оборудования, выработавших свой рабочий ресурс, и создающих в связи с этим опасность возникновения более частых поломок и остановок оборудования;
— программа ведения технического обслуживания и ремонта тех компонентов, в отношении которых подобные меры являются первоочередными.

Техническое обслуживание и ремонт систем гидравлики

Члены бригады технического обслуживания системы гидравлики должны иметь данные о расположении в здании всех труб, штуцеров и других соединений, клапанов и других компонентов. Если речь идет о здании новой постройки, эти данные должны быть предоставлены застройщиком, в других случаях их следует получить путем проведения систематических проверок.

План основных мер по техническому обслуживанию должен включать следующие этапы:

— получение информации об установке и ее компонентах;
— меры по профилактике коррозии, включающие в себя нанесение защитных покрытий, покраску и катодные методы защиты;
— наличие оборудования и приспособлений для проведения проверок и измерений, соответствующих техническим характеристикам установки;
— обеспечение мер безопасности труда в отношении обслуживающего персонала.

Цель заключается в том, чтобы обеспечить целостность и нормальное функционирование контура труб. Ниже приводятся некоторые рекомендации по проверке состояния основных компонентов системы и проведения необходимого технического обслуживания открытых труб, труб, расположенных в фундаменте и в грунте, с целью обнаружения течей, ремонта самих труб и соединений с нарушенным уплотнением.

Открытые трубы. Открытые трубы могут иметь следующие неисправности: течи, образование ржавчины, ослабленные соединения, разрушение уплотнений в соединениях, ослабление болтов на фланцах и нарушение слоя защитного покрытия. Меры по ремонту достаточно очевидны: восстановить уплотнения при их разрушении, заменить при необходимости болты на расширительных соединениях, затянуть или заменить болты на фланцах, устранить дефекты самих соединений, устранить течи в зависимости от типа неисправности или повреждения, заменить или восстановить защитное покрытие или изоляцию труб (в случае ее отсутствия или повреждения), при необходимости восстановить крепления труб к опоре.

Обнаружение течей. Наличие течей в контуре труб следует обнаружить и устранить как можно быстрее для того, чтобы предотвратить возникновение более сложных проблем нарушения кладки, повреждения мебели и пр. Обнаружение течей может производиться путем организации систематических проверок открытых труб и клапанов, а также проверок состояния стен, потолков и пола в местах прохождения труб. Кроме того, для обнаружения возможных аномалий потока воды рекомендуется использовать манометры, счетчики и другие устройства определения величины напора.

Ремонт труб. Перед любыми ремонтными работами следует полностью перекрывать воду в контуре. Это производят путем перекрытия вентилей выше расположения течи. В контурах труб с рециркуляцией воды участок трубы, требующий ремонта, должен быть изолирован путем закрытия соответствующих кранов перекрытия, если таковые имеются, или путем временной заморозки трубы. Если труба покрыта изоляцией, необходимо удалить ее на участке трубы длиной не менее 450 мм. После окончания ремонта необходимо произвести разморозку соответствующего участка. Это может быть сделано различными способами в зависимости от диаметра трубы: путем обмотки электронагревательного кабеля, направлением струи разогретого воздуха, наложением ветоши, на которую подается кипящая вода (предусмотрев установку соответствующего поддона для сбора воды). Одновременно с этим производится открытие крана или измерителя напора ниже отремонтированного участка для восстановления расхода жидкости в трубе.

Вне зависимости от типа неисправности или поломки наиболее экономичным способом ремонта поврежденного участка трубы является удаление его и/или соединений с заменой его/их на аналогичные новые. Если до возникновения поломки установка функционировала нормально, будет достаточно установить новый элемент трубы (с возможно имеющимися на нем другими компонентами) того же диаметра и с теми же характеристик, что и удаленный участок.

Течи в уплотнениях. Наличие течи в уплотнении обычно связано с нарушением соединения или несоответствием смазки. Часто неисправным бывает само соединение; например, при неправильной нарезке стальной трубы может выйти из строя резьба соединения, а нарушенная резьба часто является причиной появления течи. В этом случае соединение следует заменить с использованием трубы с исправной резьбой.

Измерение расхода жидкости

Чаще всего для измерения расхода жидкости, находящейся под давлением в трубах, используются так называемые «перекрывающие» приспособления, принцип действия которых основан на помеще-

нии в трубу приспособления, сужающего ее диаметр. Величина расхода определяется путем простого считывания данных о разнице давлений. Нормативом CNR UNI 10023 предусматривается использование трех различных устройств: диафрагмы, сопла и трубы Вентури (вентуриметр). Этот норматив в скором времени будет заменен на норматив UNI EN ISO 5167, сокращенно ISO 5167, имеющий международное распространение и уже действующий на европейском уровне.

Приспособления для перекрытия при их помещении в трубу вызывают, в соответствии с величиной перекрытия, повышение скорости движения жидкости и, как следствие, понижение ее давления. Замеряется падение давления ($\Delta p = p_1 - p_2$), которое имеет место между участками до и после перекрытия; оно пропорционально удельному весу (ρ) жидкости и квадрату объемного расхода (Q). Показатель объемного расхода Q определяется по формуле:

$$Q = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \mathrm{A} \cdot \sqrt{2\frac{\Delta p}{\rho}}$$

где:
α — коэффициент истечения;
ρ — удельный вес жидкости;
ε — коэффициент сжимаемости жидкости;
A — уменьшенное сечение трубы.

Зная характеристики использованного измерительного устройства и характеристики жидкости, расход которой измеряется, все элементы формулы, за исключение Δp, известны и могут быть сведены к константе K по формуле:

$$K = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \mathrm{A} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}}$$

В результате первоначальная формула выглядит следующим образом:

$$Q = K\sqrt{\Delta p}$$

Чаще всего для измерения расхода используются устройства с диафрагмой. Подобное устройство состоит из пластины (нержавеющей стали или бронзовой), имеющей в центре круглое отверстие с конической фаской; диафрагма вставляется между двумя дисковыми перекрытиями, или затягивается с установкой прокладки между фланцами труб. На рисунке 19.1 показаны два вида диафрагмы для измерения расхода, предусмотренные нормативом. Модель слева имеет «диафрагму с отверстиями, соединенными кольцевым каналом», в которой в верхней и в нижней частях двух дисков перекрытия имеются кольцевые каналы, оканчивающиеся отверстиями для замера давления; устройство используется при диаметре трубы до 400 мм. Правая модель является «диафрагмой с индивидуальными подключениями измерителей давления», в ней отверстия для измерения давления выполнены непосредственно на корпусе диска, который затягивается меж-

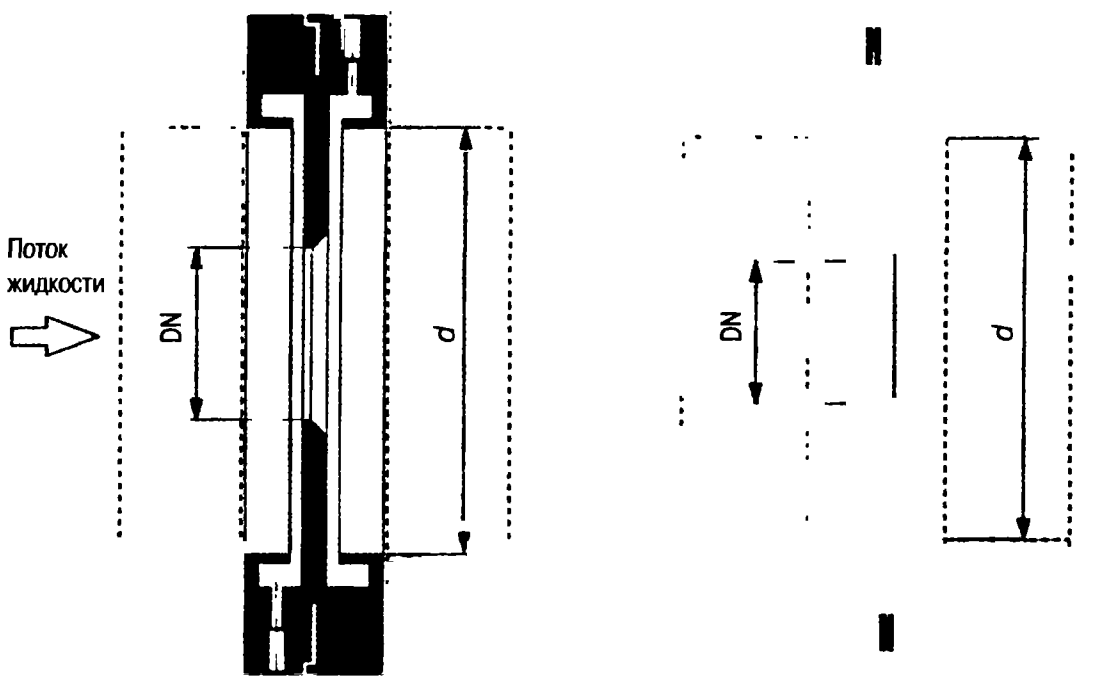


Рисунок 19.1. Два типа диафрагмы для измерения расхода в разрезе: диафрагма слева имеет отверстия для замера давления, соединенные кольцевым каналом; модель справа имеет отдельные отверстия для замера.

ду фланцами; модель применяется для измерений на прямых участках труб с большой скоростью движения жидкости. Имеются также «калиброванные фланцы» (рисунок 19.2), в которых диафрагма затягивается непосредственно между двумя фланцами, в которых имеются отверстия для замера давления.

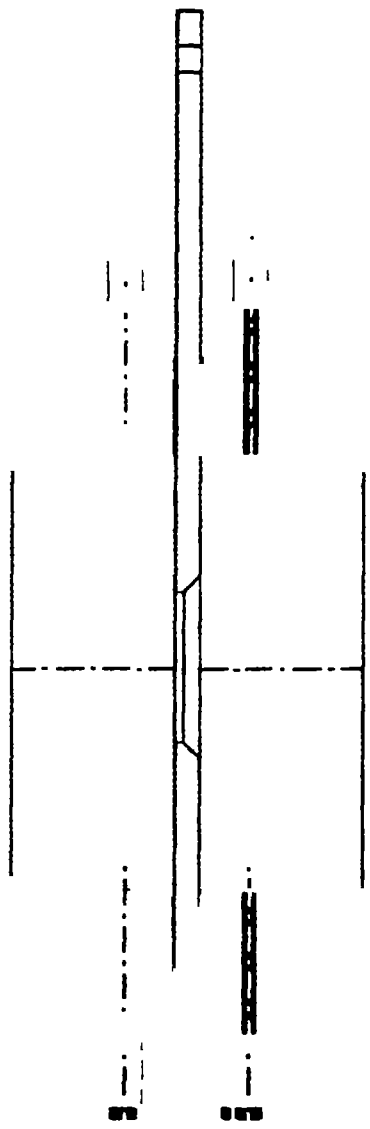


Рисунок 19.2. Калиброванный фланец, в котором два отверстия для замера давления расположены на двух полуфланцах, стягивающих диск перекрытия.



Рисунок 19.3. Сопло для измерения напора.

Диаметр диафрагм бывает различным, от 25 до 600 мм. На практике их использование очень распространено в связи с простотой конструкции и низкой стоимостью. Однако необходимо учитывать, что диафрагма создает значительное сопротивление потоку жидкости и вследствие этого приводит к большим потерям напора; поэтому она может использоваться только в трубах, имеющих достаточный запас прочности.

Другим приспособлением для измерения расхода является сопло (рисунок 19.3), которое вызывает меньшие потери напора по сравнению с диафрагмой. Оно представляет собой особым образом выполненную коническую форму (из бронзы или нержавеющей стали), которая крепится между дисками уплотнения при помощи вспомогательного фланца.

Все элементы перекрытия должны иметь прямые и равной длины направляющие пропуска воды, располагаясь выше и ниже измерительного устройства для обеспечения наличия прямого и равномерного потока воды до попадания в конус сужения. Нормативом UNI устанавливается длина этих направляющих относительно диаметра трубы и отдельных характеристик как трубы, так и измерительного прибора.

Обнаружение мест утечек воды из труб

Те же устройства, которые используются для обнаружения мест утечек жидкости в грунте или в стенной кладке, применяются затем и для контроля нормального водотока в сетях водоснабжения, установках обогрева и кондиционирования воздуха. По оценкам, из отверстия диаметром всего в 3 мм при давлении 5 бар вытекает в час 490 литров воды, что в год составляет 4300 м³.

Утечки воды в холодильных установках и установках для кондиционирования воздуха не только повышают расход воды, но и влекут за собой дополнительные затраты в связи с перерасходом электроэнергии для обработки вновь поступающей в контур воды.

При вытекании жидкости под давлением из отверстия образуется шум, как в месте утечки в связи с прохождением воды через щель, так и при попадании воды на грунт, и при просачивании через него. Шум распространяется вокруг места утечки и, в частности, в обоих направлениях вдоль трубы (особенно если труба металлическая, ввиду высокой акустической проводимости металла).

Поиск мест утечки воды производится различными способами: наиболее распространенный — использование электроакустического оборудования. С помощью электроакустических устройств шумы, возникающие в месте утечки, усиливаются, визуализируются на экране и вводятся в память компьютера для того, чтобы точно установить расположение места утечки. Для этого используются пьезоэлектрические микрофоны. Электроакустическое оборудование, в особенности благодаря новым технологиям преобразования звука шумов, является в настоящее время самым распространенным инструментом для быстрого обнаружения мест утечки и для поиска таких мест на участках с отсутствием большого фонового шума.

Защита от замерзания воды

При эксплуатации контуров воды, имеющих наружные участки, в регионах с возможностью снижения зимней температуры ниже 0°C требуются соответствующие меры по защите от опасности замерзания воды. Кроме термоизоляции самих труб, в настоящее время широко используется добавление в воду контура определенного количества этилен-гликоля или пропилена для снижения температуры замерзания раствора ниже минимальной зимней температуры. Важно использовать в этих целях специальные добавки для установок для кондиционирования воздуха и избегать применения антифризов для двигателей, поскольку возможна их несовместимость с различными материалами, используемыми в установках HVAC, а также ввиду их особенностей, связанных со снижением времени рабочих показателей. Обычно предпочтение отдается растворам этилен-гликоля, в меньшей степени используются растворы пропилен-гликоля, поскольку последние обладают большей вязкостью и меньшей эффективностью при теплообмене. В то же время, растворы пропилен-гликоля имеют меньшие значения токсичности относительно первой группы, поэтому их применение может быть оправданным в тех случаях, когда имеется возможность случайного попадания этих растворов из места утечки в питьевую воду.

На практике, раствор этилен-гликоля может использоваться при температуре внешнего воздуха до −34°C; минимальная температура эксплуатации пропилен-гликоля значительно более высокая: −18°C.

Коэффициент теплообмена гликольного раствора намного ниже, чем коэффициент теплообмена чистой воды, поэтому передача тепловой и холодильной энергии в установке понижается.

Таблица 19.1. Исходные параметры и значения коэффициента коррекции при использовании этилен-гликоля.

Температура внешнего воздуха (°C)	⩽−3	⩽−8	⩽−14	⩽−22	⩽−33
Рекомендуемое весовое содержание гликоля, %	10	20	30	40	50
Коррекция холодильной мощности	0,991	0,9852	0,972	0,961	0,946
Коррекция потребляемой мощности	0,996	0,992	0,986	0,976	0,966
Коррекция КПД	0,995	0,990	0,985	0,982	0,979
Коррекция объема подачи	1,013	1,040	1,074	1,121	1,178
Коррекция потери напора	1,070	1,129	1,181	1,263	1,308

На таблице 19.1 приведены некоторые данные относительно параметров холодильных групп, используемых для охлаждения воды и этилен-гликоля. В ней приводятся параметры процентного содержания этилен-гликоля, используемого для обеспечения морозостойкости раствора, относительно минимальных значений температуры внешней среды, а также некоторые коэффициенты коррекции показателей холодильной мощности, потребляемой электроэнергии и пр.

Обработка воды градирни

Обработка воды градирни имеет большое значение для нормального функционирования холодильной установки. Система охлаждения воды с использованием градирни с открытым контуром позволяет понизить температуру воды благодаря использованию косвенного тепла испарения. Однако в процессе этого уменьшается количество воды в контуре при одновременном возрастании процентного содержания солей (последствия: жесткость, ионы хлора, ионы серы). В связи с тем, что вода и воздух находятся в градирне в постоянном контакте, пыль, частицы грунта, песок и серный ангидрид, присутствующие в атмосферном воздухе, попадают внутрь градирни, ухудшая качество воды. При функционировании системы охлаждения проблемы, связанные с водой, возникают главным образом по этим причинам и могут заключаться в повышенной коррозии контура, отложениях осадка, развитии микроорганизмов, как уже было отмечено при рассмотрении функционирования градирен.

Таблица 19.2. Стандартные показатели качества воды.

Предмет проверки	Вода охлаждения [1]		Горячая/холодная вода		Тенденция	
	1 прогон или возврат	Вода заполнения	Возврат воды	Вода заполнения	Коррозия	Отложения осадка
pH (25°C)	6,5–8,0 [2]	6,5–8,0 [2]	6,5–8,0 [2]	6,5–8,0 [2]	Да	Да
Электропроводность (25°C мкс/см)	⩽ 800	⩽ 200	⩽ 500	⩽ 200	Да	Нет
Содержание щелочи (ppm)	⩽ 100	⩽ 50	⩽ 100	⩽ 50	Нет	Да
Общий показатель жесткости (ppm)	⩽ 200	⩽ 50	⩽ 100	⩽ 50	Нет	Да
Ионы хлора (ppm)	⩽ 200	⩽ 50	⩽ 100	⩽ 50	Да	Нет
Ионы серной кислоты (ppm)	⩽ 200	⩽ 50	⩽ 100	⩽ 50	Да	Нет
Железо, всего (ppm)	⩽ 1,0	0,3	⩽ 1,0	0,3	Да	Да
Ионы серы (ppm)	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Да	Нет
Ионы аммиака (ppm)	⩽ 1,0	⩽ 0,2	⩽ 0,5	⩽ 0,2	Да	Нет
Кремний (ppm)	⩽ 50	⩽ 30	⩽ 50	⩽ 30	Нет	Да
Углекислота (ppm)	[3]	[3]	10	10	Да	Нет

Примечания:

(1) Из градирни.

(2) Стандартные показатели воды охлаждения и воды заполнения являются чисто условными. Показатель pH воды заполнения указан в пределах от 0,6 до 8,0 в связи с тем, что при циркуляции воды в градирне не существует препятствий к повышению pH, даже если этот показатель временно понижается в связи с растворением углекислого газа, используя воду сети водоснабжения. Несмотря на то, что в список не внесены углекислый газ, марганец, остаточный хлор, так как не установлен допустимый предел их содержания, они входят в группу веществ, вызывающих коррозию.

(3) Каждый из стандартных показателей может оказывать влияние на коррозию и появление отложений осадка: если значение каждого показателя отклоняется от стандартного, он признается вызывающим коррозию или отложение осадка; поэтому эти показатели должны периодически проверяться.

(4) Диапазон допустимости показателей используемой воды зависит от применяемого метода обработки. При возникновении сомнений необходимо обратиться к специалисту по обработке воды.

Стандартные показатели качества воды

Основной метод проверки состояния воды заключается в анализе ее состава; стандартные показатели качества воды приводятся в таблице 19.2. Характеристики воды должны находиться в пределах этих величин, для чего необходима периодическая замена всей воды, либо постоянная ее сменяемость. Это позволяет максимально снизить концентрацию загрязнений. Еще одной мерой является химическая обработка воды системы в случае несоответствия используемой воды указанным показателям, а также в целях снижения ее расхода.

Типичные меры контроля качества воды

Регулировка качества воды путем частичного ее слива позволяет заменять воду системы охлаждения для снижения повышенных концентраций веществ в воде, циркулирующей в градирне, и предотвращения изменения показателя pH и повышения концентрации коррозийных агентов и отложений. Возможно применение следующих методов:

1) ручной постоянный частичный слив воды с одновременным доливом;
2) автоматический частичный слив с использованием электронных систем;
3) добавление антикоррозионных составов;
4) проверка наличия отложений грязи;
5) сезонное проведение анализа воды.

При продолжительной остановке оборудования необходимо проводить соответствующую обработку воды, как в контуре охлаждения, так и в контуре охлажденной воды.

Вода контура охлаждения

Существует два способа проведения обработки:

1) с оставлением воды в контуре установке;
2) с полным ее сливом.

Сохранение воды в контуре охлаждения установки. Этот способ применим, когда отсутствует опасность замерзания воды. Основные этапы проведения работ заключаются в следующем:

1) слить воду через сливной кран из контура охлаждения в контур слива воды;
2) добавить антикоррозийный состав;
3) заполнить водой установку;
4) запустить водяной насос контура охлаждения до полного равномерного смешивания с водой антикоррозийного состава (требуется более 30 минут);
5) закрыть клапаны перекрытия подачи и выхода воды на контуре охлаждения.

Слив воды из контура охлаждения установки (сухой метод). Этот метод рекомендован при опасности замерзания воды, при отказе от применения антифриза. Основные виды работ здесь следующие:

1) слить воду охлаждения через сливной кран контура слива воды;
2) снять с труб нейлоновой щеткой отложения осадка и/или грязи. Если отложения осадка и/или грязи не удаляются щеткой, использовать химические средства очистки;
3) обильно промыть водой;
4) добавить в воду антикоррозийный химический состав. осуществить прогон установки с антикоррозийной присадкой в течение 30 или более минут;
5) слить воду через кран контура слива воды;
6) при отключении насоса оставлять кран слива открытым.

Охлажденная вода

Действия по обработке охлажденной воды являются аналогичными описанным выше, с учетом того, что соответствующий контур обычно является закрытым и не требует проведения столь частых проверок, как в отношении открытых контуров (градирня). Необходимо поддерживать контур заполненным водой; зимой при температуре ниже 0°C следует проводить защитную обработку оборудования для предотвращения замерзания воды.

Линии вывода конденсата

Проверка вывода конденсата, ввиду узкой локализации задействованных участков установки, является весьма важной ввиду:

1) предотвращения опасности развития микроорганизмов, загрязняющих установку;
2) обеспечения функционирования установки без принятия особых мер по техническому обслуживанию и предотвращения нанесения повреждений предметам.

Для обеспечения этих условий присутствие конденсата должно ограничиваться следующими участками:

— поверхности батарей охлаждения;
— поддон для сбора воды под батареей, небольшого размера и с соответствующим наклонным дном;
— линия вывода, обеспечивающая его свободный слив без образования скоплений.

Если эти условия соблюдаются, работы по текущему техническому обслуживанию установки для обработки воздуха ограничиваются лишь несколькими простыми рутинными операциями: проверки, чистка и промывка контура слива (накопитель, уплотнения и линии).

Основные неисправности, приводящие к попаданию конденсата за пределы батареи охлаждения и накопителя, связаны главным образом с:

— выносом конденсата из батареи с потоком воздуха;
— падением капель конденсата на внутренние компоненты установки;
— несоответствием требованиям эксплуатации размеров поддона для сбора конденсата.

При наличии этих явлений обычных мер по техническому обслуживанию оказывается недостаточно для восстановления нормальных рабочих условий.

О первых двух позициях уже было рассказано в Главе 18. Здесь мы остановимся на третьей.

Несоответствием требованиям эксплуатации параметров накопителя

Накопитель для сбора конденсата установок по обработке воздуха не всегда имеет правильную конфигурацию.

Основные причины несоответствия требованиям эксплуатации:

— слишком большая площадь поверхности сбора;
— неправильное расположение отверстия первичного слива;
— наличие внутренних перегородок.

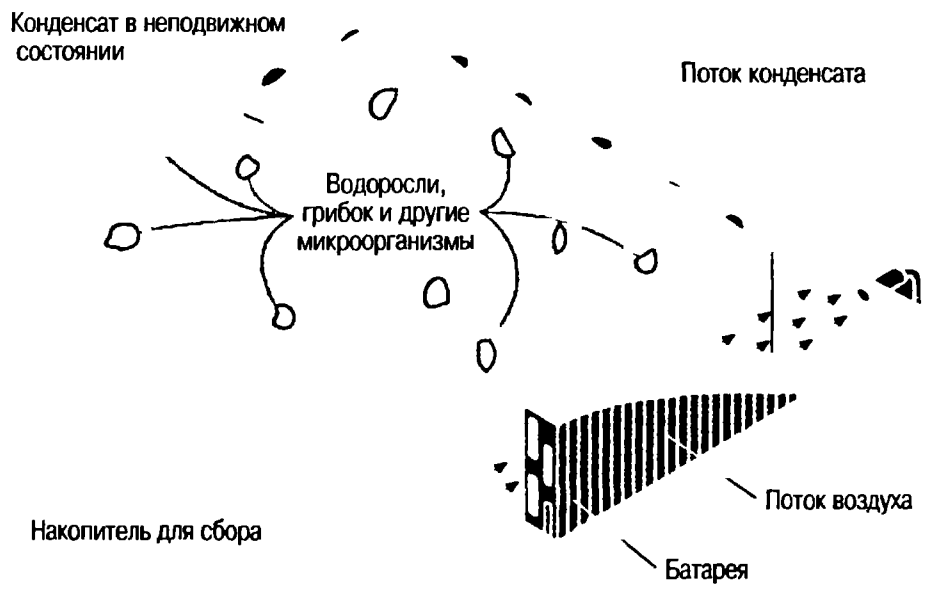
Эти недостатки должны быть устранены для того, чтобы обеспечить постоянность потока слива и позволить проводить нормальное планирование ведения технического обслуживания.

Капли конденсата, падающие в накопитель, особенно если он имеет плоское дно, равномерно заполняют поддон, жидкость достигает определенного постоянного уровня, который остается неизменным и зависит от скорости слива и расположения сливного отверстия; обычно слой жидкости имеет толщину от 3 до 12 мм. При функционировании установки конденсат в накопителе движется со стороны, расположенной под батареей к сливному отверстию, однако значительная часть воды находится в неподвижном состоянии; она является средой размножения для микроорганизмов (рисунок 19.4). В действующих установках возможным решением может являться установка дна накопителя под некоторым наклоном (в особых случаях изменяется положение всего агрегата) в сторону слива для сокращения площади неподвижной воды (рисунок 19.5). Рекомендуемое значение наклона — 2 см/м, однако, необходимо получить подтверждение от изготовителя оборудования.

Еще более эффективным средством является обеспечение наклона дна накопителя в двух сходящихся плоскостях. Таким образом удается вывести практически весь конденсат, остающийся в батарее. Тем не менее, и этот метод является недостаточно эффективным при большой площади поверхности накопителя. Капельки воды, по действием потока воздуха осаждающиеся на самой поверхности накопителя, удерживаются от слива силой поверхностного натяжения и становятся средой для размножения микроорганизмов.

Самым логичным решением представляется уменьшение площади поверхности накопителя. Его длина должна быть достаточной для улавливания капель на всей протяженности батареи охлаждения; таким образом может быть изменена ширина накопителя, то есть то расстояние, на которое он выступает за пределы батареи в направлении движения потока воздуха. Ширина должна быть достаточной для улавливания основной части образующегося конденсата, однако не настолько большой, чтобы возникали участки застойной воды.

Рисунок 19.4. Образование водорослей и грибка в накопителе для сбора конденсата, избыточная поверхность которого не обеспечивает равномерного движения воды к сливу.



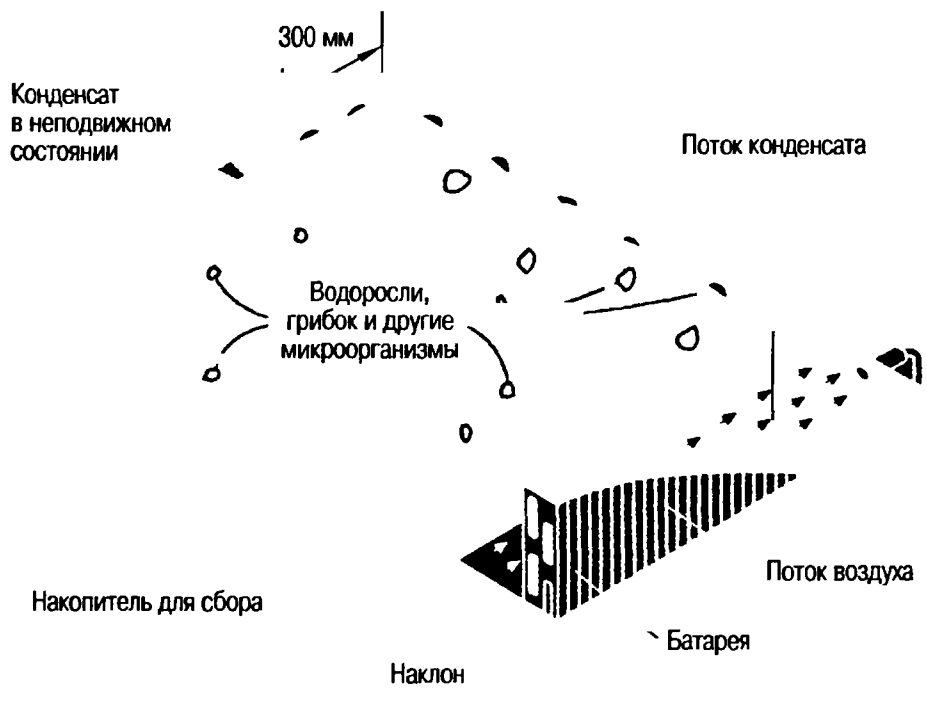


Рисунок 19.5. Правильный наклон накопителя для сбора позволяет обеспечить движение конденсата, хотя и сохраняет небольшие зоны остаточного развития микроорганизмов.

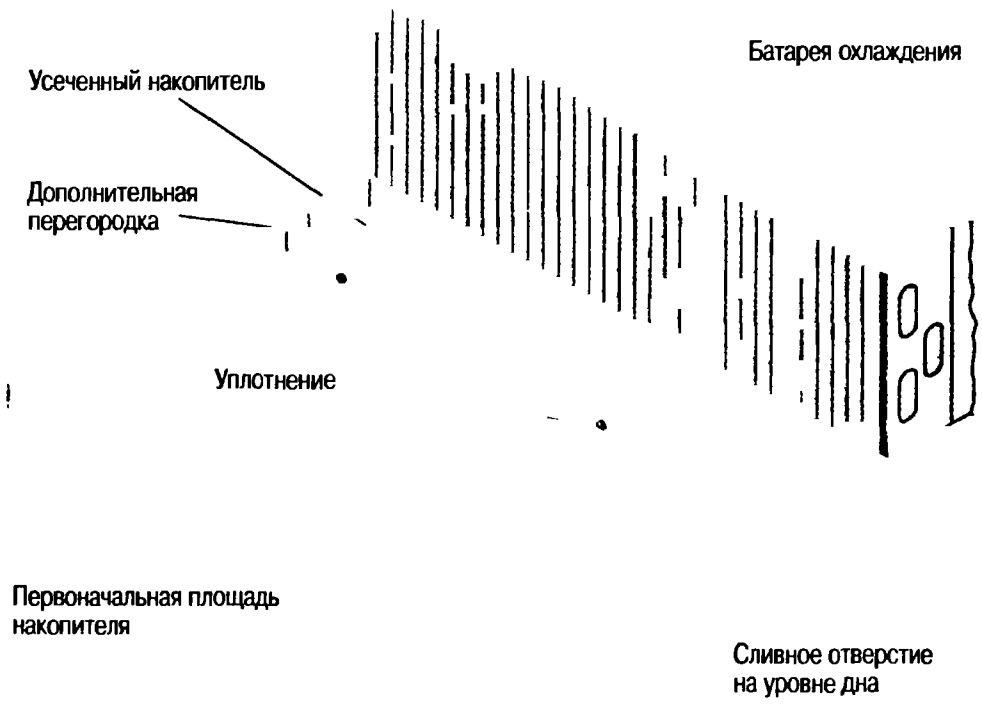


Рисунок 19.6. Уменьшение площади поверхности накопителя для сбора конденсата путем установки перегородки.

В действующих установках при слишком большой ширине накопителя, она может быть уменьшена до нужного размера путем установки внутри накопителя перегородки, запаянной на днище и по бокам, как показано на рисунке 19.6. В некоторых случаях необходимо изменить положение сливного отверстия.

Рекомендуемыми материалами для изготовления накопителя являются некоторые виды пластмассы и нержавеющая сталь; присутствия железных компонентов следует избегать, в связи с возможностью развития некоторых видов опасных бактерий.

Не следует недооценивать и значение места расположения отверстия для слива конденсата. Если оно установлено сбоку, выше уровня дна накопителя, тем самым затрудняется полный слив конденсата с образованием скоплений осадков и загрязнений на дне, что является благоприятной средой для развития микроорганизмов. В этих случаях требуются частые чистки и промывки, которые в любом случае трудно выполнить безукоризненно. Сливное отверстие должно располагаться на одном уровне с дном накопителя, лучше в самом дне.

Накопители с наклонным дном

Обычно установки для обработки воздуха и локальные терминалы оснащаются накопителями для сбора конденсата с плоским дном. Подобная конструкция, несмотря на большую простоту в изготовлении, не обеспечивает эффективного слива собранной воды, поскольку последняя часто находится в неподвижном состоянии, что приводит к образованию мха и скоплению загрязнений с повышением вероятности заражения потока воздуха. На практике нормативом Standart ASHRAE 62—1989 предписывается, что «конструкция накопителей для сбора конденсата должна обеспечивать его самосток для того, чтобы предотвратить загрязнение микроорганизмами».

Еще одной проблемой является засорение канала слива скопившейся грязью. В этом случае вода может переливаться через края накопителя с распространением ее на другие зоны установки с увеличением площади поверхности влажных участков и возрастанием возможности развития микроорганизмов. Для предотвращения этого и для соблюдения положений Standard ASHRAE 62—1989 накопители для сбора конденсата всех установок для кондиционирования воздуха нового изготовления должны выполняться под наклоном, желательно с двумя наклонными плоскостями, для обеспечения удовлетворительного стока воды.

На рисунке 19.7 показан агрегат, состоящий из батареи охлаждения с соответствующим накопителем для сбора конденсата; дно в последнем сделано с двумя наклонными в сторону центра плоскостями, что, как было сказано, обеспечивает самосток. Кроме того, накопитель должен быть выполнен из нержавеющей стали высокого качества или из полимерного материала, устойчивого к коррозии и образованию трещин.

Для предотвращения опасности возврата газа от накопителя в установку с последующим его распространением на другие ее участки важным является также проведение соответствующих проверок каналов слива.

Секции увлажнения и промывки являются зачастую непростыми участками для предотвращения захвата воды ниже установки и каналов воды и падения капель с образованием участков влажности выше них. Для предотвращения этой опасности наряду с другими были разработаны решения, основывающиеся на использовании элементов постиспарения, устанавливаемых непосредственно перед соплами увлажнителей V-видной формы. Эти элементы, выполненные из особого пористого керамического материала, обеспечивающего значительную площадь испарения, способствуют повышению эффективности работы увлажнителей воздуха и предотвращают попадание взвеси воды в участки, расположенные ниже по контуру.

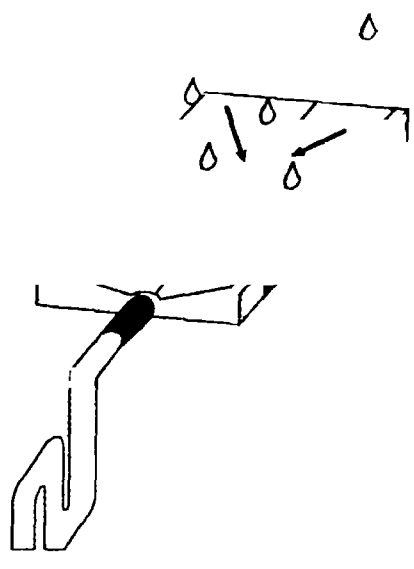


Рисунок 19.7. Батарея охлаждения, под которой показан накопитель для сбора конденсата, имеющий две наклонные плоскости, что обеспечивает слив воды без образования зон стоячей воды.

Проверка функционирования накопителей

Разработан специальный метод проведения проверки функционирования накопителей для сбора конденсата, позволяющий убедиться в наличии правильного вывода конденсата. В установках, оснащенных вентиляторами, установленных ниже по контуру батарей теплообмена, необходимо временно перекрывать слив и заполнять накопитель водой до уровня 13 мм (либо до максимально возможного). Затем производится запуск вентилятора, вынимается пробка канала накопителя и производится наблюдение за функционированием системы. Слив считается удовлетворительным, если вода полностью сливается из накопителя за три минуты с оставлением пятен воды диаметром не более 50 мм и глубиной до 3 мм.

При нормальном функционировании накопители должны проверяться и очищаться не реже 1 раза в год (в регионах с влажным климатом не реже 1 раза в 6 месяцев). Налет микроорганизмов, грязи и грибка в накопителе и на прилегающих поверхностях должен удаляться механическим путем, поскольку он является единственным способом проведения дезинфекции, позволяющим удалить все биологические загрязнения.

Проверка функционирования сифона водостока

Все линии слива конденсата с выводом его в канализацию должны быть оснащены сифонами, способными удерживать в себе жидкость для недопущения возврата запаха и вредных элементов в помещение. Почти во всех случаях в установках для обработки воздуха вентилятор устанавливается ниже по контуру накопителя для сбора конденсата, в отношении которого он действует в качестве вытяжки. Без принятия необходимых мер подобное разряжение воздуха может воспрепятствовать сливу воды из накопителя. Сифон должен быть соответствующего размера, позволяющего производить слив конденсата с сохранением в нем достаточного уровня воды. Проблемы, связанные с неправильным выбором размера сифона, следующие:

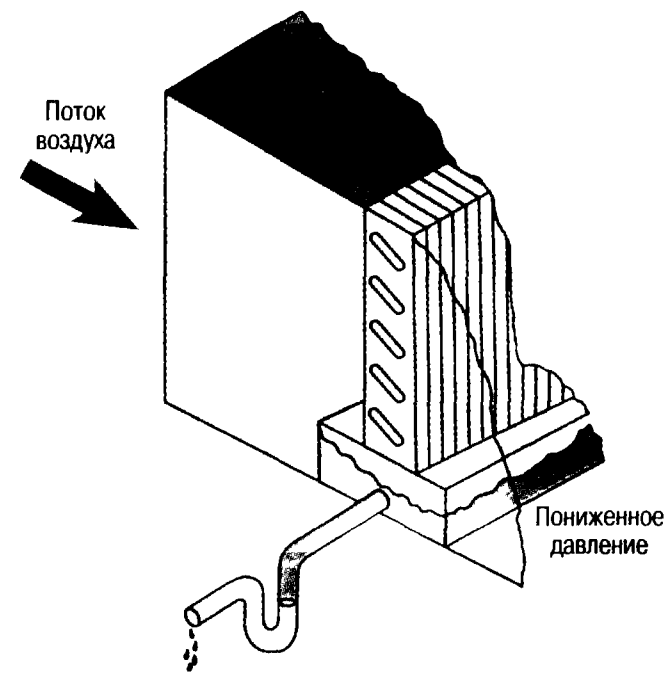
— Выход сифона находится на том же уровне, что и вход (рисунок 19.8). Происходит избыточное накопление конденсата в накопителе с опасностью развития микроорганизмов, просачивания жидкости и созданием взвеси воды.
— Недостаточная глубина сифона (рисунок 19.9) Возникает опасность отсутствия водоизоляции с возвратом зловонных запахов.

Наиболее распространенными неисправностями, связанными с некачественным подсоединением и установкой сифона, являются:

— Засорение сифона (рисунок 19.10). Это происходит почти во всех агрегатах каждые 2–3 года. Причина может заключаться в развитии водорослей в накопителе и/или попадании посторонних предметов. Последствиями являются переливание конденсата с возникновением опасности неполадок и заражения участков установки.
— Замерзание воды в сифоне. Имеет место в агрегатах, установленных снаружи в холодное время года. Последствия схожи с теми, что описаны выше с добавлением опасности разрыва трубы в результате образования льда.
— Высыхание сифона. Возможно в основном в двух случаях: при функционировании в зимнее время или при новом запуске летом. В обоих случаях происходит выброс зловоний и вредных элементов в помещение, а также перелив конденсата (летом).

Проверка функционирования сифона должна стать рутинной операцией при техническом обслуживании установки. При возникновении любых признаков некачественного функционирования, сифон следует заменить; во всех остальных случаях не реже одного раза в квартал должна производиться чистка и проверка их функционирования.

Рисунок 19.8. Неправильная установка сифона: его выход находится на том же уровне, что и вход; неизбежно скопление избыточного количества конденсата в накопителе с опасностью перелива и развития водорослей.



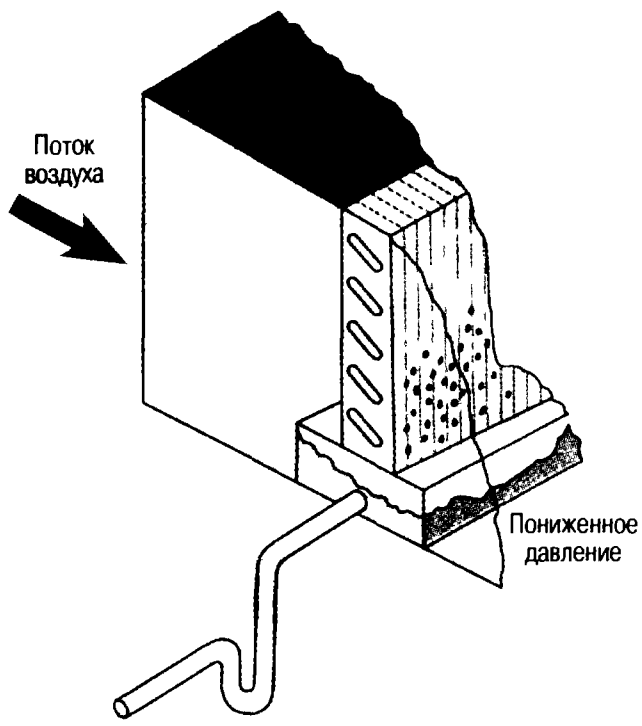


Рисунок 19.9. Недостаточная глубина сифона является еще одной причиной возникновения опасности недостаточной водоизоляции, всасывания газов из канализации и перелива конденсата.

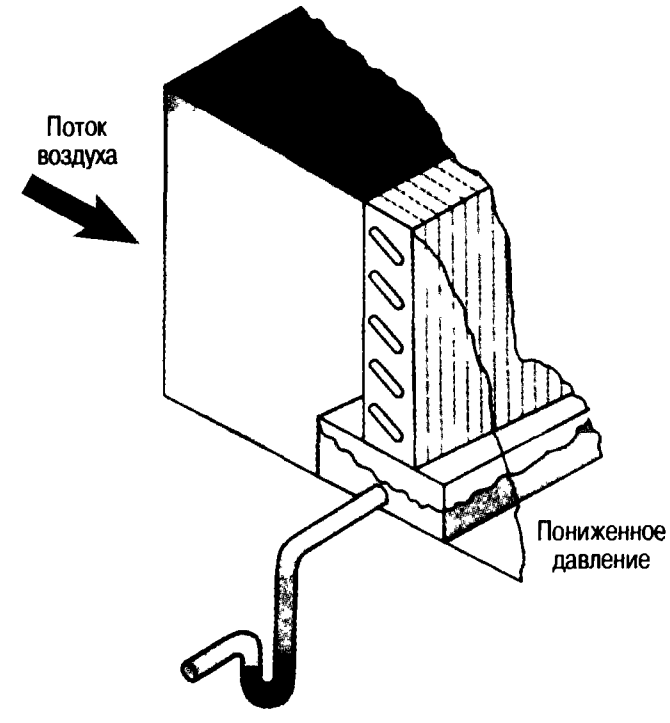


Рисунок 19.10. При отсутствии регулярной чистки и технического обслуживания засорение сифона может происходить 1 раз в 2–3 года; результатом являются образование водорослей и переливы конденсата.

ГЛАВА 20

Абсорбционные агрегаты на бромиде лития

Рабочие циклы 276
Абсорбционный агрегат простого действия (базовый цикл) 276
Абсорбционный агрегат двойного действия 277
Вода охлаждения 278
Функционирование в режиме разряжения 281
Бромид лития 281
Эксплуатация 281
Контроль рабочих показателей 282
Метод установки рабочих показателей 282
Техническое обслуживание 283
Проверка разряжения 284
Процедура сброса 285
Метод считывания показателей манометра 285
Техническое обслуживание насоса сброса 286
Сброс холодильного агента 287
Проверка раствора бромида лития 287
Проверка топливного оборудования 287
Проверка температуры воды в системе охлаждения 287
Переработка воды градирни 287

Принцип функционирования холодильных абсорбционных агрегатов отличается от компрессионных. Для поддержания режима охлаждения в абсорбционных агрегатах используется тепло, передающееся в виде пара или перегретой воды, либо за счет газовых или дизельных горелок (в моделях с открытым пламенем).

В абсорбционных агрегатах на бромиде лития в качестве охладителя используется вода, а в качестве абсорбционного материала — водный раствор особой соли (бромид лития); этот раствор очень легко вступает в реакцию с водяным паром и, при его наличии, впитывает его до насыщения. Принцип функционирования абсорбционных агрегатов основывается именно на абсорбции водяного пара со стороны водного раствора солей бромида лития.

Оба вещества — вода и бромид лития — встречаются в природе, поэтому абсорбционные агрегаты могут считаться экологически безопасными, по крайней мере с этой точки зрения. Однако влияние на окружающую среду все же имеет место, поскольку для работы агрегатов требуется сжигание топлива — прямое или косвенное — газа или дизтоплива.

Абсорбционные агрегаты имеют еще две важные особенности. Во-первых, их функционирование является почти статичным (за исключением нескольких насосов), поэтому характеризуется высокой степенью бесшумности и отсутствием вибрации. Во-вторых, они работают при разряжении, т.е. ниже атмосферного давления, что вызывает опасность проникновения внешнего воздуха требует соответствующих мер по обеспечению его вывода посредством серийно установленных приспособлений.

Абсорбционные агрегаты на бромиде лития в настоящее время изготавливаются в двух основных модификациях с точки зрения цикла их функционирования: простого действия и двойного действия. Рабочий цикл простого действия представляет собой режим функционирования, который лежал в основе их появления; режим двойного действия является недавним изобретением, позволяющим обеспечить повышение энергетической эффективности агрегата.

Особенности эксплуатации и технического обслуживания этих агрегатов похожи в обеих модификациях. Прежде чем перейти к их рассмотрению, приведем краткие сведения о типах их цикла функционирования.

Рабочие циклы

Абсорбционный агрегат простого действия (базовый цикл)

На рисунке 20.1 показана схема осуществления базового рабочего цикла абсорбционной холодильной машины простого действия.

Вода системы охлаждения (из градирни) поступает в два теплообменника с пучком трубок: сначала в теплообменник абсорбера агрегата (*4*), затем в теплообменник конденсатора (*2*), где она охлаждается и конденсирует пар холодильного агента (водяной пар), поступающий от генератора, тогда как в абсорбере забирает тепло при абсорбции пара холодильного агента абсорбирующим веществом.

В генераторе (*1*) производится нагрев раствора до выделения пара холодильного агента и доведения раствора до концентрации, позволяющей снова обеспечить абсорбцию пара холодильного агента.

В конденсаторе (*2*) пар холодильного агента, также поступающий от генератора, конденсируется с использованием воды охлаждения (из градирни).

Сконденсированный холодильный агент (вода) капает на трубки теплообменника испарителя (*3*). Здесь он испаряется на трубках при низкой температуре благодаря разряжению, возникающему при последующей стадии абсорбции. Через трубки испарителя вода охлаждается за счет тепла испарения жидкого холодильного агента.

Парообразный холодильный агент сразу же абсорбируется абсорбционным материалом (*4*) на трубках теплообменника (абсорбера), по которым идет вода охлаждения (из градирни); абсорбирующий материал, разбавленный поглощенным паром холодильного агента, снова поступает в генератор, где цикл повторяется.

В абсорбционных агрегатах простого действия все тепло конденсации передается воде охлаждения. По сравнению с этой схемой, в холодильных агрегатах двойного действия (с двумя стадиями) тепло конденсации используется лучше.

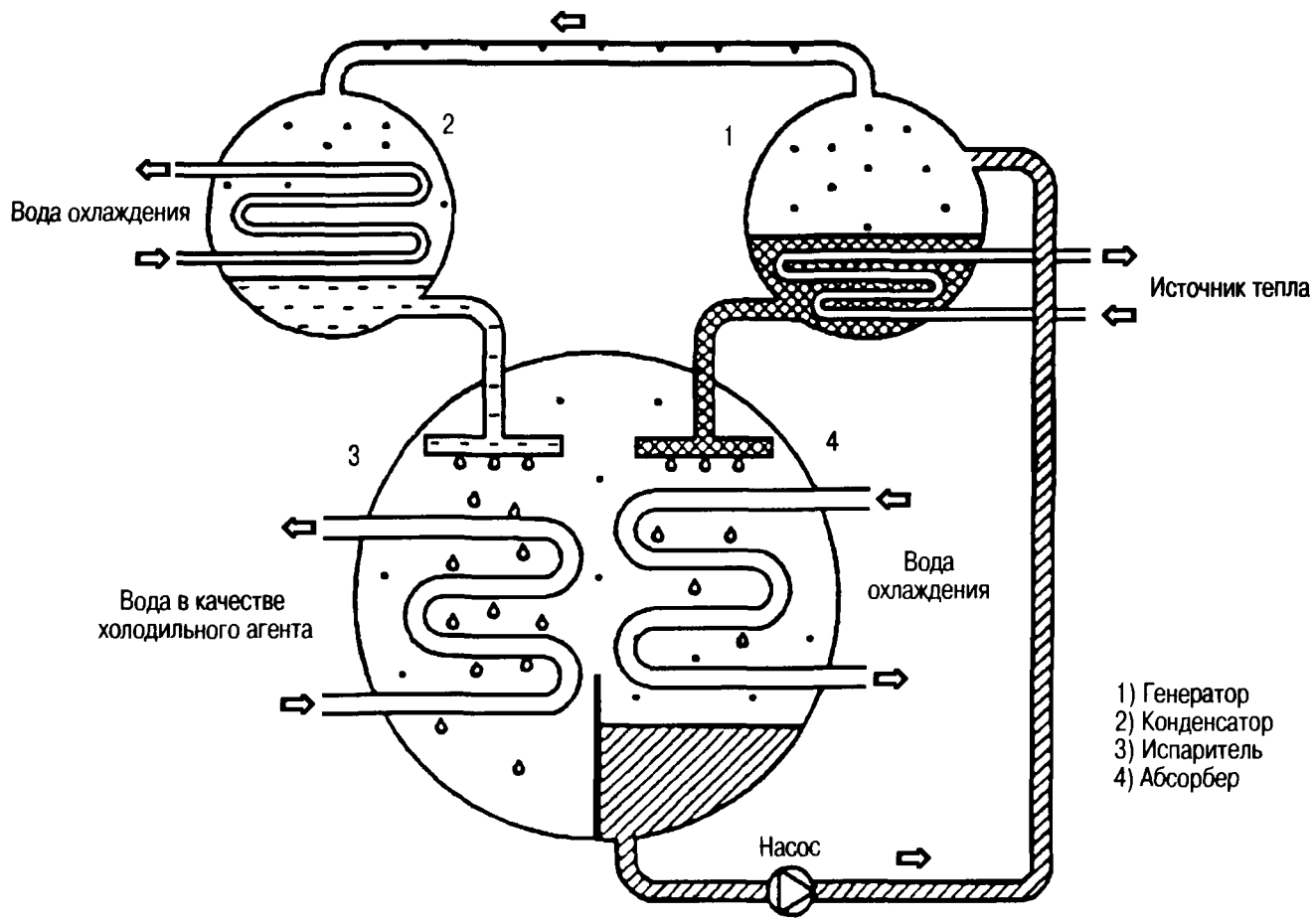


Рисунок 20.1. Схема функционирования абсорбционной холодильной машины на бромиде лития простого действия.

Абсорбционный агрегат двойного действия

На рисунке 20.2 показано, что блок генератора разделен на две стадии: генератор высокой температуры (первая стадия) с обогревом от газа или пара, и генератор низкой температуры (вторая стадия) с обогревом за счет самого холодильного агента. Вырабатываемый генератором высокой температуры парообразный холодильный агент используется для нагрева раствора бромида лития в генераторе низкой температуры, в котором величина давления (и температура кипения) ниже.

После этого, как было показано на примере холодильного агрегата простого действия, парообразный холодильный агент, нагретый в генераторе низкой температуры, поступает в конденсатор, где переходит в жидкое состояние. С другой стороны, парообразный холодильный агент, полученный из генератора высокой температуры, переходит в жидкое состояние, отдавая тепло промежуточному раствору бромида лития; этот процесс происходит в трубках теплообменника генератора низкой температуры.

Парообразный холодильный агент, полученный из обоих генераторов, высокой и низкой температуры, переходит в жидкое состояние и смешивается в конденсаторе перед попаданием в испаритель.

Таким образом, разбавленный раствор нагревается за счет источника тепла (на газе или паре) и за счет косвенного тепла, содержащегося в парообразном холодильном агенте, которое в противном случае отдавалось бы непосредственно воде охлаждения (из градирни). Подобный процесс обеспечивает уменьшение потерь энергии обогрева (газ, пар). Кроме того, меньшее количество тепла, передаваемое воде охлаждения, позволяет использовать меньшую по размерам градирню.

Для работы абсорбционных агрегатов двойного действия требуется больший разогрев раствора бромида лития в генераторе, поэтому они могут функционировать только с соответствующими типами источников тепла, например, с газовыми горелками, паром под давлением выше 400 кПа (около 4 Атм.) или перегретой водой с температурой выше 130°С. На рисунке 20.3 показана рабочая схема абсорбционного агрегата двойного действия с нагревом от открытого пламени в летнее время.

Та же установка может работать и в зимнее время при изменении рабочей схемы (рисунок 20.4). В таких условиях парообразный холодильный агент, разогретый до высокой температуры, попадает из генератора в абсорбер через клапан *А* (клапан переключения режима зима/лето). Парообразный холодильный агент конденсируется на трубках теплообменника испарителя, вода, находящаяся в трубках, нагревается теплом конденсации конденсирующегося холодильного агента и может использоваться в целях отопления.

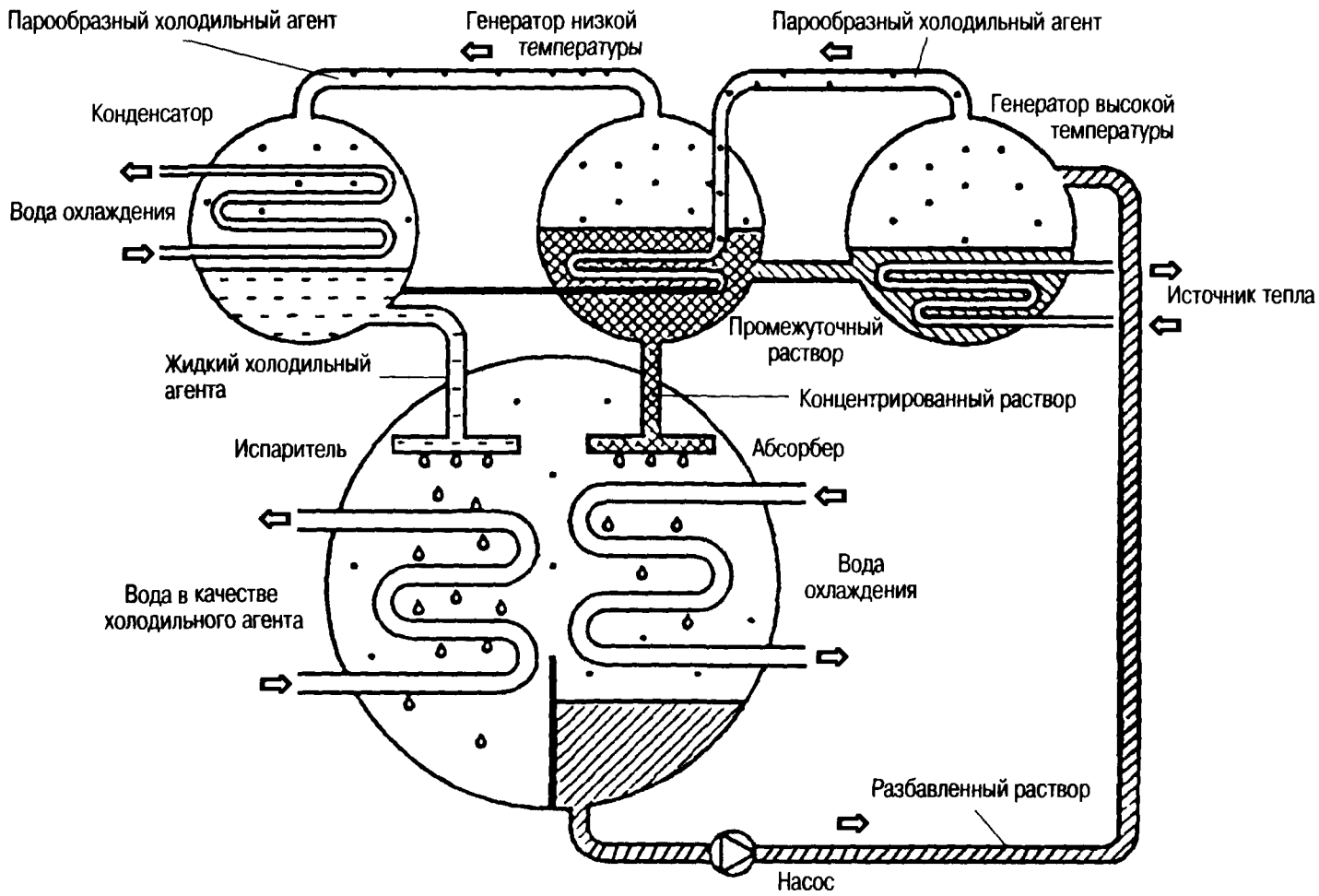


Рисунок 20.2. Схема функционирования абсорбционного агрегата двойного действия: при сравнении с рисунком 20.1 (простого действия) заметно наличие второго генератора высокой температуры.

Вода охлаждения

Вода охлаждения поступает из градирни в абсорбер и в конденсатор. На стадии абсорбции она отбирает тепло от раствора бромида лития, затем от парообразного холодильного агента, который переходит в жидкое состояние.

Абсорбционная способность раствора бромида лития повышается при понижении температуры воды охлаждения. При понижении температуры воды охлаждения понижается также температура конденсации холодильного агента; вследствие этого понижается, в свою очередь, давление конденсации. По мере понижения температуры отделения парообразного холодильного агента из раствора бромида лития при снижении давления конденсации (температуры генератора) появляется возможность использования меньшего количества тепла, что оборачивается снижением энергоемкости.

Тем не менее, необходимо обращать внимание на то, чтобы не происходило чрезмерное снижение температуры воды охлаждения, поскольку при показателях ниже определенного уровня часть бромида лития выпадает в осадок (это явление присуще всем абсорбционным агрегатам, как простого, так и двойного действия). Например, в зависимости от концентрации, выпадение твердого осадка происходит следующим образом:

— при концентрации 65%: температура ниже 42°C;
— при концентрации 60%: температура ниже 17°C.

Наоборот, при повышении температуры воды охлаждения абсорбционная способность раствора бромида лития уменьшается. Холодильный агент не обеспечивает нормальной температуры охлаждаемой воды и вызывает перерасход топлива для нагрева.

Для предотвращения последнего явления необходимо осуществлять качественное техническое обслуживание контура воды охлаждения (оборудование и устройства для проверки), а также производить необходимую обработку самой воды. Эта операция имеет первостепенное значение для обеспечения нормального функционирования абсорбционного холодильного агрегата: если качество воды не соответствует норме, в пучках трубок образуются отложения осадка, что приводит к снижению показателей теплообмена и последующему перерасходу энергии.

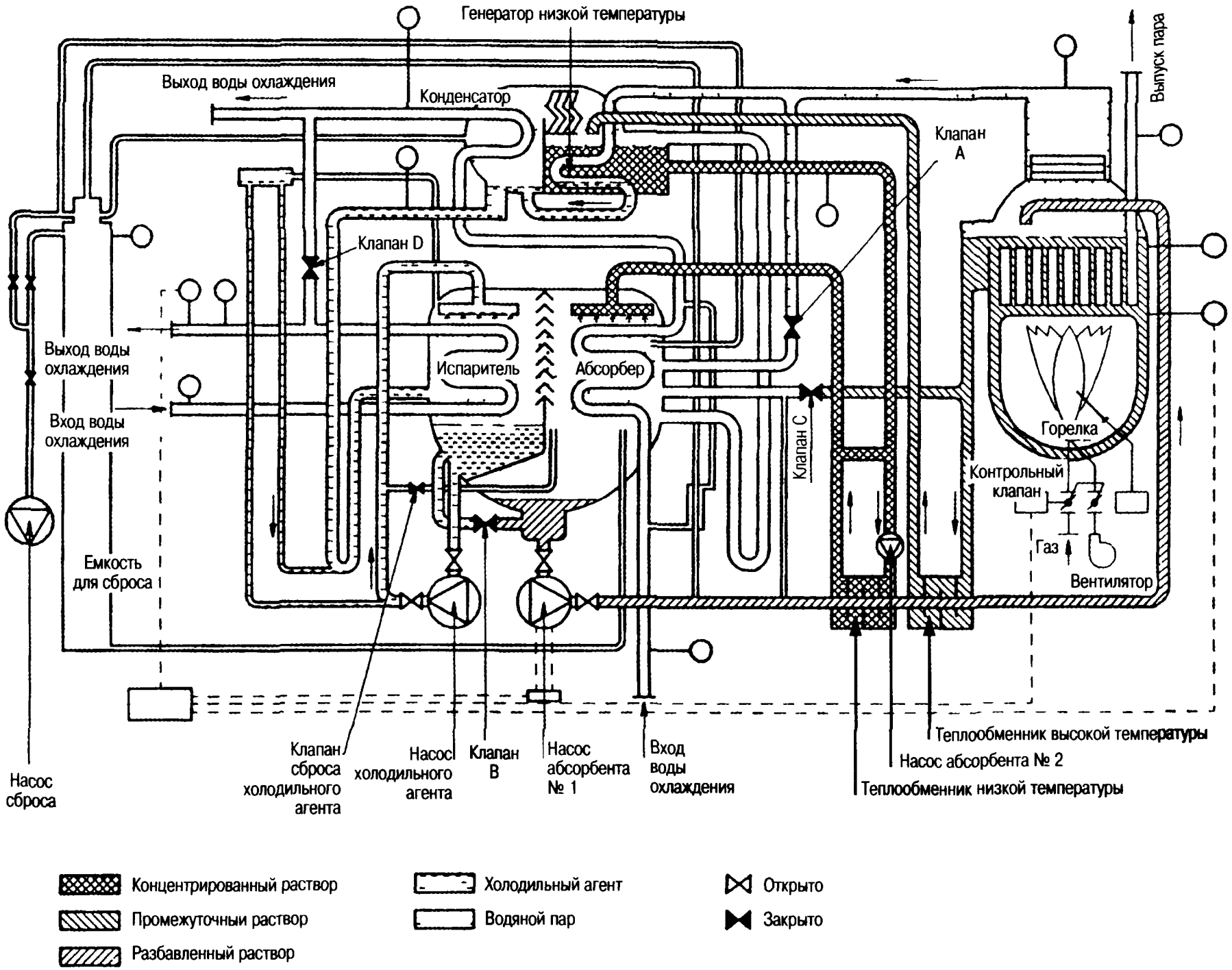


Рисунок 20 3 Схема функционирования абсорбционного агрегата двоиного ***действия*** *с нагревом* ***от открытого пламени в летнее время,*** *принцип функционирования аналогичен показанному на рисунке 20 2*

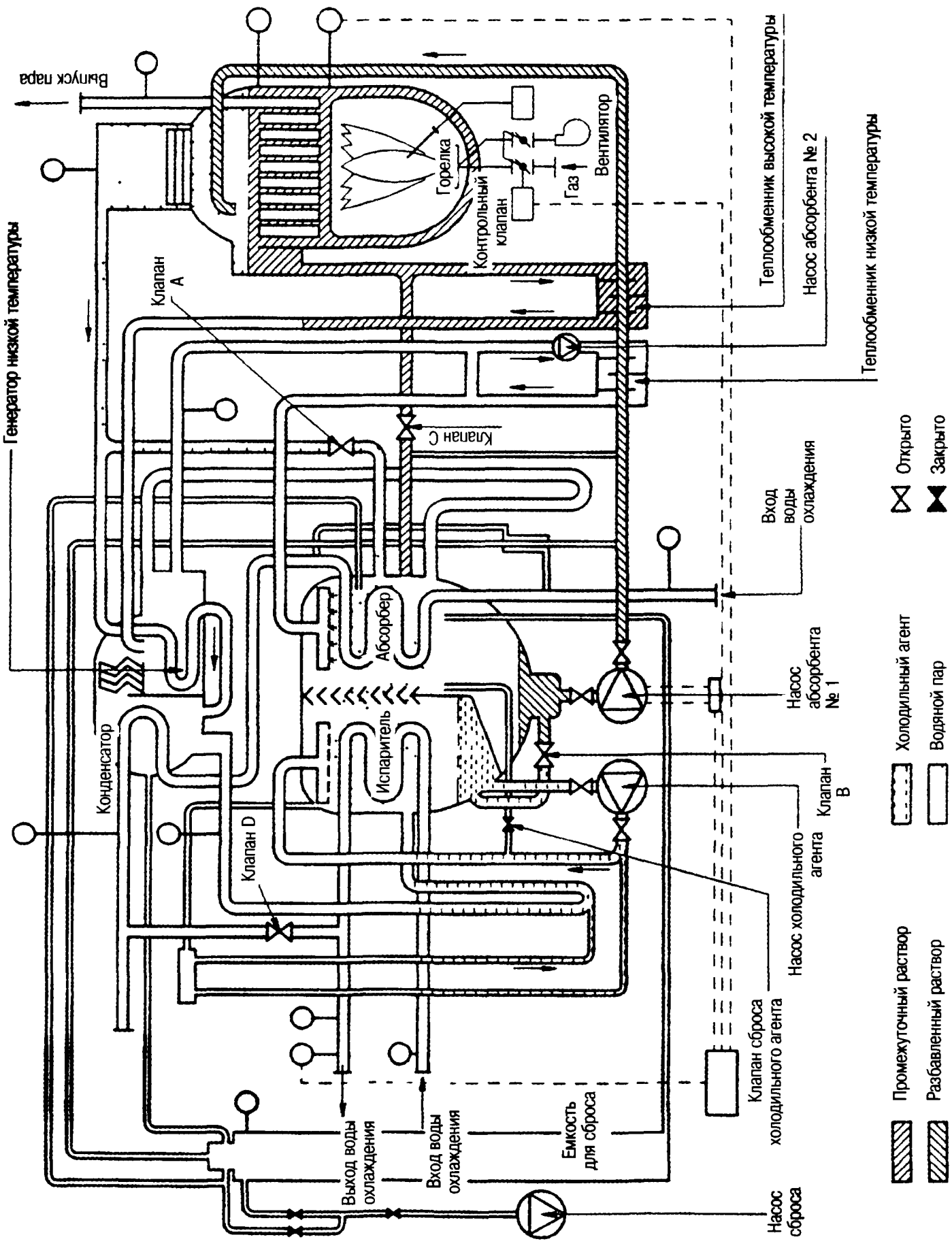


Рисунок 20.4. Схема функционирования абсорбционного агрегата двойного действия с нагревом от открытого пламени в зимнее время, в этом режиме установка производит нагрев воды, которая может использоваться для отопления.

Функционирование в режиме разряжения

Величины давления ниже атмосферного, подобные тем, которые присущи абсорбционным агрегатам, обычно называются разряжением. Чтобы правильно понять важность фактора разряжения для функционирования абсорбционных агрегатов, необходимо вспомнить соотношение давления и температуры испарения воды.

В то время как при атмосферном давлении температура кипения (испарения) воды равна 100°C, при пониженном давлении (разряжении) величина температуры кипения уменьшается. В таблице 20.1 приводятся значения соотношений давления и температуры кипения воды.

Как уже говорилось, в абсорбционном агрегате необходимо постоянно поддерживать высокие показатели разряжения. Для обеспечения температуры охлаждаемой воды на уровне 7°C температура испарения холодильного агента должна быть равна 5°C, поэтому необходимо поддерживать величину разряжения в испарителе на уровне примерно 6,5 мм рт. ст.

Таблица 20.1. Соотношения показателей давления и температуры кипения воды

	Давление манометра (бар)	Абсолютный показатель давления (мм рт. ст.)	
Атмосферное давление ↑	10,5 8 5 1 0,5		*Давление соответствующее двойному действию* Давление соответствующее одинарному действию
101,325 кПа	0	760	Атмосферное давление
↓ Вакуум		525,9 61,0 9,2 6,54	Давление в конденсаторе Давление в испарителе

Бромид лития

Бромид лития является веществом, получаемым из минерала лития и брома, выделяемого из морской воды; он обладает теми же характеристиками, что и хлорид натрия (NaCl): как литий (Li), так и натрий (Na) являются щелочными металлами, а хлор (Cl) и бром (Br) — галогены. Хлорид натрия представляет из себя соль, которая при оставлении ее на атмосферном воздухе уплотняется за счет абсорбции воды.

Бромид лития имеет такое же действие, но с более высокими показателями абсорбционной способности. Чем выше его концентрация в растворе, тем ниже температура и тем выше абсорбционная способность.

В присутствии кислорода бромид лития вызывает коррозию, однако, поскольку в агрегате устанавливается разряжение, большая часть кислорода выводится из него. Для полного устранения опасности коррозии в раствор абсорбента добавляется ингибитор (антикоррозийная присадка), корректирующая и его щелочное действие.

Операции с абсорбентом следует производить с соблюдением мер предосторожности. Необходимо также определить наличие необходимого количества ингибитора путем химического анализа.

Эксплуатация

Несмотря на видимую простоту конструкции абсорбционного холодильного агрегата по сравнению с электрическим, ввиду отсутствия движущихся механических частей, как, например, в компрессорах, в действительности, он состоит из многих контуров, осуществляющих передачу тепла, каждый из которых имеет автоматические контрольные клапаны, датчики температуры и давления, насосы циркуляции раствора, насос циркуляции холодильного агента, ручные вспомогательные клапаны, кулисы, датчики уровня жидкости, а также все необходимое оборудование для обеспечения работы газовой горелки.

Всем этим обуславливается определенная сложность эксплуатации агрегатов, наряду с отличным от компрессионных установок принципом функционирования.

Контроль рабочих показателей

Как правило, современные абсорбционные агрегаты оснащены электронным пультом управления, обеспечивающим в автоматическом режиме управление и контроль, необходимые для поддержания нормального режима функционирования установки. На пульт выводятся также разнообразные данные, на основании которых возможно определить состояние и степень исправности агрегатов.

Основными показателями, которые следует проверять и задавать при работе установки с открытым пламенем на газе для обеспечения нормального функционирования абсорбционного холодильного агрегата, являются:

— температура в камере сгорания газа;
— температура паров выпуска;
— температура охлаждаемой воды на входе и выходе;
— температура поступающей воды охлаждения.

Кроме того, система контроля должна предоставлять следующие данные:

— общее количество часов функционирования агрегата;
— количество часов функционирования насоса холодильного агента;
— количество часов функционирования газовой горелки;
— количество запусков и остановок газовой горелки.

Метод установки рабочих показателей

При запуске абсорбционного холодильного агрегата необходимо правильно установить значения температуры выхода охлажденной или горячей воды, в зависимости от сезона функционирования, и допустимой разницы. Необходимо также открыть или закрыть клапаны, в зависимости от того, планируется ли использование установки для охлаждения или для нагрева воды. Кроме того, надо открыть основной клапан подачи газа и произвести запуск.

Последовательное включение основных элементов абсорбционного холодильного агрегата производится автоматически за счет системы программного управления функционированием, а именно:

1) запуск вентилятора газовой горелки, запуск насоса абсорбента и насоса холодильного агента;
2) открытие и последующее закрытие клапана контроля потока газа;
3) запуск горелки и открытие управляющего соленоидного клапана;
4) открытие клапана отвода газа.

Во время функционирования микропроцессор автоматически регулирует работу клапана контроля потока газа в зависимости от требуемых показателей холодильной мощности.

Если необходимо остановить работу холодильного агрегата, система управления осуществляет следующие последовательные операции:

1) закрытие клапана потока газа и остановка насоса холодильного агента;
2) закрытие управляющего соленоидного клапана;
3) закрытие клапана абсорбента производится только после полного завершения цикла разбавления раствора бромида лития.

Процесс регулировки функционирования абсорбционных холодильных агрегатов должен иметь различную последовательность действий в зависимости от настройки оборудования на производство охлажденной воды (летний режим), или на нагрев воды (зимний режим).

Летний режим. Последовательность операций в летнем режиме при производстве охлажденной воды выглядит следующим образом:

1) запуск вентилятора газовой горелки;
2) открытие клапана контроля потока газа;
3) запуск горелки;
4) запуск насоса абсорбента;
5) запуск насоса холодильного агента.

Зимний режим. Последовательность операций в зимнем режиме при нагреве воды выглядит следующим образом:

1) запуск вентилятора газовой горелки;
2) открытие клапана контроля потока газа;

3) запуск горелки;
4) запуск насоса абсорбента.

Техническое обслуживание

Абсорбционные холодильные машины представляют собой агрегаты, способные надежно и эффективно функционировать на протяжении очень длительного времени, если периодически проводятся работы по техническому обслуживанию.

Последовательность операций по техническому обслуживанию абсорбционного холодильного агрегата на газе зависит в основном от требуемого режима функционирования, тем не менее, можно предложить общий список проверок и требуемых работ (таблица 20.2).

Таблица 20.2. Общие мероприятия по техническому обслуживанию абсорбционных агрегатов на бромиде лития.

Периодичность	Виды работ
Ежедневно	1 Проверить, не ощущается ли запах газа вблизи установки 2 Проверить уровень шума газовой горелки 3 Проверить уровень шума насосов раствора абсорбента 4 Проверить уровень шума насоса холодильного агента 5 Проверить выпуск воздуха из трубки сброса 6 Убедиться, что при запуске газовой горелки не возникает сильный шум 7 Убедиться, что вентилятор горелки не издает аномальные шумы 8 Занести данные о функционировании в таблицу* 9 Провести очистку градирни и фильтра на линии воды 10 Проверить техническое состояние градирни
Ежемесячно	11 Определить показатель потери давления абсорбционного агрегата 12 Проверить состояние регуляторов газовой горелки
Один раз в 3 месяца	13 Проверить калибровку термостатов 14 Провести операцию по сбросу неконденсирующихся газов 15 Проверить состояние раствора абсорбента 16 Произвести анализ раствора абсорбента 17 Проверить общие показатели раствора абсорбента, процентное содержание ингибитора, щелочность, наличие ионов железа и ионов меди 18 Проверить режим функционирования насосов абсорбента и насоса холодильного агента 19 Проверить насос сброса 20 Проверить состояние и провести анализ охлажденной воды и воды охлаждения
Один раз в 6 месяцев	21 Проверить состояние вспомогательного оборудования (насосы, клапаны с эл приводом, насосы циркуляции воды установки и градирни и пр) 22 Проверить состояние и поставить на летний или зимний режим устройства привода клапанов, горелки, насоса сброса 23 Проверить режим функционирования насосов абсорбента и насоса холодильного агента 24 Проверить состояние холодильного агента 25 Определить наличие неконденсирующихся газов 26 Замерить параметры разряжения 27 Провести техническое обслуживание насоса сброса 28 Проверить систему электропитания насоса сброса и газовой горелки 29 Измерить давление в камере сгорания генератора и пониженное давление в емкости для сброса неконденсирующихся газов 30 Проверить состояние электросопротивления двигателей насосов абсорбента, насоса холодильного агента, насоса сброса и горелки 31 Проверить систему управления запуск, остановка и подача сигналов тревоги 32 Проверить состояние устройства для производства вакуума и сброса качество масла насоса, условия вращения, уровень шума, способность создавать пониженное давление, вывод неконденсирующихся газов
Ежегодно	33 Проверить систему обработки воды
Раз в 3 года	34 Проверить наличие отложений осадка и грязи в пучке трубок
Раз в 5 лет	34 Проверить состояние насосов абсорбента и холодильного агента

* См. таблицу 20 3

При проведении периодических проверок в рамках технического обслуживания рекомендуется производить запись полученных данных о функционировании холодильнго агрегата. В этих целях предлагается использовать таблицу для заполнения (таблица 20.3).

Таблица 20.3. Типовая таблица для внесения данных о функционировании.

Позиция	Единица измерения	Показатель				
Дата и время проведения						
Температура воздуха в помещении	°C					
Расход охлаждаемой воды	л/с					
Температура охлаждаемой воды на входе	°C					
Температура охлаждаемой воды на выходе	°C					
Расход воды охлаждения	л/с					
Температура воды охлаждения на входе	°C					
Температура воды охлаждения на выходе	°C					
Расход горячей воды (зимой)	л/с					
Температура горячей воды на входе	°C					
Температура горячей воды на выходе	°C					
Давление генератора	мм рт. ст.					
Температура генератора	°C					
Температура выпускаемого дыма	°C					
Расход газа						
Давление газа в линии подачи						
Давление газа на входе в горелку						
Давление газа в камере						
Открытие клапана контроля газа	%					

Проверка разряжения

Для обеспечения нормального функционирования абсорбционной холодильной машины необходимо проводить периодические проверки пониженного давления в системе, вывода неконденсирующихся газов, химического состава холодильного агента, показателей топлива и пр.

Частота проведения проверки разряжения в холодильном агрегате зависит от типа его функционирования.

При летнем режиме функционирования

1. Перед запуском установки в режиме охлаждения.
2. Один раз в неделю на всем протяжении функционирования в режиме охлаждения при круглосуточном режиме работы.
3. Один раз в месяц на всем протяжении функционирования в режиме охлаждения при режиме работы 8–10 часов в сутки.

При зимнем режиме функционирования

Перед запуском установки в режиме нагрева. При работе в режиме нагрева не допускается проведение операций по проверке разряжения.

Разряжение в холодильном агрегате должно быть установлено до начала сезонного функционирования не менее, чем на 12 часов.

Проведение периодических проверок разряжения во время функционирования в летнем режиме должно производиться не более 30 минут: при проверке разряжения в холодильном агрегате в течение более продолжительного времени, возникает опасность испарения части жидкого ингибитора.

Процедура сброса

Система сброса в абсорбционном холодильном агрегате обеспечивает вывод неконденсирующихся газов, которые могут попасть в контур в связи с создаваемым в нем пониженным давлением. Попадание в группу этих веществ приводит не только к снижению мощности и эффективности работы агрегата, но и может вызвать образование веществ, вызывающих коррозию металла в теплообменниках.

Система сброса абсорбционного агрегата может иметь вид, как показано на рисунке 20.5. Она состоит из вакуумного насоса, сепаратора жидкости, емкости для сбора неконденсирующихся газов, ртутного вакуумметра, определенного количества запорных клапанов (*V*) и вспомогательных клапанов (*SV*) для проведения внешних замеров давления манометрами.

Последовательность операций указывается изготовителем оборудования. Ниже, исключительно в качестве примера, приводится перечень операций, рекомендуемых изготовителем для определенной модели агрегата, также относящийся к чертежу на рисунке 20.5.

1. Запустить насос сброса.
2. Открыт клапан сброса (*V1*).
3. Проверить параметры пониженного давления по манометру; этот показатель должен быть ниже 4 мм рт. ст.
4. Открыть клапан сброса (*V2*) на одну минуту.
5. Закрыть клапан сброса (*V2*).
6. Открыть клапан сброса (*V3*) на 30 минут.
7. Закрыть клапан сброса (*V3*).
8. Осуществить прогонку насоса сброса в течение 30 минут.
9. Закрыть клапан сброса (*V1*).
10. Остановить насос сброса.

Последовательность операций на линии сброса при зимнем режиме функционирования нагрева (при остановленном агрегате) является следующей.

1. Запустить насос сброса.
2. Открыть клапан сброса (*V1*).
3. Открыть клапан сброса (*V2*) на одну минуту.
4. Закрыть клапан сброса (*V2*).
5. Открыть клапан сброса (*V3*) на 10 минут.
7. Закрыть клапан сброса (*V3*).
8. Осуществить прогонку насоса сброса в течение 30 минут.
9. Закрыть клапан сброса (*V1*).
10. Остановить насос сброса.

Необходимо также открыть газобалластный клапан (ballast valve) до подачи сигнала о полном выпуске газа.

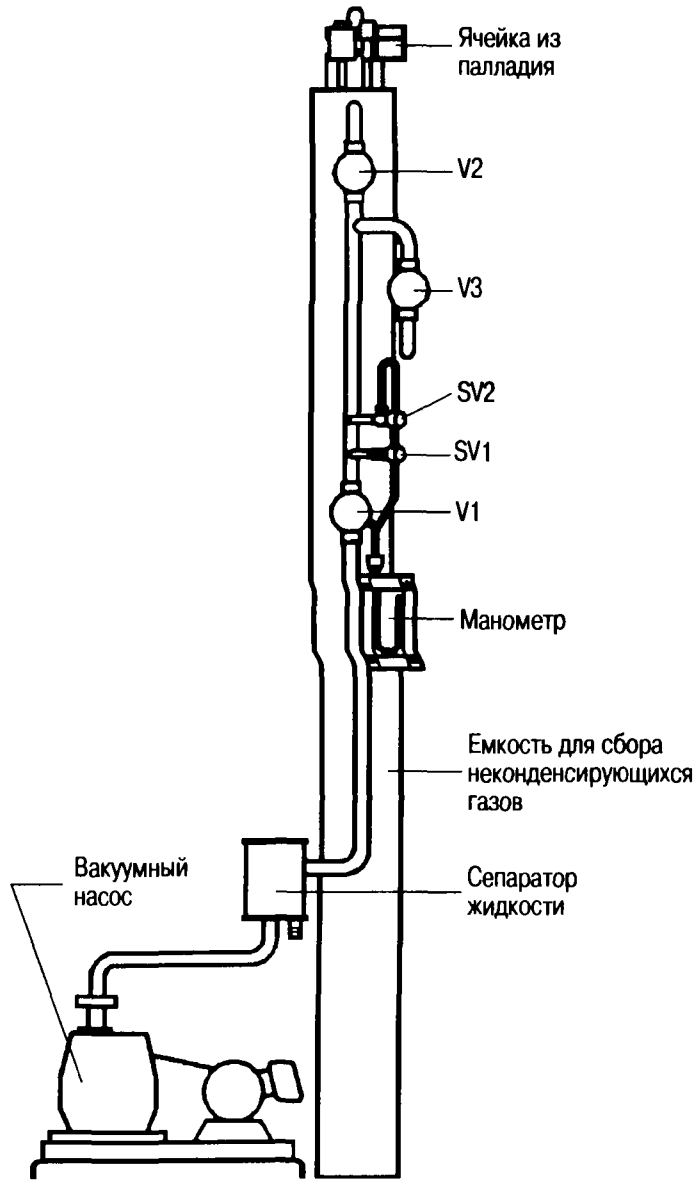


Рисунок 20.5. Система сброса абсорбционной холодильной группы (конкретное исполнение может быть другим в зависимости от изготовителя)

Метод считывания показаний манометра

Манометр с ртутным столбиком необходим для того, чтобы иметь возможность в любой момент считать показатель разряжения в абсорбционном агрегате (рисунок 20.6). Обычно высота столбика ртути справа больше, чем слева.

Показатель пониженного давления определяется как разница к 0; поэтому значению ртутного столбика −3 слева соответствует значение +3 справа, что равно значению перепада давлений в 6 мм рт. ст.

Установленный показатель температуры охлаждаемой воды не может быть достигнут при недостаточных параметрах разряжения. Обычно для обеспечения более низких значений охлаждаемой воды необходимо повысить значение разряжения в абсорбционном агрегате так, как указано в таблице 20.4.

Таблица 20.4. Значения разряжения и минимальной температуры охлаждаемой воды.

Разница давлений (мм рт. ст.)	Минимальная температура охлаждаемой воды
4	4
6	5
8	7

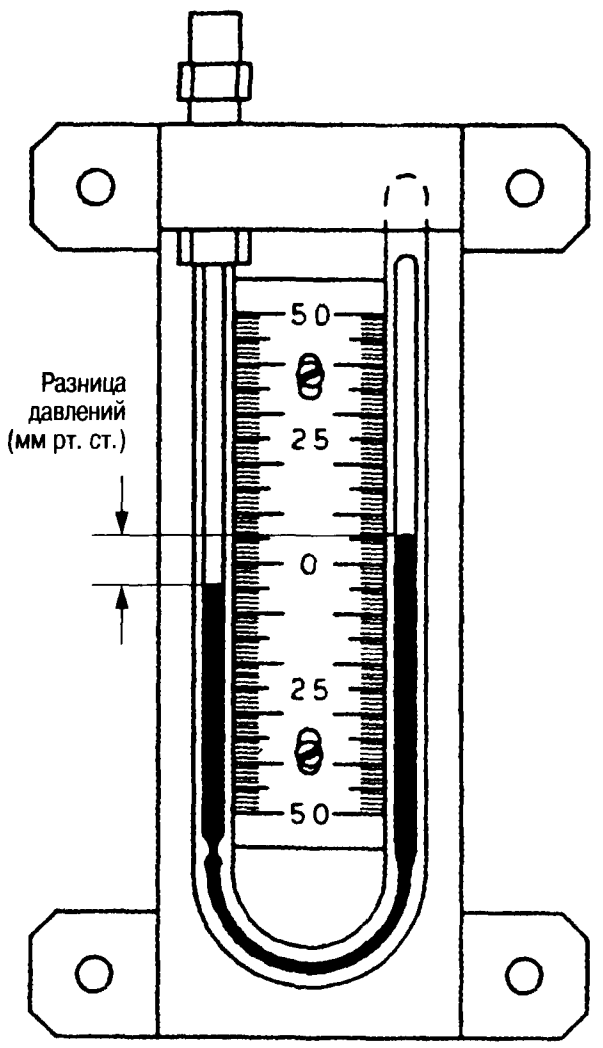


Рисунок 20.6. Ртутный манометр для измерения разницы давлений в системе.

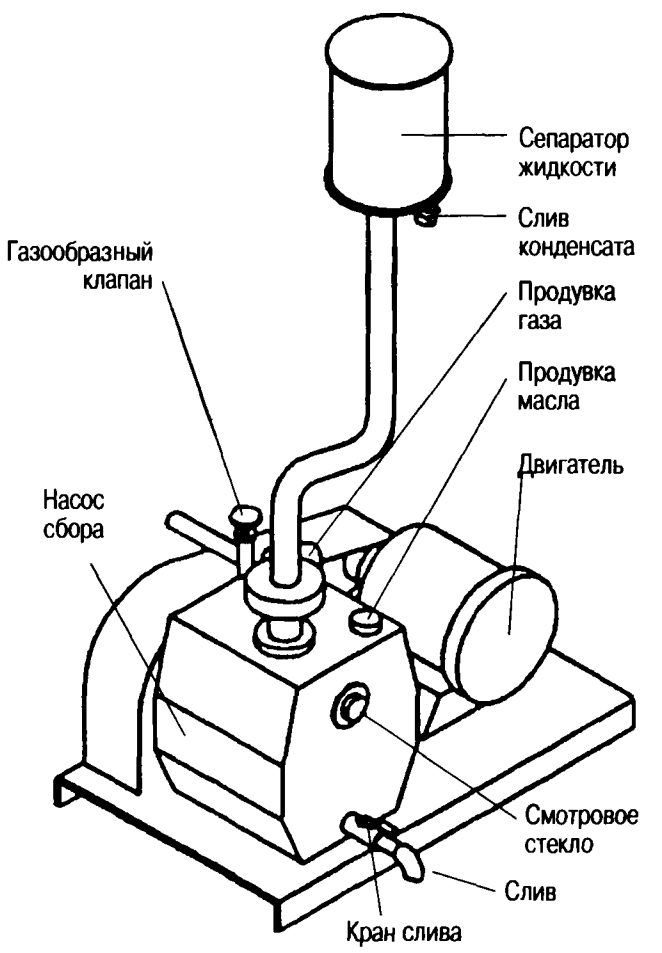


Рисунок 20.7. Насос сброса абсорбционного холодильного агрегата.

Техническое обслуживание насоса сброса

Эффективность работы насоса сброса имеет первостепенное значение для обеспечения необходимых показателей пониженного давления, поэтому его состояние следует периодически проверять: если показатель пониженного давления выше или равен 4 мм рт. ст., необходимо заменить масло (рисунок 20.7).

Ниже приводится рекомендуемая последовательность операций (с теми же оговорками, что и выше).

1) открыть кран слива;
2) слить масло;
3) закрыть кран слива;
4) залить масло в соответствующий канал до достижения уровня по центру смотрового стекла.

Кроме того, следует учитывать следующее:

— при замене масла насос сброса должен быть остановлен;
— использовать тип масла, рекомендуемый изготовителем, с соответствующим показателем вязкости;
— если насос сброса не работает, необходимо обратиться в службу сервиса изготовителя;
— если после замены масла показатель пониженного давления все еще превышает 4 мм рт. ст., необходимо обратиться в службу сервиса изготовителя.

Сброс холодильного агента

При функционировании абсорбционного агрегата может произойти попадание небольшого количества раствора бромида лития в контур испарителя. Поэтому каждые три месяца необходимо производить сброс холодильного агента при работающей установке, чтобы предотвратить смешивание даже небольшого количества раствора абсорбента с холодильным агентом. При проведении сброса холодильного агента температура охлаждаемой воды на выходе повышается. По окончании процедуры ее температура снова понижается. В отношении последовательности операций по сбросу необходимо придерживаться рекомендаций изготовителя агрегата.

Наконец, необходимо убедиться, что насос холодильного агента не подвержен кавитации.

Проверка раствора бромида лития

Проведение химического анализа раствора бромида лития бывает полезным для определения степени герметичности агрегата и степени расхода ингибитора, содержание которого при функционировании установки постепенно сокращается, в связи с чем необходимо производить его добавление до требуемой пропорции. Поэтому рекомендуется периодически производить проверку состава смеси абсорбента и доводить содержание в ней ингибитора до требуемых показателей. Они зависят от параметров используемого типа абсорбента и устанавливаются изготовителем агрегата, рекомендациям которого необходимо следовать.

Проверка топливного оборудования

В начале каждого сезона эксплуатации полезно проводить проверку состояния и калибровки всего оборудования управления работой, обеспечения безопасности труда и топливного оборудования газовой горелки с учетом рекомендаций изготовителей. Эти нормативы, особенно относящиеся к работе горелки, бывают различными в разных моделях оборудования и содержатся в соответствующей инструкции по эксплуатации.

Обычно, основными операциями являются следующие:

— проверка наличия возможных утечек газа;
— проверка параметров пламени;
— определение устойчивости к тепловому воздействию электрооборудования;
— калибровка пропорции смеси воздух/газ;
— общая проверка компонентов горелки;
— проверка состояния управляющих клапанов, соленоидного клапана и другого оборудования обеспечения безопасности на линии подачи газа.

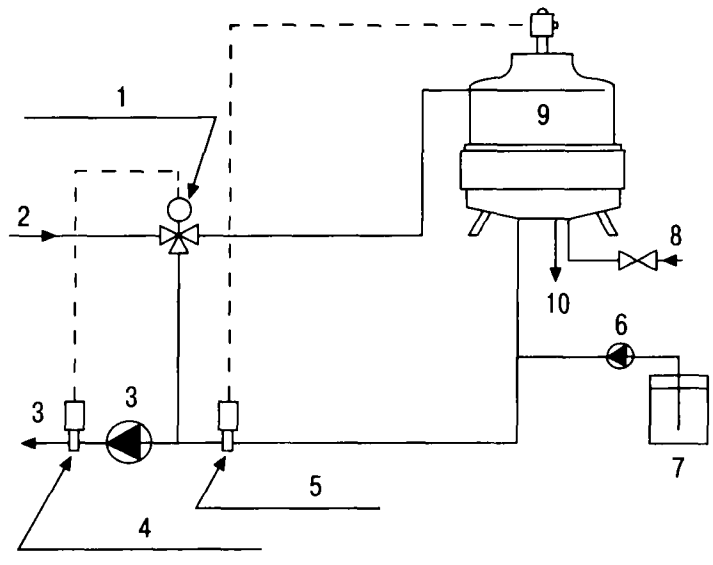
Проверка температуры воды в системе охлаждения

Абсорбционные холодильные агрегаты могут работать при температуре воды охлаждения на входе конденсатора, показатель которой при запуске не должен ни при каких условиях быть ниже значения, указанного изготовителем агрегата, обычно, около 19°С.Для обеспечения оптимального режима работы агрегата температура воды на входе конденсатора должна поддерживаться в пределах от 26 до 33°С. Требуется проведение соответствующих проверок этого значения температуры, чтобы предотвратить срабатывание аварийных систем вследствие повышенной концентрации раствора или повышенной температуры генератора. С этой целью могут применяться различные методы контроля функционирования градирни. Условная схема контура проверки воды охлаждения из градирни посредством установки трехходового клапана показана на рисунке 20.8.

Обработка воды градирни

Как и в других установках, в которых используется контур охлаждения с градирней открытого или закрытого типа, при функционировании абсорбционных холодильных групп также возникает необходимость в системе обработки воды для продления рабочего ресурса и повышения эффективности работы установки. В этой связи полностью сохраняют свое значения положения Главы 18 (разделы «Очистка градирен и испарительных конденсаторов» и «Эксплуатация градирен») и Главы 19 (раздел «Обра-

ботка воды градирни»). Кроме того следует обратиться к тем разделам, в которых шла речь о проверке состояния трубок теплообменников и необходимости проводить их периодическую чистку.



1) Трехходовой клапан
2) Вода на выходе из конденсатора
3) Вода на входе в конденсатор
4) Термостат контроля трехходового клапана на линии воды охлаждения
5) Термостат контроля вентилятора на линии воды охлаждения
6) Насос системы обработки воды
7) Установка для обработки воды
8) Возврат воды
9) Градирня
10) Сброс

Рисунок 20.8. Типовой контур контроля температуры воды из градирни с использованием трехходового клапана, пригодного для использования в абсорбционной холодильной машине.

ГЛАВА 21



Компьютерная система для технического обслуживания: программы CMMS

Сбор данных 291
Явные и скрытые затраты 293
Подсчет экономии 293

ГЛАВА 21

Программные продукты по техническому обслуживанию, далее по тексту CMMS (*Computerized Maintenance Management Systems*), предоставляют пользователю различные возможности, среди которых:
— возможность быстрого ввода в память системы и вывода информации (например, сводки о проводимых ранее работах по ремонту холодильной установки, необходимость в получении которой возникла после очередной поломки);
— возможность расчета различных показателей, как, например, в случае определения общей стоимости запасных частей, имеющихся на складе;
— возможность получения разнообразного справочного материала: данных о десятках и сотнях компонентов установки, заказах на проведение работ, какими бы многочисленными они ни были, и списка запасных частей, имеющихся на складе.

При составлении плана ведения технического обслуживания эти возможности могут оказаться весьма полезными и обеспечить:
— снижение затрат на выполнение работ;
— снижение затрат на материалы и агрегаты;
— повышение эффективности профилактического и предсказательного технического обслуживания;
— улучшение планирования работ;
— составление более точных смет и планов закупок.

Однако никакое программное обеспечение не в состоянии решить возможные проблемы организации технического обслуживания: система данных может оперировать только теми данными, которые в нее введены, и, если введенная информация является неполной, не в состоянии оказать содействия в решении возникшей проблемы.

Большая часть программных продуктов CMMS имеет базовое меню, являющееся одинаковым для различных систем, однако с использованием специализированных вспомогательных программ базовое меню может быть полностью адаптировано под потребности конкретного пользователя и конкретной установки.

В программных продуктах CMMS используются базы данных, позволяющие пользователю по-разному осуществлять ввод информации. Программа получает команды и предоставляет сводки отчетов в различной конфигурации в зависимости от типа введенной информации. Большая часть пакетов программных продуктов CMMS разделена на меню, в которых задаются параметры ввода данных для получения доступа к программе. Выбирая только самые основные данные, программа обеспечивает экономию места на диске и большую скорость вывода необходимой информации.

Типовой пакет программного обеспечения CMMS включает следующие меню:
— Меню установки: включает в себя данные о типе агрегата, изготовителе, дате начала функционирования, рабочем ресурсе, стоимости, положении в установке, программе ведения технического обслуживания и о запасных частях, сводку о проводимых ранее работах по техническому обслуживанию и о периферийном оборудовании;
— Меню порядка проведения работ: классифицирует вид работ (техническое обслуживание, ремонт или доводка оборудования), указывает конкретную цель работ и дает оценку затрат на их проведение с использованием данных, введенных оператором и меню состояния склада (смотри ниже);
— Меню профилактического технического обслуживания: использует данные о рабочих характеристиках агрегатов для составления плана текущего технического обслуживания;
— Меню состояния склада: содержит данные о материалах, запасных частях и инструменте, их стоимости, количественные показатели (для получения скидок за оптовую поставку от изготовителя) и минимально допустимом количестве их наличия на складе.
— Меню организации работ: содержит данные о количестве персонала с указанием специализации, расценках работ на единицу времени и персональные характеристики.
— Меню *backlog* (невыполненные отложенные работы): содержит информацию об отложенных видах работ.
— Меню планирования работ: содержит оценочные данные о заказах на проведение работ в отношении бригад технического обслуживания для составления плана работ на день, неделю или более продолжительный период.
— Меню финансовой политики: содержит данные, разбитые по бюджетным статьям, об оценочной стоимости и реальных расходах.

— Меню закупок: выдает заказы на проведение закупок товаров по запросу или автоматически, используя данные меню состояния склада, и повторяет заказ в случае снижения количества товара, имеющегося на складе, ниже определенного уровня.
— Меню вспомогательной информации: не связано с каким-либо специальным меню технического обслуживания, помогает оператору в использовании системы данных, в частности сообщает коды безопасности и пароли доступа.

В зависимости от конкретного программного продукта функции меню и степень простоты их использования значительно видоизменяются. Например, когда идентификационный номер холодильной группы либо отдельного агрегата вводится непосредственно в меню заказа на проведение работ, некоторые программы автоматически запрашивают информацию о положении агрегата и выводят ее на печатающее устройство; в других же оператор должен ввести как идентификационный номер, так и данные о положении агрегата в установке.

В общем плане, оборудование в зданиях средней величины может функционировать с программой CMMS, включающей все или большинство из перечисленных выше меню. Для зданий большего размера, либо тех, в которых имеются потребности в более сложной системе ведения технического обслуживания, могут потребоваться дополнительные специальные меню.

Среди наиболее часто встречающихся подобных меню упомянем следующие:

— Меню предсказательного технического обслуживания: предусматривает использование переносных инструментов для замера данных, например, анализаторов вибрации, для получения данных о состоянии агрегатов с последующим их прямым вводом в компьютер. Система позволяет определить, когда возникнет потребность в работах по техническому обслуживанию тех или иных агрегатов до того как возникнут неисправности.
— Меню расхода энергоресурсов: позволяет пользователю контролировать расход энергоресурсов и определять возможное наличие их неэффективного использования.
— Меню подготовки кадров: позволяет персоналу, ведущему техническое обслуживание, самостоятельно получать доступ к необходимой учебной информации.
— Меню прогнозирования времени на проведение работ: предоставляет данные, необходимые для составления плана ведения технического обслуживания, с учетом стандартного времени на проведение различных видов работ.
— Меню предварительной оценки стоимости работ по строительству: содержит данные о стоимости работ по различным типам проектов. Поставщики программного обеспечения ежегодно направляют пользователям обновленные данные по сметам на работы.
— Меню кодировки: позволяет оператору вводить дополнительные данные об агрегатах, запасных частях и материалах в базу данных, для лучшего контроля за состоянием инвентаря.
— Меню рабочих показателей персонала: позволяет получать данные о результатах проведенных работ и определять рабочие показатели производительности персонала и их изменения.

Поставщики программных продуктов могут также предоставить пользователю индивидуальные меню, сориентированные под его конкретные потребности; однако располагать таким большим числом базовых меню редко оказывается эффективным. В таблице 21.1 приводятся основные показатели некоторых меню и их функций; в таблице 21.2 в отношении этих же меню указываются характеристики соответствующих программных продуктов.

Сбор данных

Сбор данных, возможно, является самым ответственным участком при определении обоснованности расходов на приобретение программного продукта, поскольку требует наибольших затрат рабочего времени. Оправданность расходов на приобретение программ CMMS зависит от способности ответственного за ведение технического обслуживания доказать, что программа позволит обеспечить повышение эффективности и экономичности ведения технического обслуживания. Однако, прежде, чем делать оценки о возможностях, предоставляемых программным продуктом, необходимо проанализировать данные, способные обосновать преимущества работы с программой CMMS, и в частности:

Таблица 21.1. CMMS: имеющиеся меню и функции.

Программный продукт	Охрана труда	Агрегаты	Заказ на работы	Задачи планирования	Профилактическое техническое обслуживание	Предск. техническое обслуживание	Закупки	Графические схемы	Счета	Персонал	Склад	Другие меню
TabWare	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	– *Планирование по сводке* – Перечень поставщиков – Конфигурация
MP2 – DataStream	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да		Да	Да	
MaintainIt – DataStream	Да	Да	Да	Да		Да	Да	Да			Да	– Сводка заказов на работы и закупки
Uptime – DPSI	Да		Да	Да			Да	Да				
Proteus – Eagle Technology	Да	Да	Да			Да	Да	Да		Да	Да	– Работа с поставщиками
MS2000 – MicroMaint	Да	Да	Да	Да	Да		Да	Да*			Да	– Работа с проектами – Проверки
MaintStar		Да	Да	Да	Да	Да				Да		
Maximo	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	– Интерфейс с финансовыми продуктами на основе Oracle
ALMMS	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да		Да	Да	– Сводка работ – Работа с поставщиками – Бюджет

* Меню msEXEC

Таблица 21.2. CMMS: параметры программных продуктов.

Наименование	Операционнная система	Клиент/Сервер	Доступ через Интернет/Интранет	Интегрирование с CAD-системами	Интегрирование с системами автоматизации офиса	Интегрирование с СУБД	Количество установок в мире на 1998 г.
TabWare	Windows 3 1/95/NT	Да		Intergraph, AutoCAD			
MP2 – DataStream	Windows 95/NT	Да	Да (в англоязычной версии)	Различные графические форматы		Oracle, Microsoft SQL Server, Paradox, Microsoft Access	14000
MaintainIt – DataStream	Windows 95/NT				Microsoft Excel	Microsoft Access, dBase, Paradox, и database ASCII	
Proteus – Eagle Technology	Windows 95/98 NT 3 51/4 0, Unix, OS/400	Да	Да	AutoCAD	Microsoft Office	Microsoft SQL Server, Oracle, Informix, DB/2, Sybase, Progress, database ODBC	750
MS2000 – MicroMaint	Windows 95/98/NT	Да	Да		Microsoft Excel, Exchange/Outlook, HTML	Microsoft Access, dBase, FoxPro, Paradox, database ODBC	2600
MaintStar	Windows 3 1/95/NT	Да (под заказ)		AutoCAD и 70 графических форматов		Watcom's SQL, Oracle, Microsoft SQL Server	2000
Maximo	OS/2, NLM, UNIX, Windows NT	Да	Да (через Java)	Различные графические форматы	Microsoft Office	Oracle, SQL Base, SQL Server, Sybase, Microsoft Access	3500
AMMS	DOS, Windows 95, OS/2	Да				Brieve	

— рабочее время и материальные затраты на ведение текущего и планового технического обслуживания;
— стоимость материалов и запасных частей, необходимых для его ведения;
— анализ поступления заказов на проведение вышеназванных работ для определения возрастания или уменьшения их количества;
— общий объем работ по техническому обслуживанию, выполненный специализированными подрядными организациями.

Использование данных о текущем техническом обслуживании рекомендуется по двум причинам: во-первых, эти виды работ составляют основную часть ежедневно выполняемых работ, во-вторых, те, от кого зависит одобрение запросов на расходы, смогут лучше оценить их значение, располагая информацией о причинах и особенностях проведения этих работ.

Явные и скрытые затраты

Самыми очевидными статьями расходов на установку системы CMMS являются расходы на ее закупку, установку и необходимое компьютерное обеспечение функционирования. В последствии выявляется необходимость в дополнительных расходах, и их своевременный учет позволяет получить более реальную картину общего объема расходов.

Скрытыми статьями расходов являются:
— подготовка персонала для эксплуатации системы CMMS;
— техническое обеспечение ее функционирования;
— общее техническое обслуживание системы и запасные части к ней;
— различные расходные материалы.

В любом случае, наиболее значительными скрытыми статьями расходов являются расходы на составление планов ведения работ. Требуемые для них данные — потребности в видах работ, параметры запасных частей, материалов и необходимого рабочего времени и пр. — составляют базу данных, необходимую для работы выполнения функций систем CMMS. Например, при использовании системы CMMS для ведения технического обслуживания холодильной группы, предварительного расчета расходов на работы по ее ремонту, планирования рабочего времени технических специалистов и поставок необходимых запчастей и материалов требуемые данные получаются на основе анализа сводки ранее проведенных работ. Эти данные, содержащиеся в базе данных, вносятся на основании заказов на проведение работ, подаваемых в прошлом.

По мнению некоторых специалистов, стоимость выполнения работ по вводу данных о заказах на производство работ, их группировка и обновление в будущем составит 50–60% от общей стоимости системы CMMS.

Подсчет экономии

Возможная экономия и повышение эффективности работы установки зависят от ряда факторов: конфигурация и возможности программного обеспечения, размеры здания и способность менеджеров и персонала эффективно использовать возможности, предоставляемые программным продуктом. В пользу приобретения CMMS говорят следующие факторы:

1. *Затраты на оплату труда.* Система CMMS может обеспечить сокращение затрат на оплату труда от 10 до 20%. Возможности непосредственного и более эффективного контроля за ведением технического обслуживания, предоставленные системой руководству предприятием, позволяют добиться повышения производительности труда персонала.
2. *Затраты на материалы.* При оптимальном функционировании системы CMMS возможно снижение расходов на 10–15% за счет более точного составления смет и более эффективного составления заказов на закупки.

В заключение следует сказать, что фактором, способным склонить чашу весов в сторону приобретения, либо отказа от приобретения системы CMMS, является время амортизации капиталовложений. Здесь трудно делать прогнозы; по мнению некоторых специалистов система CMMS окупается примерно через три года, однако этот период может сильно изменяться в зависимости от параметров программного продукта и способности персонала эффективно использовать его возможности.

ГЛАВА 22

Мероприятия по охране труда

Меры индивидуальной безопасности 296
Подъем оборудования 297
Складирование и эксплуатация баллонов с холодильным агентом 297
Жидкие холодильные агенты 299
Сварка и кислородно-ацетиленовая резка 300
Использование инструментов 301
Проверка герметичности и давления 302
Меры по техническому обслуживанию холодильных установок и установок кондиционирования воздуха 304
- Общие меры предосторожности 304
- Установки переработки воды 304
- Компрессоры холодильной установки 305
- Теплообменники 305
- Центробежные холодильные агрегаты 306
- Схема электропитания и меры по регулировке 306
- Трансмиссии 307
- Турбины 308
- Абсорбционные холодильные группы 308
- Воздушные контуры и меры по регулировке 309

Цель рекомендаций, включенных в эту главу, заключается в привлечении внимания ответственных за техническое обслуживание холодильных установок и установок для кондиционирования воздуха к различным опасностям, возникающим в процессе работы.

В связи с этим предлагается ряд основных мероприятий, которые обычно не содержатся в рекомендациях изготовителей отдельных видов оборудования. Они имеют общий характер и служат дополнением к инструкциям изготовителей и официальных норм действующего законодательства. При работе на агрегатах для кондиционирования воздуха и обычных видах работ степень риска определяется следующими категориями:

1. *Опасно. Ситуации, связанные с большим и непосредственным риском для человека: приводят к тя*желым травмам и могут иметь летальный исход.
2. *Внимание.* Опасные ситуации или виды работ, связанные с повышенным вниманием: могут привести к тяжелым травмам и иметь летальный исход.
3. *Осторожно.* Потенциальная опасность или опасные виды работ: могут привести к получению травм.

С этими категориями связаны соответствующие нормы охраны труда. Эти нормы должны учитывать положения, содержащиеся в «Межотраслевых правилах по охране труда при эксплуатации фреоновых холодильных установок ПОТ РМ 015-2000». Правила действуют на всей территории Российской Федерации.

В таблице 22.1 перечисляются возможные виды рисков применительно к основным стадиям производственного процесса и мероприятия по охране труда.

Таблица 22.1. Анализ рисков и необходимые мероприятия по охране труда применительно к основным стадиям производственного процесса при работе с установками.

Стадия производства	Возможные риски	Мероприятия
Монтаж	Падение людей	Подмостки Ручные лестницы Защитные перчатки и обувь Пояса безопасности Инструктаж персонала
	Падение тяжелых предметов	Защитная каска Инструктаж персонала Сигнальная маркировка
	Разлет осколков	Вывод людей Защитные очки
	Отделение компонентов, находящихся под давлением	Правильное проектирование Профилактические проверки Испытания с пониженной загрузкой
	Подверженность шуму	Защита ушей от шума Вывод людей
	Контакт с водой	Перчатки Сапоги
Кислородно-ацетиленовая сварка Резка металла сварочной горелкой Электросварка	Разлет искр и яркое свечение Ожоги Воспламенение горючих материалов	Защитные очки Разметка Вентиляция Удаление легко воспламенимых материалов
Монтаж и испытания линий и агрегатов на жидком, газообразном и смешанном топливе	Взрыв	Вентиляция помещений Проверка состояния среды Оперативный инструктаж Разметка
	Пожар	Ограничение количества воспламенимых и горючих материалов Оперативный инструктаж Разметка Средства тушения

Продолжение на следующей странице

Таблица 22.1 (продолжение)

Стадия производства	Возможные риски	Мероприятия
Испытания теплового и/или подверженного давлению оборудования	Контакт с сильно нагретыми поверхностями	Вывод людей Защитные перчатки Средства изоляции
	Попадание струи пара или газа сильного напора и высокой температуры	Нормы поведения Инструктаж персонала Средства индивидуальной защиты
	Взрыв	Оперативный инструктаж Разметка
Работы в резервуарах, закрытых местах, чердаках с пониженной вентиляцией	Вдыхание газа и частиц вредных веществ	Естественная или принудительная вентиляция Обслуживание снаружи Спасательный шнур Соответствующая маска Разметка
	Взрыв и пожар	Удаление легко воспламенимых материалов Вентиляция Оперативный инструктаж Разметка Средства тушения Запрет на проведение работ по сварке и шлифовке (при наличии)
Использование химических реактивов для различных видов обработки и очистки	Вдыхание вредных паров	Естественная или механическая вентиляция Запрет курения Соответствующая маска Разметка
	Контакт с щелочными материалами	Нормы поведения Защитные перчатки
Техническое обслуживание, эксплуатация и проверка функционирования работающих на топливе агрегатов: – системы гидравлики – транспортировка жидкостей – канализации – природоохранных – холодильных	Вдыхание вредных газов	Вентиляция помещений Проверка с использованием инструмента Индивидуальные средства защиты
	Контакт с сильно нагретыми поверхностями	Вывод людей Защитные перчатки Средства изоляции
	Попадание струи пара или газа сильного напора и высокой температуры	Нормы поведения Инструктаж персонала Индивидуальные средства защиты
	Взрыв	Вентиляция помещений Проверка состояния среды Средства тушения
	Пожар	Ограничение количества легко воспламенимых и горючих материалов Оперативный инструктаж Средства тушения
	Прямой контакт Непрямой контакт	Дифференциальные прерыватели Установка заземления Проверка сопротивления Инструктаж персонала Разметка

Меры индивидуальной безопасности

Внимание

— Всегда надевать каску при наличии потенциальной опасности падения или отскока предметов.
— Не прикасаться к электроагрегатам влажными или мокрыми руками, либо стоя на мокром полу.

Осторожно

Не надевать:

— кольца, цепочки, браслеты, галстуки, перчатки или широкополую одежду при работе на агрегатах с вращающимся элементом;
— кольца, браслеты, часы при работе на электросетях.

Надевать:
— защитные очки с боковыми стеклами перед входом в мастерскую или в зону проведения работ;
— темные очки и перчатки при работе с химическими реактивами, проведении работ типа сварки, резки, пайки, заточки или находясь вблизи мест проведения этих работ;
— перчатки, перед тем как прикасаться к любой части работающего или только что остановленного агрегата (металл может быть сильно нагретым); перед началом работ на частях агрегата, в котором имела место серьезная поломка, например, сгорание двигателя, помнить, что как холодильный агент, так и масло могут содержать кислоты и вещества, вызывающие коррозию;
— перчатки и передник при работе с/или листами проката металла;
— укрепленную обувь или похожие средства при наличии едких химических реактивов;
— затычки в уши или эквивалентные системы защиты от шума при работе в зонах с возможным повышением уровня шума до 85 дБ или более.

Подъем оборудования

Опасно
— Не использовать подъемный кран под линией электропередачи либо вблизи от нее.

Внимание
— Проверить по документации, полученной от изготовителя агрегата, его вес перед подъемом для определения соответствия подъемного устройства требованиям реквизита.
— Проверить расположение центра тяжести агрегата и учесть особые инструкции по подъему.
— Не использовать нерекомендованные методы и устройства для подъема.
— Проверить состояние всех компонентов и устройства для подъема перед использованием.
— Не поднимать только за одни ушки компрессор или собранный агрегат.
— Не передвигать тяжелые предметы, предварительно не убедившись в отсутствии препятствий и людей в направлении перемещения.

Осторожно
— Использовать механические приспособления (тали, подъемные краны и пр.) для подъема или перемещения панелей для проведения работ по техническому обслуживанию или иных тяжелых компонентов. Использовать подобные устройства даже при небольшом весе перемещаемых компонентов оборудования, если есть опасность подскальзывания или потери равновесия работником.
— Не забираться на вентиляционный агрегат или секцию: использовать помосты или специальные приспособления (рисунок 22.1).

Меры индивидуальной безопасности
— Очищать рабочее место от мусора, опилок, кусков металла и пр.
— Соблюдать меры предосторожности при пользовании приставной лестницей (рисунок 22.2).
— В любой момент знать место нахождения коллег по бригаде.

Складирование и эксплуатация баллонов с холодильным агентом

Внимание
— Никогда не допускать контакта баллона с холодильным агентом с огнем или паром. Если необходимо повысить температуру холодильного агента, использовать горячую воду с температурой 40–50°С.
— Не хранить баллоны с холодильным агентом в местах, где температура воздуха может превысить показатель калибровки клапана сброса. Уделять особое внимание холодильным агентам, находящимся под высоким давлением (HFC-410A), но в особенности таким холодильным агентам, как аммиак, бутан и другие токсичные и воспламеняемые вещества.
— Медленно открывать краны загрузки и регулировки для избежания создания повышенного давления.
— Всегда использовать соответствующие ключи для открытия и закрытия кранов. Прежде, чем открывать кран, ослабить сальник; затянуть его после закрытия крана.
— Никогда не прилагать повышенных усилий на штуцеры.

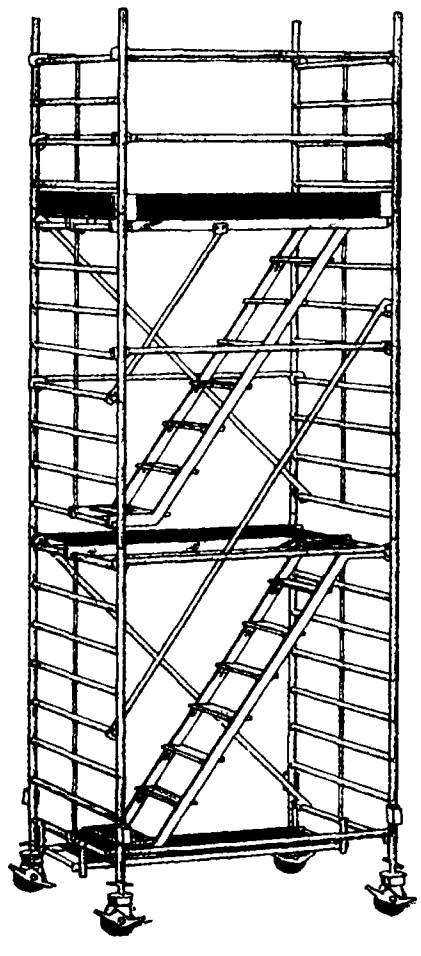


Рисунок 22.1. Передвижные леса для работы на высоко расположенных агрегатах.

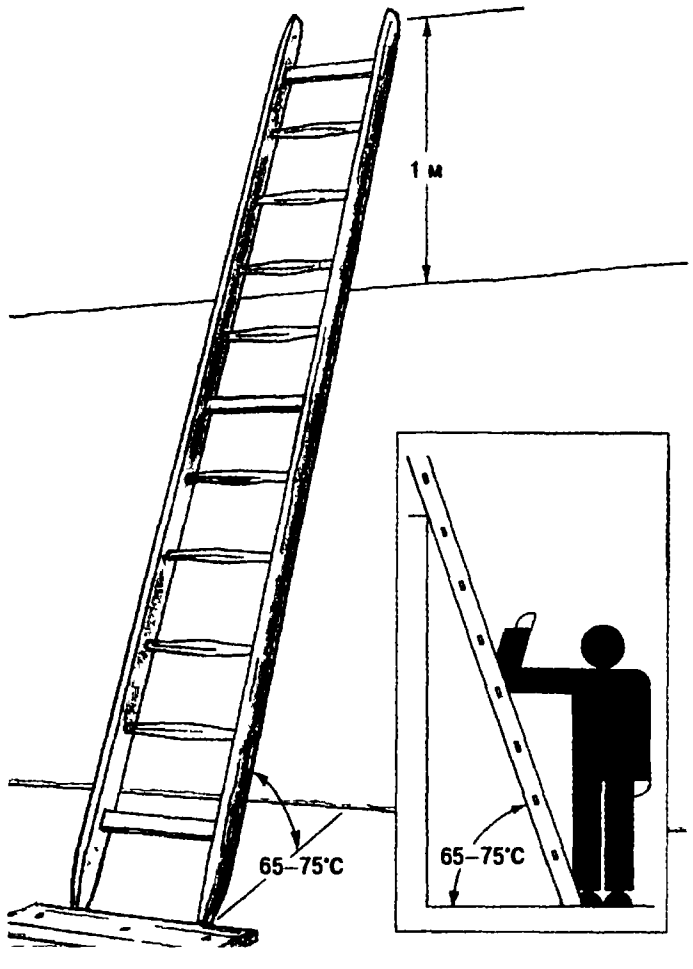


Рисунок 22.2. Меры предосторожности при использовании приставной лестницы: если она выше опорной стены, свободный конец не должен выступать более чем на 1 метр; кроме того, необходимо убедиться в соответствии нормам показателей минимального и максимального углов наклона.

— Не пользоваться отработанными невозвратными баллонами, не пытаться их заново заполнить. Выпустить остаточное давление из пустого баллона, ослабить прижимное кольцо и снять блок крана.
— При заполнении баллона оставлять свободное пространство, достаточное для удержания расширения холодильного агента. Гидростатическое давление быстро повышается даже при незначительном повышении температуры.
— Не нарушать функционирования аварийных устройств или клапанов.

Осторожно

— Всегда надевать колпачки безопасности на кран и штуцер, если баллон не используется или пустой (рисунок 22.3).
— Не повреждать баллоны, не ударять и не ронять их.
— Закреплять баллоны в соответствии с рекомендациями изготовителя (рисунок 22.4).
— Избегать перепадов давления при перемещении холодильного агента. Использовать клапан регулировки давления для плавного изменения давления. Устройство для сброса давления на баллоне не дает гарантии против резких перепадов давления.
— Никогда не заряжать баллон с превышением указанного на нем допустимого веса.
— Не ограничиваться цветом баллона при определении типа холодильного агента. Уточнить тип холодильного агента, прочитав табличку изготовителя.
— Регулярно проверять состояние труб, коллекторов и штуцеров, поддерживать их в рабочем состоянии.

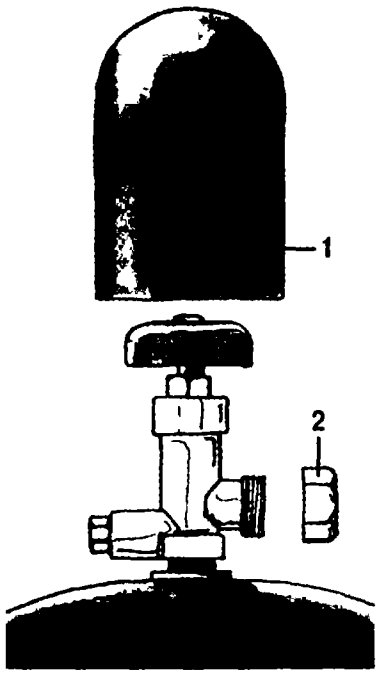
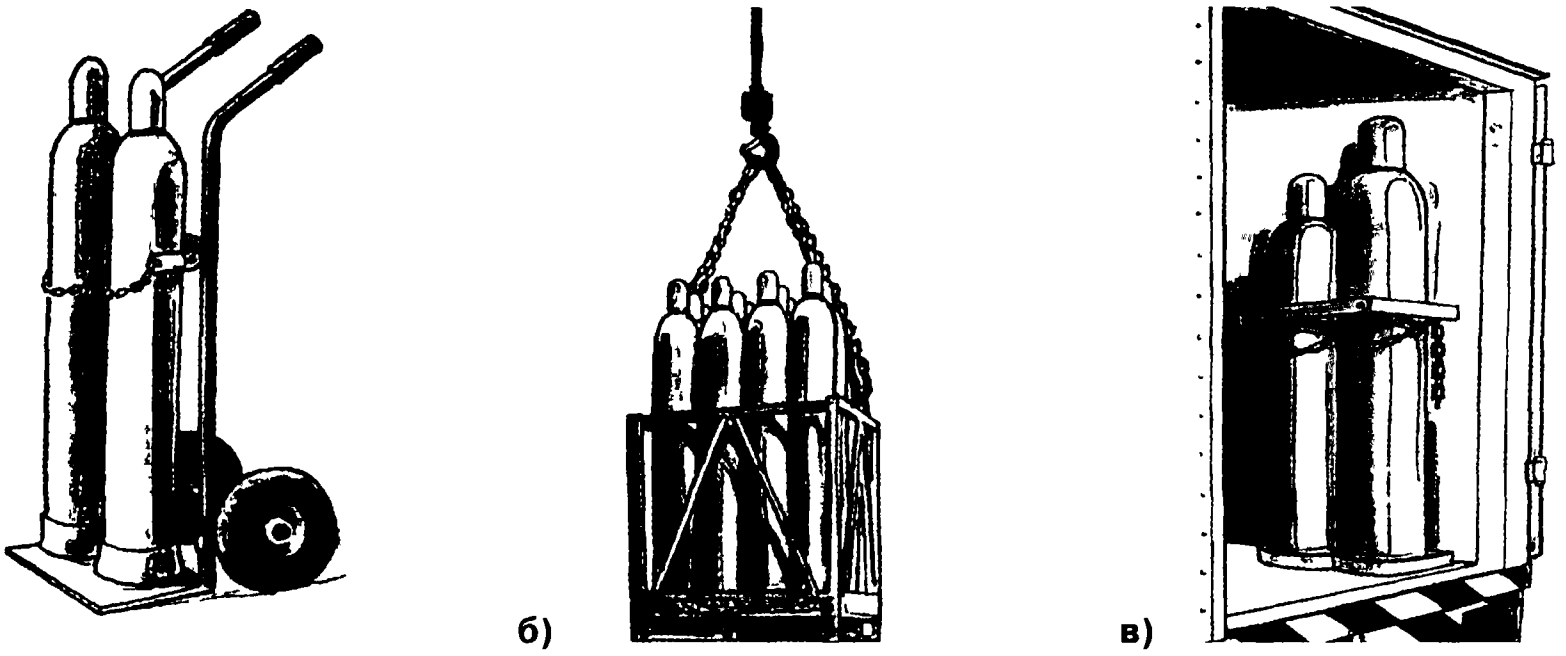


Рисунок 22.3. Положение колпачка безопасности (1) и заглушки (2) на баллоне.



а) б) в)

Рисунок 22.4. Меры предосторожности при транспортировке баллонов с газом под давлением: а) перевозка на ручной тележке; б) подъем на поддоне; в) перевозка в грузовике.

Жидкие холодильные агенты

Фторсодержащие холодильные агенты требуют соблюдения мер предосторожности при обращении с ними, для предотвращения возникновения опасностей, связанных с их использованием и обработкой.

При большой концентрации холодильных агентов в прилегающих помещениях может быть вытеснен кислород с возможностью возникновения опасности удушья. Кроме того, наличие вблизи холодильных агентов в свободном состоянии функционирующих газовых горелок может привести к разложению холодильных агентов с выделением токсичных веществ.

Воздействие высокой температуры и, в меньшей степени, сочетание действия воды и тепла могут привести к разложению холодильных агентов на фтористоводородную и хлористоводородную кислоты, а также к образованию промежуточного продукта.

При ощущении резкого раздражающего запаха необходимо оповестить об этом коллег по бригаде и немедленно покинуть помещение.

Внимание

— Не вести работ в резервуарах без использования масок с баллонами сжатого воздуха или без системы принудительного вентилирования и без страховочного шнура.
— Снаружи должен находиться помощник на случай возникновения чрезвычайной ситуации (рисунок 22.5).
— Не входить в машинный зал или в другие помещения в случае обнаружения утечки большого количества холодильного агента без маски, с баллонами сжатого воздуха и без присутствия помощника снаружи.
— Не допускать попадания капель холодильного агента на кожу и в глаза. Использовать защитные очки. При попадании холодильного агента на тело промыть соответствующий участок водой с мылом. При попадании брызг холодильного агента в глаза немедленно промыть их водой и обратиться к врачу-офтальмологу.

Осторожно

— Не производить сварку или резку горелкой в помещении с атмосферой, насыщенной парами холодильного агента. Перед выполнением подобных работ соответствующим образом провентилировать помещение.
— Не производить сварку или резку горелкой трубки холодильных контуров, предварительно полностью не освободив их от возможно имеющегося в контуре холодильного агента.
— Не вдыхать пары холодильного агента.
— Не курить в помещениях с присутствием паров холодильного агента в воздухе. Холодильный агент тяжелее воздуха и воды и обычно скапливается внизу.

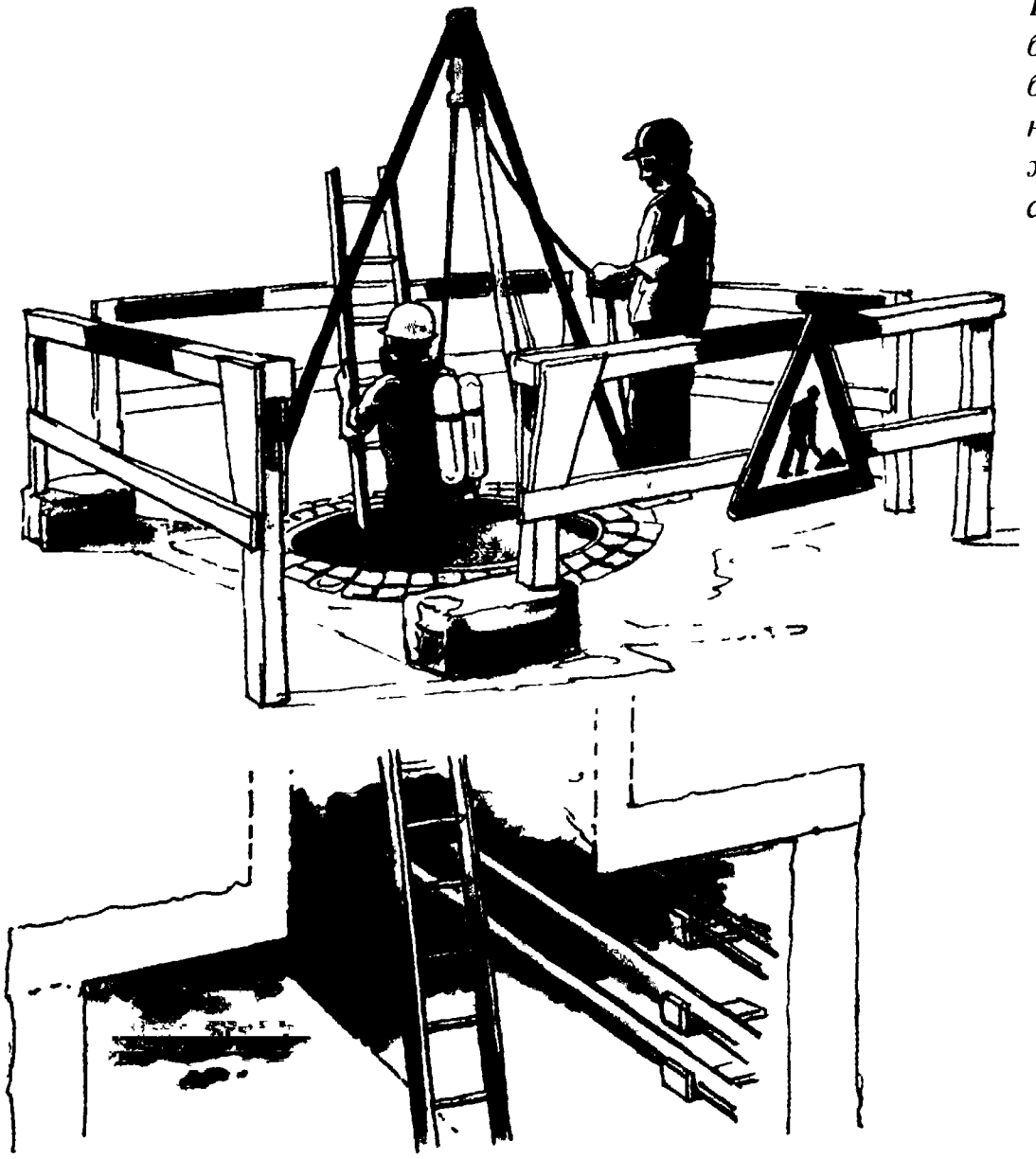


Рисунок 22.5. При выполнении работ в резервуарах и подвалах требуется использование респираторных масок и шнура подъема, а также наличие помощника снаружи на случай чрезвычайной ситуации.

Сварка и кислородно-ацетиленовая резка

Опасно

— Никогда не использовать кислород вместо сжатого воздуха.

Внимание

— Не хранить баллоны с кислородом вблизи горючих материалов, особенно масла и прочих смазочных материалов. Не брать баллоны с кислородом или сварочную горелку руками, испачканными маслом, или перчатками, также испачканными маслом. Кислород поддерживает и ускоряет горение и вызывает интенсивное сгорание масла, прочих смазочных материалов и пластика.

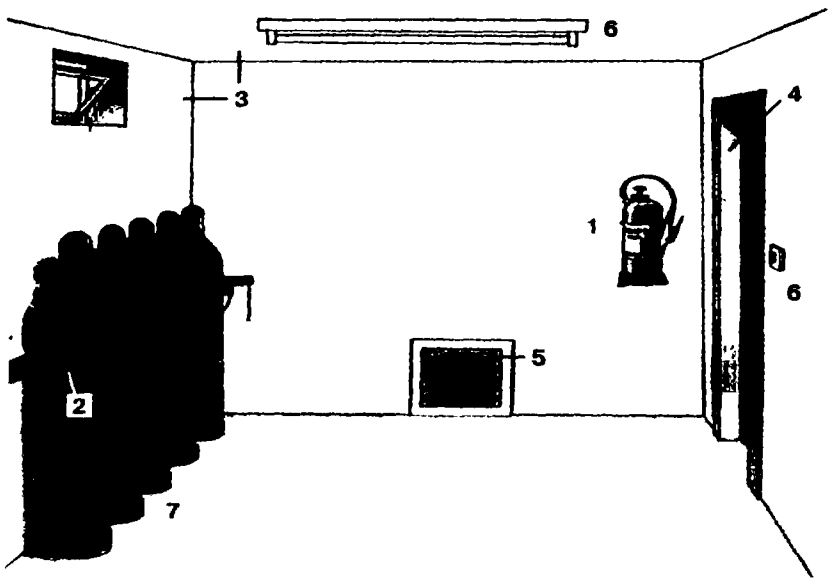
— Не производить сварку или резку вблизи горючих материалов или при наличии в воздухе паров холодильных агентов, резервуаров или труб, находящихся под давлением. Перед началом работ убедиться, что давление полностью снято.

— Не производить сварку или резку в закрытых помещениях, если в них не обеспечивается достаточная вентиляция. Если ее невозможно обеспечить, надевать маску с баллонами сжатого воздуха и обеспечить присутствие помощника снаружи, в непосредственной близости от места работ на случай возникновения чрезвычайной ситуации.

Осторожно

— Не хранить баллоны с кислородом и баллоны с горючим газом вблизи от источников тепла, а также друг от друга.

— Хранить баллоны с кислородом и баллоны с горючим газом в вертикальном положении, обеспечить их надежный крепеж при помощи обручей (рисунок 22.6).



1) Огнетушитель
2) Системы крепежа
3) Стены и потолок из огнеупорного материала
4) Входная дверь
5) Вентилятор вытяжки и канал поступления внешнего воздуха
6) Выключатель и лампа в огнезащитном исполнении
7) Баллоны

Рисунок 22.5. Оборудование помещений для хранения газовых баллонов.

— Надевать защитные костюмы и соответствующие маски во время проведения работ по сварке и резке, находясь даже вблизи от мест проведения подобных видов работ.
— Не загораживать пути прохода людей, лестницы и пр. сварочным оборудованием. Применять соответствующие меры предосторожности при работах на лесах, платформах, мостках и пр.

Меры индивидуальной защиты

— Соблюдать цветовую кодировку баллонов, труб и линий и проверять их соответствие, читая соответствующие опознавательные надписи.
— Не использовать изношенные или имеющие дефекты шланги.
— Приложить шланги двух линий газа (кислорода и ацетилена) друг к другу, обмотав их клейкой лентой на участке не более 10 см через каждые 30 см длины линии.
— Не использовать штуцеры и муфты, не предназначенные для кислородно-ацетиленовой сварки. Убедиться, что все соединения затянуты должным образом.
— Открывать клапан баллона до изменения положения регулятора давления.
— Ослабить (до минимума) регулирующий винт редуктора баллона, находясь сбоку от него.
— Перед использованием проверить состояние сварочной горелки для определения наличия возможных утечек через краны и штуцеры горелки.
— Зажигать горелку с использованием искровых зажигателей.

Использование инструментов

Значительная часть несчастных случаев на производстве происходит из-за неправильного использования инструментов или использования инструмента, не соответствующего выполняемому виду работ.

Опасно

— Все подсоединения инструментов к электросети должны полностью соответствовать действующим нормативам ЕЭС и ПУЭ.

Внимание

— При работе с электромеханическими инструментами — переносными электродрелями, шлифмашинами, нарезочными агрегатами и пр. — необходимо надевать защитную одежду: каску, очки, перчатки. Использование этих инструментов должно производиться с соблюдением рекомендаций изготовителей. В частности, при работе с электродрелями и шлифмашинами необходимо соблюдать соотношение скорости вращения и типа и параметров сверла, шлифовального круга и пр. Используемый инструмент может быть ручного типа (рисунок 22.7) или на станине, как при резке труб (рисунок 22.8). В обоих случаях следует одевать защитную одежду, как было указано выше.

Осторожно

— Перед началом использования любого инструмента убедиться в соответствии его параметров типу выполняемой работы. На рисунке 22.9 показаны примеры использования инструмента, несоответствующего выполняемой работе.



Рисунок 22.7. Использование шлифмашины для ручной резки труб малого диаметра: необходимо закрепить трубу и надеть защитные очки и перчатки



Рисунок 22.8. Резка трубы большого диаметра с использованием каркасного крепежа: принимаются те же меры предосторожности, что и описанные выше.

Проверка герметичности и давления

Опасно

— Никогда не использовать кислород для проверок герметичности, продувки труб или проверок давления в агрегата. Для этих целей рекомендуется использовать азот.

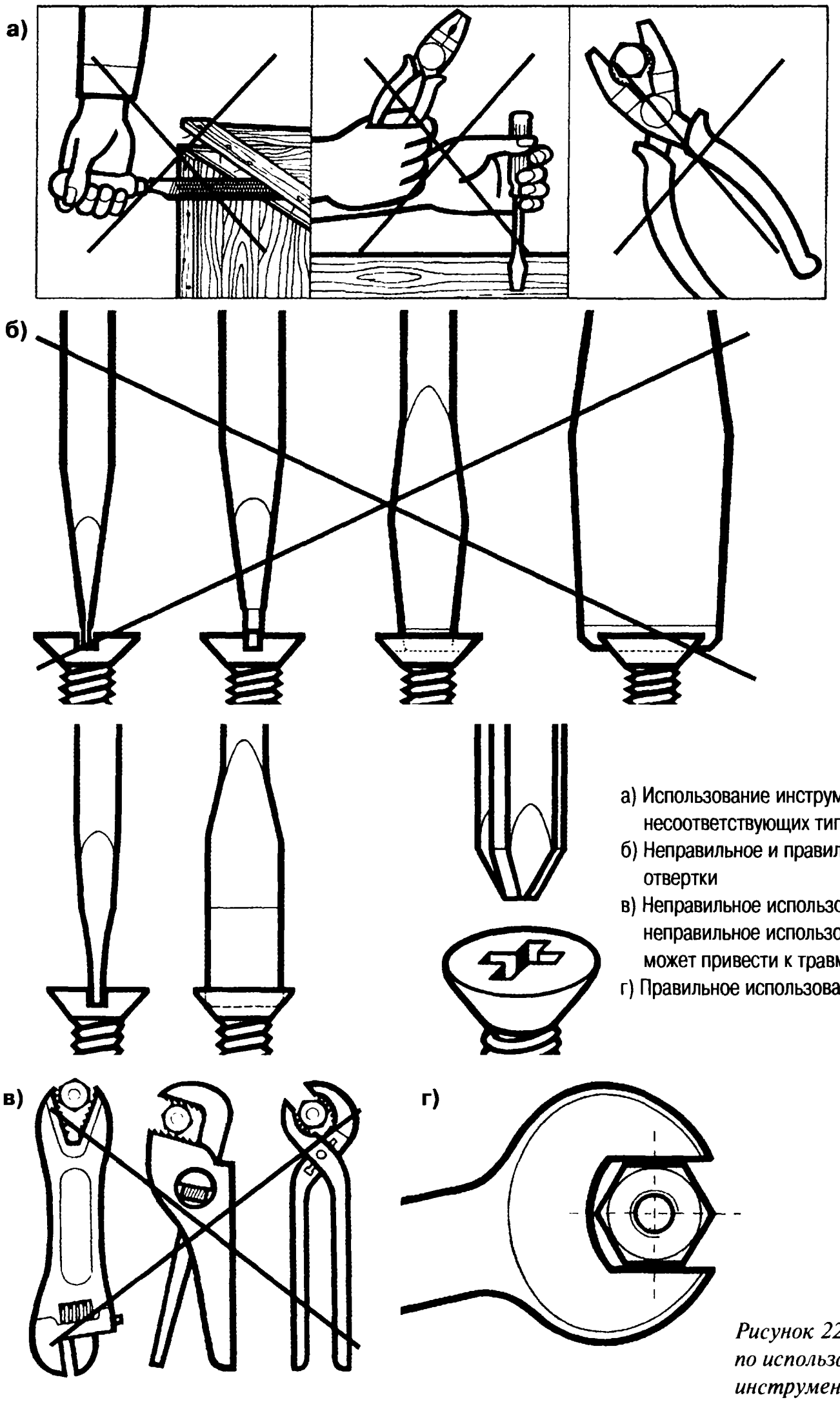
— Всегда использовать устройство для регулировки давления с манометром (редуктор), убедившись, что манометр нормально функционирует.

— *Полное заполнение баллона может привести к взрыву баллона с холодильным агентом.* Поэтому при необходимости использования холодильного агента в качестве сигнального материала вместе с азотом для обнаружения наличия утечек, действовать следующим образом: сначала *ввести холодильный агент в контур*, затем *перекрыть краны* и отсоединить баллон с холодильным агентом *После этого* подсоединить баллон с азотом и создать необходимое давление.

— Никогда не превышать рекомендованные величины давления для проведения проверки. Определять рекомендованные величины давления по табличке изготовителя агрегата или по соответствующей технической документации.

— *Не допускать подсоединения полного баллона с азотом к линии, находящейся под давлением.*

— Перекрывать кран и отсоединять баллон после достижения рекомендованного значения давления. *Не ограничиваться* только перекрытием крана и регулятора давления, а всегда отсоединять баллон.



а) Использование инструментов, несоответствующих типу выполняемой работы
б) Неправильное и правильное использование отвертки
в) Неправильное использование гаечных ключей: неправильное использование инструментов может привести к травме
г) Правильное использование гаечного ключа

Рисунок 22.9. Рекомендации по использованию инструмента.

Меры по техническому обслуживанию холодильных установок и установок кондиционирования воздуха

Общие меры предосторожности

Внимание

— Не открывать штуцера, контрольные заслонки, не вскрывать контуры при работающем агрегате.
— Принимать меры предосторожности при работе вблизи со сжатыми пружинами, или по оси их сжатия: неожиданное распрямление пружины может привести к выбросу предметов на большой скорости.
— Не производить активацию баллонов с холодильным агентом или химическими реактивами без знания инструкции по активации. Для соблюдения правильной процедуры активации пользоваться инструкцией изготовителя.

Осторожно

— Периодически проверять все краны, штуцеры и трубы на предмет коррозии, наличия утечек или общих повреждений.
— Не ходить и не облокачиваться на трубы, в которых циркулирует холодильный агент. При разрыве трубы происходит выброс холодильного агента, что может привести к тяжелым травмам.
— При ремонте и замене участков контура использовать материалы, соответствующие параметрам ранее действовавших.
— Никогда не ослаблять сальник, не убедившись, что устройство не находится в рабочем режиме, чтобы предотвратить возможное вылетание сальника.
— Перекрывать и маркировать клапаны линии пара, воды и холодильного агента перед их удалением.

Меры индивидуальной безопасности

— Не соскребать образовавшийся лед со смотровых стекол. Для растопления льда набрызгивать спирт. Периодически проверять смотровое стекло на предмет наличия возможных трещин или сколов. Направить свет от лампочки под определенным углом на стекло. Некоторые трещины могут быть незаметными без использования лампочки.

Установки переработки воды

Опасно

— Никогда не подходить к вентиляционной секции или другому компоненту установки при работающем агрегате.
— Отключить выключатель эл. двигателя вентилятора и пометить его перед любыми работами на вентиляторе. Кроме того, вынуть предохранители и хранить их под личным контролем. Об этой операции также сделать отметку на маркировочной табличке выключателя.

Внимание

— Не запускать вентилятор без наличия защитной решетки на трансмиссии.
— Никогда не использовать газ для создания давления в батарее: существует опасность взрыва. В этих целях использовать только жидкости.
— Не производить чистку батарей паром, не убедившись в отсутствии поблизости посторонних.
— При сварке или резке с использованием сварочной горелки на установке по обработке воздуха обеспечить требуемую вентиляцию, чтобы дым не проникал через воздуховоды в занятые людьми помещения.
— При работе с агрегатами, установленными снаружи, не открывать щиты или дверцы доступа при сильном или порывистом ветре. В ходе работ на агрегатах при умеренном ветре обеспечить надежное закрепление снимаемых панелей.
— Не начинать работы на клапанах с автоматическим приводом, не отключив предварительно двигатель привода.
— Перед началом работ на агрегатах и вентиляторах убедиться в наличии соответствующего заземления.

Осторожно

— Перед началом работ на вентиляторе зафиксировать шкив изолентой, или перевязать его для того, чтобы не допустить свободного вращения вентилятора.
— При сварке или резке с использованием сварочной горелки обеспечить защиту любого находящегося вблизи горючего материала. Использовать листы металла или накрывать соответствующим материалом в направлениях распространения искр. Иметь рядом с собой огнетушитель и быть готовыми к его использованию.
— Никогда не создавать в агрегате давление, превышающее значение, рекомендованное изготовителем.

Компрессоры холодильной установки

Опасно

— Не производить замеров сопротивления или проводимости на компрессоре, не убедившись в том, что электропитание как установки, так и агрегата, включая разогреватель картера, полностью отключено. Кроме того, убедиться, что компрессор изолирован от холодильного контура.

Внимание

— Никогда не использовать компрессор в качестве вакуумного насоса при проверке зазора и исправности работы клапанов: может возникать электродуга между внутренними клеммами двигателя.
— Отключать электропитание и отмаркировать электропроводку перед тем, как начать с ней работу. После каждого перерыва в проведении работ заново проверять отключение электропитания.
— Никогда не использовать сварочную горелку для извлечения компрессора или комплектующих из холодильного контура: масло может воспламениться и вызвать пожар. Для резки трубок холодильного контура использовать ручную ножовку или труборез.
— Никогда не запускать компрессор, предварительно не открыв краны подачи и всасывания холодильного контура.
— Никогда не производить сброса холодильного агента из компрессора через плохо затянутые или неисправные штуцеры, производить сброс через коллектор с манометром, отрегулированные на правильные показатели сброса. Собирать холодильный агент, не проливая его в помещении.
— Никогда не ослаблять болты крепежа головок и инспекционной крышки, если компрессор соединен с холодильным контуром (при наличии циркуляции газа), или когда он находится под давлением. Убедиться, что показатель внутреннего давления опустился ниже значения 0–0,15 бар (0–2 psig) *перед тем,* как отвинчивать какой-нибудь винт.
— Никогда не запускать компрессор при величине давления ниже 0–0,15 бар (0–2 psig): могут возникнуть неисправности в системе электропитания или механические неисправности с опасностью получения травмы.
— Не подключать напряжение, или не запускать компрессор с открытой клеммной коробкой.

Осторожно

— Перед началом работ на холодильном контуре с несколькими компрессорами перекрыть все компрессоры контура. Ввиду наличия контуров выравнивания давления масла между компрессорами нельзя производить сброс давления только с одного компрессора.

Теплообменники

Опасно

— Не использовать кислород для продувки линий, проверки герметичности или подачи давления: кислород активно реагирует в присутствии масла, смазочных материалов и других обычных веществ.
— Никогда не превышать указанные значения давления при проведении проверок. Определить величину давления проведения испытаний по технической документации агрегата и рабочее давление по табличке изготовителя агрегата.
— Не изолировать устройства для производства сброса давления.
— Не запускать агрегат, пока правильно не установлены все устройства сброса давления, и их функционирование не проверено. Если устройства для сброса (предохранительный клапан, плавкая пробка и пр.) открываются, перед тем, как запускать агрегат, выяснить и устранить причину открывания, затем заменить устройство.

Внимание

— Тщательно проверять, не реже одного раза в год, все клапаны сброса, плавкие пробки и другие устройства сброса давления. Если агрегат установлен в атмосфере, способствующей развитию коррозии, проводить такие проверки чаще.
— Не пытаться ремонтировать или осуществлять доводку устройств типа клапанов сброса при обнаружении признаков коррозии и отложений посторонних образований (окалины, ржавчины и пр.) на корпусе устройства. Извлечь его из контура и заменить на новое.
— Не производить сброс холодильного агента в закрытых помещениях. Собрать его с соблюдением действующих нормативов по обеспечению охраны труда и окружающей среды. Скопление холодильного агента в закрытом пространстве может привести к вытеснению кислорода и к удушью.
— Не перекрывать, не заглушать, не изолировать и пр. аварийное устройство для того, чтобы нейтрализовать его функционирование.
— Не устанавливать клапана сброса подряд или в обратном порядке относительно рекомендаций.
— Перед загрузкой холодильного агента в агрегат уточнить его тип. Добавление холодильного агента под высоким давлением при функционирующей установке, в которой установлено более низкое давление, может привести к выходу теплообменников из строя, если аварийные устройства не рассчитаны на работу с увеличенным таким образом объемом холодильного агента.
— Перед тем, как отсоединять любое соединение холодильного контура, убедиться, что давление понижено до нуля.

Осторожно

— Не производить слива или сброса давления из баллонов с растворами, жидкостями, газом без разрешения ответственного за производство.
— Не ослаблять болты крепления крышек емкостей до полного слива содержащейся в них жидкости.
— Выполнять соединения по дренажу в линиях сброса относительно каждого аварийного клапана для того, чтобы предотвратить заполнение каналов конденсатом или дождевой водой.
— Если дисковый затвор установлен серийно с клапаном сброса, установить между ними манометр и выпускной клапан: наличие давления на манометре свидетельствует о протечке дискового затвора.
— Монтировать блокирующие краны с обеих сторон фильтра-осушителя таким образом, чтобы не возникала возможность создания повышенного давления заключенного между ними жидкого холодильного агента. На одном из кранов установить клапан повышенного давления.

Центробежные холодильные агрегаты

Эксплуатация, проверка функционирования и ремонт этих агрегатов должны производиться только специализированным персоналом, располагающим подробной информацией об особенностях их функционирования и всех имеющихся аварийных устройствах, а также имеющим практический опыт выполнения работ в экстренных ситуациях.

Рекомендации изготовителя агрегата должны выполняться компетентно, чтобы предотвратить получение травм персоналом, повреждение самого агрегата и окружающих предметов.

Схема электропитания и меры по регулировке

Опасно

— Не подключать напряжение, не познакомившись с описанием необходимых операций и не имея соответствующего инструмента: *это может привести к тяжелым травмам.*
— Не производить измерения на агрегатах высокого напряжения (выше 600 В) с использованием ручного инструмента. Всегда использовать трансформаторы тока и напряжения при произведении измерений в сетях высокого напряжения.

Внимание

— Прежде чем прикасаться к электрическим конденсаторам, полностью убедиться, что они заземлены.
— Следует производить заземление всего электрооборудования.
— Перед началом работ на электрощитах, устройствах для запуска, разогревателях масла и пр. убедиться, что все подводки электропитания отключены, маркировать контуры, на которых производятся работы.

— Убедиться в отсутствии остаточного напряжения на твердотельных компонентах оборудования.
— Если был перерыв в работе, то после ее возобновления следует убедиться, что электропитание отключено.
— Не снимать крышки с клемм при работающем агрегате.
— Не затягивать соединения электропроводки, не отключив предварительно общий выключатель подачи электропитания.
— Не пытаться остановить работу агрегата путем открытия секционной дверцы: может возникнуть электрический разряд, способный привести к тяжелым травмам.
— Никогда не использовать омметр при работе на агрегате, находящемся под напряжением: в результате не только произойдет поломка инструмента, но и возникнет опасность получения тяжелых травм.
— Устанавливать аварийный прерыватель на случай замыкания на массу металлического инструмента.

Осторожно

— Учитывать наличие автоматических систем запуска, способных запустить работу агрегата в автоматическом режиме вне ведения работающих. Поэтому следует отключать выключатель подачи питание выше устройства для запуска, а также отключить сам агрегат.
— Не производить обвод (bypass) или блокировку сервоприводов.
— При работе на неработающих линиях учитывать опасность возникновения наведенного электричества от расположенных рядом работающих частей установки. Сам по себе электрический разряд обычно не является опасным однако, вызванное им возможное падение человека может привести к травмам.
— Для извлечения предохранителей всегда использовать изолированный инструмент.

Меры индивидуальной безопасности

— Отдать на проверку свой рабочий инструмент.
— Заменить провода подсоединения на тестовом инструменте, или probe, если имеются признаки износа.
— Периодически проверять состояние электропроводки и датчиков с заменой изношенных или поврежденных участков.
— Поддерживать чистоту и не загромождать электрощиты и устройства для запуска.

Трансмиссии

Опасно

— Не снимать защитные решетки с соединений или передач, если требуется выполнение работ на них, до полной остановки вращающихся частей.

Внимание

— Никогда не запускать агрегаты с открытым типом трансмиссии, установки для освобождения контура (откачки) без соответствующих защитных решеток на трансмиссиях. Это следует выполнять также при проведении кратких проверок направления вращения двигателя. Контакт с вращающимися частями агрегата приводит к тяжелым травмам.
— Не стоять напротив вращающихся частей.

Осторожно

— Перед тем, как запустить вал, несколько раз проверить, что все ключи, измерительные приборы и пр. удалены.
— Периодически проверять уплотнения и трансмиссии на предмет состояния смазки и выровненности вращающихся частей, это помогает уменьшить вероятность поломки и связанный с ней разлет частей агрегата.
— Затягивать все болты в два последовательных приема, чтобы обеспечить их полную затяжку.
— Проверять болты уплотнения на предмет правильности силы затяжки и наличия систем блокировки (шплинты, сухарики и пр.).

Меры индивидуальной безопасности

— Перед запуском убедиться в отсутствии блокировки муфты или трансмиссии.

Турбины

— Не пытаться запустить турбину до полной установки агрегата и проверки состояния аварийных и контрольных устройств.

Опасно

— Перед запуском тщательно проверять все штуцеры контура перегретого пара. Перегретый пар является невидимой опасностью, *может нанести глубокие раны и привести к летальному исходу.*
— Открывать ручные клапаны блокировки турбины. Они могу сработать за доли секунды с усилием в несколько сот килограмм.

Внимание

— Перед демонтажем турбины вставить глухие фланцы на линиях входа и выхода, способные полностью удерживать давление пара.
— Не открывать линии слива турбины, если агрегат находится под вакуумом: турбина может начать вращаться, достигая максимально возможной скорости вращения.
— Не допускать вращения турбины со скоростью, превышающей проектную. Если турбина не поддерживает установленную скорость вращения, остановить ее и произвести необходимый ремонт.
— Если возникает вибрация, снижать скорость вращения до тех пор, пока вибрация не исчезнет. Повышение скорости вращения турбины, создающей вибрацию, может иметь для нее тяжелые последствия вплоть до разрыва самого корпуса.
— Устанавливать аварийный клапан для защиты на случай разрыва корпуса турбины. Функция аварийного или сигнального клапана заключается только в том, чтобы обозначить наличие повышенного давления в корпусе.
— Никогда не производить блокировку клапана регулировки пара или ручного клапана срочной блокировки пара в открытом состоянии.
— Никогда не заглушать клапан сброса давления.

Осторожно

— Перед тем, как прикасаться к корпусу турбины, другим корпусам, клапанам, линиям пара и вывода конденсата, надевать перчатки: эти компоненты установки обычно находятся под сильным нагревом.
— Убирать пролитое масло и после этого поддерживать поверхности в чистоте: масло может воспламениться при контакте с линиями перегретого пара, или другими разогретыми предметами.

Абсорбционные холодильные группы

Опасно

— Не использовать кислород для очистки линий, поиска мест утечек или постановки агрегата под давление. Никогда не превышать специальные показатели давления при проведении проверок.

Внимание

— Надевать защитные очки и защитные костюмы при работе с бромидом лития, ингибиторами, гидроокисью лития, бромидной кислотой, этиловым спиртом. В случае попадания даже небольшого их количества на кожу, немедленно промыть водой с мылом. Если брызги попали в глаза, обильно промыть их водой и обратиться к врачу-офтальмологу.
— Отключать электропитание и маркировать контуры электропроводки перед началом работы на них. После каждого перерыва в работе заново проверять отключение электроэнергии.
— Не выполнять работ на любом компоненте системы электропитания, не убедившись в том, что напряжение снято.
— Не производить резки с использованием сварочной горелки камеры сброса абсорбционного агрегата до полного ее освобождения от водорода. При смешивании с воздухом водород становится взрывоопасным.
— При работах по сварке и резке проветривать помещения для удаления образующихся дымов.
— Не пытаться демонтировать штуцеры, пластины и пр. , если агрегат находится под напряжением.
— Не открывать ртом баллоны с бромидом лития и другими химическими реактивами.

Осторожно

— Перед тем, как ослаблять болты крепления пластин, сливать воду из теплообменников.
— Учитывать, что запуск агрегата может быть произведен автоматически путем срабатывания соответствующих устройств запуска. Поэтому перед началом работ на агрегате отключать общий переключатель выше устройства для запуска.
— В случае пролива бромида лития или этилового спирта очистить и немедленно вымыть пол.

Воздушные контуры и меры по регулировке

Опасно

— Все виды работ на большой высоте необходимо производить с использованием лесов и лестниц, как уже было сказано в отношении ранее описанных операций.
— Перед началом работ на жестяных воздуховодах, установках по обработке воздуха, градирнях и пр. убедиться, что они заземлены. Любой вид работ на агрегате, имеющем электрические компоненты, должен производиться только после отключения главного выключателя питания с соблюдением тех же мер предосторожности, что и в отношении агрегатов системы кондиционирования воздуха.

Внимание

— Всегда надевать защитную маску и перчатки при работах по очистке воздуховодов.
— При работах, выполняемых в особых условиях — в химической промышленности, лабораториях, больницах и пр., где могут находиться опасные вещества, — строго соблюдать существующие предписания или рекомендации местных органов здравоохранения.
— Защитные маски должны обладать высокой фильтрационной способностью, чтобы не допустить попадания в дыхательные пути влажных взвесей и пыли.
— Чистка отстойников в установках для обработки воздуха и особенно в градирнях должна производиться с соблюдением необходимых мер предосторожности для предотвращения опасности заражения бактерией Legionella pneumophila. Обратиться за соответствующими рекомендациями в местные органы здравоохранения.
— Никогда не погружать голые руки в воду отстойников градирен или установок для обработки воздуха.

Библиография

AICVF, CoSTIC, *La taratura degli impianti idraulici*, Tecniche Nuove, 1996.
Albern W.F., «Nitrogen Can Be Dangerous», *HPAC*, February 1985.
Alfa Laval, *Plate Heat Exchangers for Refrigeration Applications – Technical Reference Manual*, 1997.
Application Manual for Screw Compressors, Copeland, 1999.
Applications Engineering Manual. Refrigeration System Equipment Room Design, The Trane Company.
A Safety Guide for Refrigeration and Air Conditioning Equipment, Carrier Co., 1978.
ASHRAE, «Building Energy Monitoring», in ASHRAE Handbook 1999.
ASHRAE, «Operation and Maintenance Management», in ASHRAE Handbook 1999.
ASHRAE, «Testing, Adjusting and Balancing», in ASHRAE Handbook 1999.
ASHRAE Guideline 1990, *Reducing Emission of Fully Halogenated Chlorofluorocarbon (CFC) Refrigerants in Refrigeration and Air-Conditioning Equipment and Applications.*
ASHRAE Guideline 1993, *Preparation of Operating and Maintenance Documentation for Building Systems.*
ASHRAE Handbook 1996, *HVAC Systems and Equipment.*
ASHRAE Handbook 1998, *Refrigeration.*
ASHRAE Handbook 1999, *Applications.*
ASSISTAL, Associazione Nazionale Costruttori di Impianti, *Manuale per la sicurezza nei lavori in appalto*, Edizioni Assimpianti, 1992.
Bearzi V., «Protezione dal gelo», *RCI*, dicembre 1994.
Bell A.B., «How to Convert CFC 12 Chillers to HFC 134a», *HPAC*, April 1993.
Bonacina S., «CMMS a confronto», *RCI*, luglio 1998.
Briganti A., «La protezione antisismica degli impianti», *RCI*, novembre 1986.
Briganti A., «La pulizia e igienizzazione degli impianti», *RCI*, gennaio 1996.
Briganti A., «Condotti aeraulici. Pulizia e igienizzazione», *RCI*, settembre 1997.
Briganti A., «Stop alla contaminazione biologica», *RCI*, aprile 1998.
Briganti A., *Il condizionamento dell'aria*, Tecniche Nuove, 2000.
Brundrett G., Jackmann P., «La tenuta degli edifici», *RCI*, febbraio 1998.
Candiani R., «La misura della ventilazione mediante gas traccianti», *RCI*, marzo 1993.
Casale C. (a cura di), *Gas refrigeranti. Libro bianco*, COAER-ANIMA, 1998.
Castiglioni R., «I danni alle batterie di scambio termico: cause e prevenzione», *RCI*, settembre 1989.
Castiglioni R., «La prevenzione dei guasti dei compressori frigoriferi», *RCI*, marzo 1990.
Castiglioni R., «La neutralizzazione delle dilatazioni nelle tubazioni», *RCI*, marzo 1991.
Castiglioni R., «La prova di tenuta dei canali», *RCI*, gennaio 1995.
Castiglioni R., «Cavitazione e rumore delle pompe», *RCI*, marzo 1999.
Castiglioni R., «L'ottimizzazione del complesso torre-refrigeratore», *RCI*, giugno 1999.
Catanoso C.G., «Il fascicolo per i lavori di manutenzione», *Ambiente & Sicurezza*, 4, marzo 1999.
CFC's: Today there Are Answers, The Trane Company, 1994.
Chiesa G., «Manutenzione e fughe di refrigeranti», *RCI*, aprile 1999.
CIBSE, *Technical Memoranda. Minimising the Risk of Legionnaires' Disease*, The Chartered Institution of Building Services Engineers, 1987.
Coil Guide, Coil Co.
Gli scambiatori di calore a piastre saldobrasate nella refrigerazione, Swep Italia, 1991.
Gloanec Y., «La riduzione della corrosione negli scambiatori di calore», *Zerosottozero*, maggio-giugno 1994.
Gruppi frigoriferi con compressori a vite, Trane Italia.
Habjan J., «Altezze di montaggio per componenti di impianti elettrici, di condizionamento ed idrotermosanitari», *RCI*, giugno 1988.
Hejab M., Parsloe C., «Space Allowances for Building Services Distribution Systems», *BSRIA*, December 1992.
Hejab M., Parsloe C., «Space and Weight Allowances for Building Services Plant», *BSRIA*, April 1993.
HVAC Air Duct Leakage Test Manual, SMACNA, 1990.
HVAC Systems Testing, Adjusting & Balancing, SMACNA, 1983.
I compressori scroll: la nuova tecnologia del 3° millennio, Copeland Italia, 1998.
«I filtri essicatori e la sfida degli HFC», *Zerosottozero*, aprile 1998.

Installations-arbeiten. Heizung, Luftung, Sanitar, Bau-Berufsgenossenschaften, 1995.
Koenig H., «Refrigeranti alla prova dei fatti», *RCI*, aprile 1999.
«La manutenzione dei sistemi aeraulici negli impianti di climatizzazione», *FCR Filtrazione Condizionamento Riscaldamento*, 1989.
Lenox R.S., Hough P.A., «Minimizing Corrosion of Copper Tubing Used in Refrigeration Systems», *ASHRAE Journal*, November 1995.
McGuire A.B., «Ristrutturazione degli impianti», *RCI*, luglio 1993.
Montalba S., «Impianti aeraulici. Tecniche e problemi di pulizia», *RCI*, maggio 1998.
Motti A., «La manutenzione meccanica dei componenti; gli impianti termoaeraulici», *L'Installatore Italiano*, gennaio 1996.
Muir E.B., «La sostituzione dell'R-22 con gli HFC», *Zerosottozero*, marzo-aprile 1995.
Nottoli E., «La cultura d'impresa», *Unificazione & Certificazione*, febbraio 1999.
Olgiati B., «La misura della portata», *GT Il Giornale del Termoidraulico*, marzo 1998.
Operating Instructions for Screw Compressors, Copeland, 1999.
Paolella L., Briganti A., «Distanze tra gruppi frigoriferi ad aria», *RCI*, novembre 1999.
Piper J.E., «Il rinnovamento degli impianti idraulici», *RCI*, luglio 1998.
Piper J.E., «Opzioni sul freddo», *RCI*, luglio 1998.
Piping Arrangement for Screw Compressor, Copeland, 1999.
«Requisiti minimi di sicurezza e salute per l'uso di attrezzature di lavoro da parte dei lavoratori», *Ambiente Energia Lavoro*, novembre 1999.
Saligari U., «Il surriscaldamento nei circuiti frigoriferi», *Zerosottozero*, maggio 1998.
Sartori L., *Applicazione frigorifera degli scambiatori a piastre*, Alfa Laval.
Seidel R., Noack H., *Manuale dell'installatore frigorista*, Tecniche Nuove, 1998.
Shields H.C., Weshler C.J., «I danni da inquinamento ambientale», *RCI*, ottobre 1998.
Sichereit beim Arbeiten mit Handwerkezeugen, BG Arbeitsgemeinschaft der Metall-Berufsgenossenschaften, Carl Heymanns Verlag KG, 1996.
Sistema, elementi di tecnica della refrigerazione, Edizioni Carlo Eisner, 1981.
SMACNA, *HVAC Systems Testing, Adjusting & Balancing*, 1983.
Snyder D., «L'affidabilita delle pompe di calore», *RCI*, agosto 1992.
Stefanutti L., «L'ammoniaca nella climatizzazione: normativa e sicurezza», *RCI*, giugno 1994.
Stefanutti L., «Prevenire le fughe di refrigeranti», *RCI*, febbraio 1999.
Stefanutti U.V., «Le regolazioni degli impianti frigoriferi», *Zerosottozero*, marzo-aprile 1995.
Stonier R.T., «L'uso della CO_2 per la valutazione della qualita dell'aria», *RCI*, giugno 1995.
Stouppe D.E., Lau T.S., «I guasti delle apparecchiature per il condizionamento e la refrigerazione», *RCI*, gennaio 1989.
Trent W., «La sifonatura degli scarichi della condensa», *RCI*, maggio 1994.
Valvole ad espansione termostatica, Sporlan.
Westrkauf T.A., «Ispezione delle centrali frigorifere. Sostituzione, conservazione o conversione?», *RCI*, giugno 1998.
Withman W., Johnson W.M., *Refrigeration and Air Conditioning Technology*, Delmar Publishers, 1995.
Zinna N., «L'ozonizzazione dell'acqua», *RCI*, giugno 1993.

Замечание по библиографии

В дополнение к перечисленному выше, см. также статьи, опубликованные в ежемесячном журнале *GT Il Giornale del Termoidraulico*, в рубрике «Уголок специалиста по холодильным установкам», за подписью Alfio Berner в 1996–1998 гг.

Alfio Berner, Aurelio Borgese, Dick Trenton и *Robert Howard* — псевдонимы, использовавшиеся с соблюдением соответствующих нормативов для публикации статей в журналах *RCI* и *GT Il Giornale del Termoidraulico.*

Антонио Бриганти

РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК И УСТАНОВОК ДЛЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Отв. за выпуск М. И. Бейзман
Редактор А. Д. Гальперин
Редактор-корректор Т. В. Авдеева

Компьютерная верстка
Р. Я. Муртазин

Формат 60x90/8. Бум. офсетная.
Гарнитура «Ньютон». Тираж 3000 экз. Заказ 712

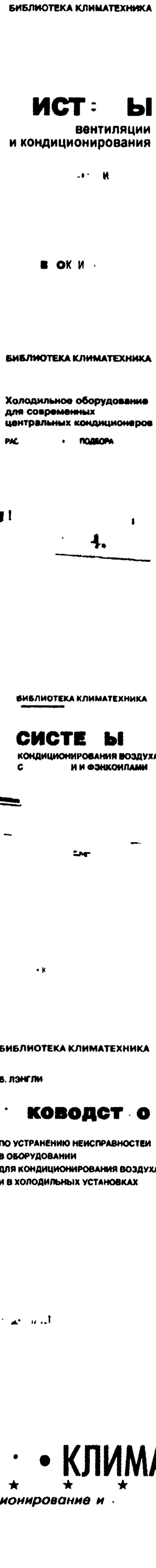
Издатель
Компания «Евроклимат»
105082, Москва, Рубцовская набережная, 3
Тел. (095) 265-3872

БИБЛИОТЕКА КЛИМАТЕХНИКА

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК И УСТАНОВОК ДЛЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

КЛИМАТ
кондиционирование и вентиляция

Уважаемые коллеги!
Предлагаем Вашему вниманию книги серии "БИБЛИОТЕКА КЛИМАТЕХНИКА".



«Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика» *(416 стр.).*

Эта книга — результат труда ведущих сотрудников компании, обобщивших в обширном труде многолетний практический опыт по проектированию, монтажу и сервисному обслуживанию современных систем вентиляции и кондиционирования.

В книге рассмотрены типология и характеристики современных кондиционеров, требования и нормы проектирования систем вентиляции и кондиционирования, описаны методы монтажа и меры по борьбе с шумом. Большое внимание уделяется примерам расчетов систем кондиционирования, рассмотрены варианты использования кондиционеров различного типа в жилых, общественных и производственных зданиях.

Книга незаменима для специалистов проектных, монтажных и сервисных организаций. Она может стать настольной книгой для архитекторов, научных сотрудников преподавателей вузов и студентов.

«Холодильное оборудование для современных центральных кондиционеров. Расчеты и методы подбора» *(96 стр.).*

Этой книгой мы открываем новую серию «В библиотеку проектировщика», издания которой, в первую очередь предназначены для специалистов в области кондиционирования и вентиляции.

В книге рассмотрены варианты использования центральных кондиционеров, методы подбора оборудования, приведены примеры расчетов. Поскольку интерес к системам центрального кондиционирования и вентиляции в последнее время растет в геометрической прогрессии, мы считаем, что эта книга поможет Вам в решении многих вопросов, возникающих при проектировании таких систем. Уверены, что она будет полезна проектировщикам и техническим специалистам преподавателям и студентам профильных вузов.

«Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами» *(400 стр.).*

Эта книга продолжает серию «Библиотека климатехника», издания которой, в первую очередь, предназначены для специалистов в области кондиционирования и вентиляции.

В книге рассмотрены варианты использования систем кондиционирования с чиллерами и фэнкойлами, методы подбора оборудования, приведены примеры расчетов. Поскольку интерес к таким системам постоянно растет, мы считаем, что эта книга поможет Вам в решении многих вопросов, возникающих при их проектировании и эксплуатации. Уверены, что она будет полезна проектировщикам и техническим специалистам преподавателям и студентам профильных вузов.

Б. Лэнгли ***«Устранение неисправностей в оборудовании для кондиционирования воздуха и в холодильных установках»****, перевод с английского (220 стр.).*

Книга Б. Лэнгли — лучшее справочное руководство для инженеров и техников работающих в области кондиционирования и холодильного оборудования. Это практическое руководство по ремонту и техническому обслуживанию кондиционеров и холодильных установок, составленное с учетом современных технологий, предлагает специалистам наиболее полный охват возможностей в области диагностики состояния оборудования и его ремонта на высоком уровне. Справочник также будет полезен как желающим обучаться ремонту кондиционеров и холодильных установок, так и специалистам, повышающим свою квалификацию.

КЛИМАТ
кондиционирование и ция

105082, Москва, Рубцовская набережная, 3
тел./факс: (095) 265-3872
http: books.euroclimat.ru