

**УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ
ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ**



В.И.КАНТОРОВИЧ; З.В.ПОДЛИПЕНЦЕВА

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

3-е издание, переработанное и дополненное

Под общей редакцией В. И. КАНТОРОВИЧА

**Допущено Министерством торговли СССР в качестве
учебника для учащихся техникумов, обучающихся по
специальности 0565 «Холодильно-компрессорные маши-
ны и установки»**



**МОСКВА
ВО «АГРОПРОМИЗДАТ»
1987**

ББК 31.392

К 19

УДК 621.565-52(075.3)

Рецензент: Московский механико-технологический техникум мясной и холодильной промышленности (преподаватель *Л. И. Клименкова*)

Канторович В. И., Подлипенцева З. В.

К 19 Основы автоматизации холодильных установок. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ВО «Агропромиздат», 1987, 287 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для учащихся техникумов).

Рассмотрены теоретические основы автоматизации, основные элементы и приборы автоматки, регулирование и защита основных параметров и схемы холодильных установок. Взаимодействие автоматических приборов рассмотрено на примере конкретных технологических и электрических схем установок, применяемых в пищевой промышленности, торговле и общественном питании. Учебник предназначен для учащихся холодильных отделений техникумов.

К $\frac{2303050000-153}{035(01)-87}$ 354-87

ББК 31.392

© Издательство «Легкая и пищевая промышленность», 1976

© ВО «Агропромиздат», 1987, с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ К 3-МУ ИЗДАНИЮ

Широкое внедрение автоматизации — наиболее эффективный путь повышения производительности труда.

Холодильные установки на предприятиях пищевой промышленности, в торговле и общественном питании в настоящее время почти полностью автоматизированы. Обслуживание таких установок заключается в основном в наладке автоматических систем и периодической проверке средств автоматизации.

В учебнике основное внимание уделяется общим принципам автоматизации (главы 1 и 2), глубокое изучение которых позволит выпускникам легко осваивать новую технику. Наряду с этим дается описание современных отечественных приборов и схем автоматизации.

По сравнению с первым и вторым изданиями (1968 и 1976 гг.) в настоящем учебнике более доходчиво изложены теоретические основы автоматизации; больше уделяется внимания современной электронной технике (полупроводниковые элементы, микросхемы, усилители и другие электронные схемы); автоматические пульты управления компрессорами систематизированы и выделены в отдельную главу; глубже проработаны схемы автоматизации крупных установок и установок кондиционирования воздуха, а также поршневых и винтовых компрессоров с регулируемой холодопроизводительностью.

Глава 2 (кроме § 9 и 10) и глава 3 написаны З. В. Подлипенцевой, остальные главы (кроме § 31 главы 8) — В. И. Канторовичем; § 9 и 10 главы 2 — А. А. Подлипенцевым; § 31 главы 8 — Г. Е. Ямпольским.

Авторы благодарят за помощь в работе инженеров Московского завода «Компрессор» Я. А. Суздальцева, Т. М. Клячко и инженеров Гипрохолода М. Е. Юсим и Г. Н. Ратнер, а также рецензента — преподавателя Московского механико-технологического техникума мясной и холодильной промышленности Л. И. Клименкову и инж. В. Б. Глоцера за ценные советы, сделанные при просмотре рукописи.

В работе над учебником принимал участие Владимир Давыдович Вайнштейн, памяти которого авторы посвящают эту книгу.

ВВЕДЕНИЕ

На многих объектах для организации правильного технологического процесса необходимо длительно поддерживать заданные значения различных физических параметров или изменять их во времени по определенному закону. Вследствие различных внешних воздействий на объект эти параметры отклоняются от заданных. Оператор или машинист должен так воздействовать на объект, чтобы значения регулируемых параметров не выходили за допустимые пределы, т. е. управлять объектом. Отдельные функции оператора могут выполнять различные автоматические приборы. Воздействие их на объект осуществляется по команде человека, который следит за состоянием параметров. Такое управление называют автоматическим. Чтобы полностью исключить человека из процесса управления, система должна быть замкнутой: приборы должны следить за отклонением регулируемого параметра и соответственно давать команду на управление объектом. Такая замкнутая система управления называется системой автоматического регулирования.

Термин «автоматическое управление» часто употребляют и в более широком смысле, понимая под этим полностью автоматизированное управление сложными объектами (самолетами, летающими снарядами, космическими кораблями). Такое управление охватывает обычно целый комплекс сложных систем автоматического регулирования отдельных параметров.

Первые простейшие автоматические системы регулирования для поддержания заданных значений уровня жидкости, давления пара, скорости вращения появились во второй половине XVIII в. с развитием паровых машин. Создание первых автоматических регуляторов шло интуитивно и было заслугой отдельных изобретателей. Для дальнейшего развития средств автоматизации необходимы были методы расчета автоматических регуляторов. Уже во второй половине XIX в. была создана стройная теория автоматического регулирования, основанная на математических методах. В работах Д. К. Максвелла «О регуляторах» (1866 г.) и И. А. Вышнеградского «Об общей теории регуляторов» (1876 г.), «О регуляторах прямого действия» (1876 г.) регуляторы и объект регулирования впервые рассматриваются как единая динамическая система. Теория автоматического регулирования непрерывно расширяется и углубляется.

Современный этап развития автоматизации характеризуется значительным усложнением задач автоматического управления: увеличением числа регулируемых параметров и взаимосвязью

объектов регулирования; повышением требуемой точности регулирования, их быстродействия; увеличением дистанционности управления и т. д. Эти задачи могут быть решены только на базе современной электронной техники, широкого внедрения микропроцессоров и универсальных компьютеров.

Широкое внедрение автоматизации на холодильных установках началось только в XX в., но уже в 60-х годах созданы крупные полностью автоматизированные установки. Для работы на этих установках учащимся необходимо изучить сущность теории автоматического регулирования (свойства объектов регулирования, автоматических регуляторов, а также систем автоматического регулирования и защиты). Наряду с этим надо хорошо знать конструкцию выпускаемых автоматических приборов, различных средств автоматизации, технологические и электрические схемы автоматизации.

Знание общих законов теории автоматического регулирования, основных элементов приборов автоматики, принципов построения технологических и электрических схем автоматизации, а также умение самостоятельно читать эти схемы поможет учащимся после окончания техникума в работе на производстве. Они смогут легко осваивать новые выпускаемые приборы и схемы автоматизации холодильных установок, которые еще не вошли в учебники и не освещены в технической литературе.

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- b — коэффициент рабочего времени (КРВ);
 c — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);
 C — коэффициент емкости (размерный);
 F — площадь теплопередающей поверхности, м²;
 H — высота уровня, м;
 h — удельная энтальпия, Дж/кг;
 k — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);
 κ — коэффициенты в безразмерной форме;
 K — коэффициент размерный;
 l — длина, м;
 m — масса, кг;
 M — массовый расход, кг/с;
 $M_{\text{н}}$ — нагрузка на объект (любая);
 μ — нагрузка в безразмерной форме; $\mu = (M_{\text{н0}} - M_{\text{н}}) / M_{\text{н0}}$;
 $Q_{\text{н}}$ — тепловая нагрузка на объект, Вт;
 $M_{\text{р}}$ — регулирующее воздействие ($Q_{\text{р}}$ — тепловое);
 n — частота вращения, 1/с;
 p — давление, Па;
 Q — теплота, Дж; тепловой поток (отношение теплоты ко времени), Вт;
 t — температура, °С;
 T — постоянная времени, с; температура абсолютная, К;
 Δt — разность температур, °С;
 V — объем, м³; объемный расход, м³/с;
 X — регулируемый параметр (любой);
 $\Delta X = X - X_0$ — приращение параметра;
 $x = \Delta X / X_0$ — то же, в безразмерной форме;
 $X_{\text{ст}}$ — статическая ошибка в размерной форме;
 $x_{\text{ст}}$ — то же, в безразмерной форме;
 Y — значение параметра на выходе из регулятора;
 $y = \Delta Y / Y_0$ — то же, в безразмерной форме;
 α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);
 α_t — коэффициент линейного расширения, 1/К;
 φ — относительная влажность;
 ρ — коэффициент самовыравнивания (общий);
 $\rho_{\text{р}}, \rho_{\text{н}}$ — то же, на стороне регулирующего воздействия и нагрузки;
 $\tau_{\text{р}}, \tau_{\text{п}}, \tau_{\text{ц}}$ — время работы, паузы, за весь цикл.

Индексы нижние

- вд — вода;
вз — воздух;
вс — всасывание в компрессор;
к — при температуре (давлении) конденсации;
н — при нагнетании из компрессора; наружные условия;
об — в охлаждаемом объекте;
р — рассол, хладоноситель;
т — теоретический;
о — при температуре (давлении) кипения; начальное значение переменной величины;
1 — параметры на входе, номера точек;
2 — параметры на выходе, номера точек.

Сокращенные названия узлов в технологических схемах

- Б* — бак;
- В* — верхний контакт;
- В* — вентиль;
- ВК* — всасывающий коллектор;
- ВО* — воздухоохладитель;
- ВР* — водорегулирующий вентиль;
- Гр* — градирня;
- Д* (*ДК, ДН, ДВ*) — электродвигатель (компрессора, насоса, вентилятора);
- Др* — дроссель нерегулируемый;
- ДР* — дренажный ресивер;
- ДК* — дренажный коллектор;
- Дт* — детандер;
- ЖК* — жидкостный коллектор;
- ЗР* — защитный ресивер;
- ЗУ* — задающее устройство;
- И* — испаритель;
- ИМ* — исполнительный механизм;
- К* — камера, калорифер;
- Кд* — конденсатор;
- Км* — компрессор;
- КТр* — капиллярная трубка;
- ЛР* — линейный ресивер;
- М* — манометр, электродвигатель;
- МО* — маслоотделитель;
- МС* — маслосборник;
- МОх* — маслоохладитель;
- Н* — насос, настройка, нижний контакт;
- Нг* — нагреватель;
- ОВ* — отделитель воздуха;
- ОЖ* — отделитель жидкости;
- ОК* — обратный клапан, оросительная камера;
- ОтК* — оттаивательный коллектор;
- Ох* — охладитель;
- ПО* — переохладитель;
- ПР* (*ПРВ*) — поплавковый регулятор;
- ПрР* — программное реле;
- ПС* — промежуточный сосуд;
- ПЭ* — пороговый элемент;
- Р* — ресивер;
- РВ* — регулирующий вентиль; реле времени;
- РД* — реле давления;
- РКС* — реле контроля смазки;
- РО* — регулирующий орган;
- РТ* — реле температуры;
- РХ* — распределительный холодильник;
- СВ* — соленоидный вентиль;
- ТО* — теплообменник;
- ТРВ* — терморегулирующий вентиль;
- Ус* — усилитель;
- Ф* — фильтр;
- ФМ* — фильтр масляный;
- ФО* — фильтр-осушитель;
- ФФ* — фильтр фреоновый;
- ЦР* — циркуляционный ресивер;
- ЧЭ* — чувствительный элемент;
- ЭС* — элемент сравнения;
- ЭК* — электромагнитный клапан.

Сокращения в электрических схемах

- АВ** — автоматический выключатель;
ВК — выключатель концевой;
Д — диод, двигатель;
ДВ — дверной выключатель;
ДТ — датчик температуры;
Зв — звонок;
ИП — импульсный преобразователь;
ИУ — измерительное устройство;
КП — кнопка «Пуск»;
КР — ключ режимов (см. **ПР**);
КС — кнопка «Стоп»;
Л, ЛС — лампочка (лампочка сигнальная);
ЛК — лампочка красная;
П — пускатель;
ПК, ПН — пускатель компрессора, насоса;
ПО — пусковая обмотка;
ПР — пускатель реверсивный, переключатель режимов (см. **КР**);
ПрУ — преобразователь уровня;
Пр — предохранитель;
Р — реле промежуточное;
РА — реле аварийное;
РВ — реле времени;
РВТ — реле времени и температуры;
РД — реле давления;
РН — реле напряжения;
РО — рабочая обмотка;
РП — реле пусковое (реле промежуточное);
РР — реле расхода;
РС — реле сброса сигнала;
РТ — реле температуры;
РУ — реле управления (компрессором);
РУ — реле уровня;
РУ — распределительное устройство;
Rx — термосопротивление;
ОС — обратная связь;
СВ — соленоидный вентиль (**СВ_в** — на воде, **СВ_б** — на байпасе);
СУ — сигнальное устройство;
Т — транзистор, триггер;
ТТ — трансформатор тока;
Тр — трансформатор;
ТР — тепловое реле;
ТРК — термореле компрессора;
ТЭН — трубчатый электронагреватель;
ШР — штепсельный разъем;
ЭМ — электромагнитный вентиль (см. **СВ**);
ЭП — электронный прибор;
С — емкостное сопротивление (конденсатор);
L — индуктивное сопротивление;
R — сопротивление.

Глава 1

ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Основные понятия. Для управления различными технологическими процессами необходимо поддерживать в заданных пределах, а иногда изменять по определенному закону значение одной или одновременно нескольких физических величин. При этом необходимо следить, чтобы не возникали опасные режимы работы.

Устройство, в котором протекает процесс, требующий непрерывного регулирования, называют *управляемым объектом*, или сокращенно *объектом* (рис. 1, а).

Физическая величина, значение которой не должно выходить за определенные пределы, называется управляемым, или *регулируемым, параметром* и обозначается буквой X . Это может быть температура t , давление p , уровень жидкости H , относительная влажность ϕ и т. д. Начальное (заданное) значение регулируемого параметра обозначим X_0 . В результате внешних воздействий на объект действительное значение X может отклоняться от заданного X_0 . Величину отклонения регулируемого параметра от своего начального значения называют *рассогласованием*: $\Delta X = X - X_0$.

Внешнее воздействие на объект, не зависящее от оператора и увеличивающее рассогласование, называют *нагрузкой* и обозначают M_n (или Q_n — когда речь идет о тепловой нагрузке).

Чтобы уменьшить рассогласование, необходимо оказать на объект воздействие, противоположное нагрузке. Организованное воздействие на объект, уменьшающее рассогласование, называют *регулирующим воздействием* — M_p (или Q_p — при тепловом воздействии).

Значение параметра X (в частности, X_0) сохраняется постоянным только тогда, когда регулирующее воздействие равно нагрузке:

$$X = \text{const} \text{ только при } M_p = M_n.$$

Это основной закон регулирования (как ручного, так и автоматического). Для уменьшения положительного рассогласования необходимо, чтобы M_p было по модулю больше, чем M_n . И наоборот, при $M_p < M_n$ рассогласование увеличивается.

Автоматические системы. При ручном регулировании для изменения регулирующего воздействия машинисту приходится иногда выполнять целый ряд операций (открытие или закрытие вентилей, пуск насосов, компрессоров, изменение их произво-

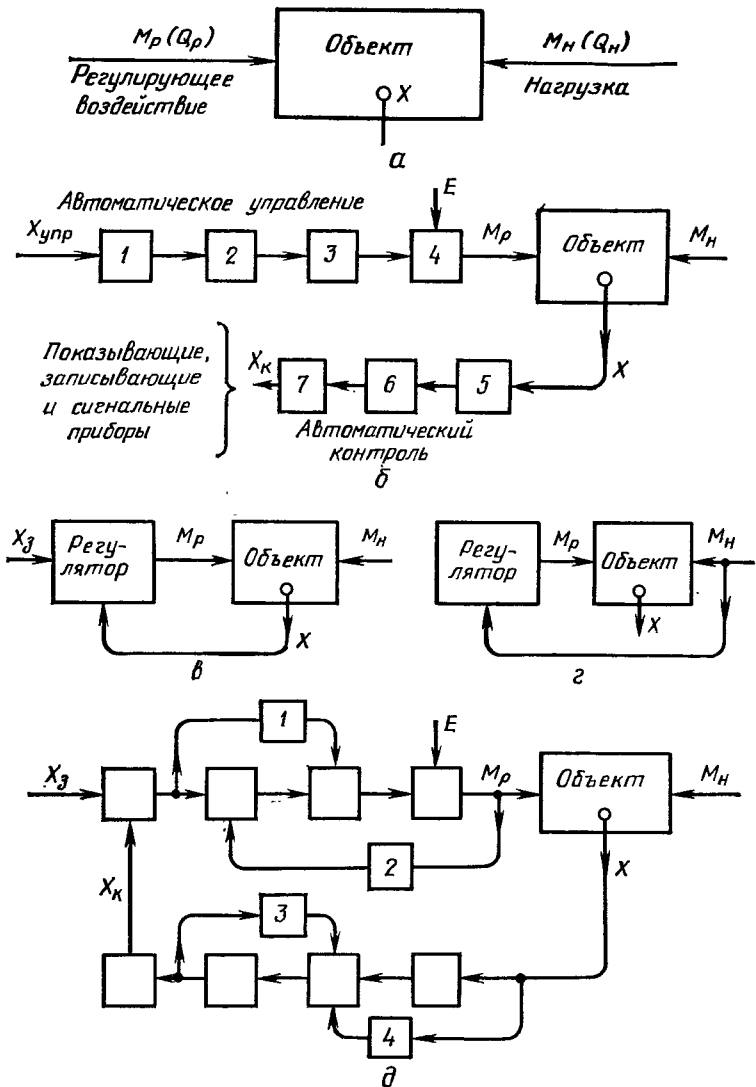


Рис. 1. Блочные схемы автоматических систем управления:
a — внешнее воздействие на объект; *б* — автоматическое управление и контроль;
в — автоматическая система регулирования; *г* — автоматическая система отслеживания нагрузки; *д* — схема автоматического регулирования с дополнительными связями

длительности и т. д.). Если эти операции выполняются автоматическими устройствами по команде человека (например, нажатием кнопки «Пуск»), то такой способ работы называют *автоматическим управлением*. Сложная схема такого управления показана на рис. 1, б. Элементы 1, 2, 3 и 4 преобразуют один

физический параметр в другой, более удобный для передачи следующему элементу. Стрелки показывают направление воздействия. Входным сигналом автоматического управления $X_{упр}$ может быть нажатие кнопки, перемещение ручки реостата и т. д. Для увеличения мощности передаваемого сигнала к отдельным элементам может быть подведена дополнительная энергия E .

Для управления объектом машинисту (оператору) необходимо непрерывно получать информацию от объекта, т. е. вести контроль: замерять значение регулируемого параметра X и подсчитывать величину рассогласования ΔX . Этот процесс также можно автоматизировать (автоматический контроль), т. е. установить приборы, которые будут показывать, записывать величину ΔX или подавать сигнал при выходе ΔX за допустимые пределы.

Информацию, получаемую от объекта (цепочка 5—7), называют *обратной связью*, а автоматическое управление — *прямой связью*.

При автоматическом управлении и автоматическом контроле оператору достаточно взглянуть на приборы и нажать кнопку. Нельзя ли и этот процесс автоматизировать, чтобы совсем обойтись без оператора? Оказывается, достаточно подать выходной сигнал автоматического контроля X_k на вход автоматического управления (к элементу 1), чтобы процесс управления стал полностью автоматизированным. При этом элемент 1 сравнивает сигнал X_k с заданным X_z . Чем больше рассогласование ΔX , тем больше разность $X_k - X_z$, и соответственно увеличивается регулирующее воздействие M_p .

Автоматические системы управления с замкнутой цепью воздействия, в которых управляющее воздействие вырабатывается в зависимости от рассогласования, называют *автоматической системой регулирования*.

Элементы автоматического управления (1—4) и контроля (5—7) при замыкании цепи образуют автоматический регулятор. Таким образом, автоматическая система регулирования состоит из объекта и автоматического регулятора (рис. 1, в). *Автоматическим регулятором* (или просто *регулятором*) называют устройство, которое воспринимает рассогласование и воздействует на объект так, чтобы уменьшить это рассогласование.

По цели воздействия на объект различают стабилизирующие, программные, следящие и оптимизирующие системы управления.

Стабилизирующие системы поддерживают значение регулируемого параметра постоянным (в заданных пределах). Настройка у них постоянна.

Программные системы управления имеют настройку, изменяющуюся с течением времени по заданной программе.

В *следящих системах* настройка непрерывно изменяется в зависимости от какого-то внешнего фактора. В установках кондиционирования воздуха, например, в жаркие дни выгоднее

поддерживать в помещении более высокую температуру, чем в прохладные. Поэтому желательно непрерывно изменять настройку в зависимости от температуры наружного воздуха.

В *оптимизирующих системах* поступающая на регулятор информация от объекта и внешней среды предварительно обрабатывается для определения наиболее выгодного значения регулируемого параметра. В соответствии с этим изменяется настройка.

Для поддержания заданного значения регулируемого параметра X_0 кроме автоматических систем регулирования иногда применяют автоматическую систему отслеживания нагрузки (рис. 1, з). В этой системе регулятор воспринимает изменение нагрузки, а не рассогласования, обеспечивая непрерывное равенство $M_p = M_n$. Теоретически при этом точно обеспечивается $X_0 = \text{const}$. Однако практически из-за различных внешних воздействий на элементы регулятора (помехи) равенство $M_p = M_n$ может нарушиться. Возникающее при этом рассогласование ΔX оказывается значительно больше, чем в системе автоматического регулирования, так как в системе отслеживания нагрузки отсутствует обратная связь, т. е. она не реагирует на рассогласование ΔX .

В сложных автоматических системах (рис. 1, д) наряду с основными цепями (прямой и обратной связями) могут быть и дополнительные цепи прямой и обратной связей. Если направление дополнительной цепи совпадает с основной, то ее называют прямой (цепи 1 и 4); если направления воздействий не совпадают, то возникает дополнительная обратная связь (цепи 2 и 3). Входом автоматической системы считают задающее воздействие, выходом — регулируемый параметр.

Наряду с автоматическим поддержанием параметров в заданных пределах необходима также защита установок от опасных режимов, которую выполняют *системы автоматической защиты (САЗ)*. Они могут быть профилактическими или аварийными.

Профилактическая защита воздействует на регулирующие устройства или отдельные элементы регулятора до наступления опасного режима. Например, в случае прекращения подачи воды на конденсатор компрессор надо остановить, не дожидаясь аварийного повышения давления.

Аварийная защита воспринимает отклонение регулируемого параметра и, когда значение его становится опасным, отключает один из узлов системы, чтобы рассогласование больше не возрастало. При срабатывании автоматической защиты нормальное функционирование системы автоматического регулирования прекращается и регулируемый параметр обычно выходит за допустимые пределы. Если после срабатывания защиты контролируемый параметр вернулся в заданную зону, САЗ может снова включить отключенный узел, и система регулирования продолжает нормально работать (защита многообразного

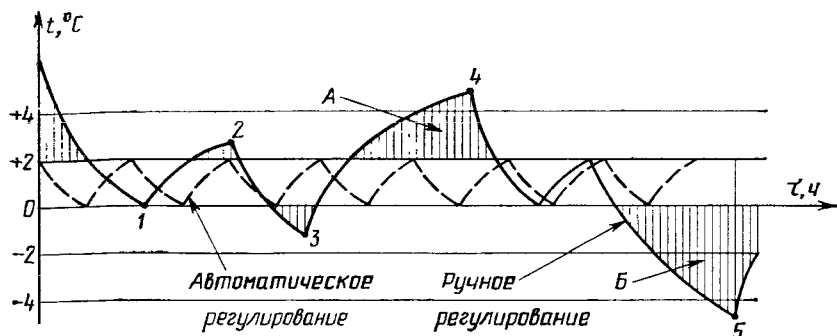


Рис. 2. График изменения температуры в камере холодильника при ручном и автоматическом регулировании

действия). На крупных объектах чаще применяют САЗ однократного действия, т. е. после возвращения контролируемого параметра в допустимую зону отключенные защитой узлы сами уже не включаются.

САЗ обычно сочетают с сигнализацией (общей или дифференцированной, т. е. указывающей на причину срабатывания).

Преимущества автоматизации. Чтобы выявить преимущества автоматизации, сравним для примера графики изменения температуры в холодильной камере при ручном и автоматическом ее регулировании (рис. 2). Пусть требуемая температура в камере от 0 до 2 $^\circ\text{C}$. Когда температура достигает 0 $^\circ\text{C}$ (точка 1), машинист останавливает компрессор. Температура начинает повышаться, и, когда поднимется примерно до 2 $^\circ\text{C}$, машинист снова включает компрессор (точка 2). График показывает, что из-за несвоевременного включения или остановки компрессора температура в камере выходит за допустимые пределы (точки 3, 4, 5). При частых повышениях температуры (участок А) сокращаются допустимые сроки хранения, ухудшается качество скоропортящихся продуктов. Пониженная температура (участок Б) вызывает усушку продуктов, а иногда и снижает их вкусовые качества; кроме того, на дополнительную работу компрессора бесцельно расходуются электроэнергия, охлаждающая вода, преждевременно наступает износ компрессора.

При автоматическом регулировании реле температуры включает и останавливает компрессор при 0 и $+2$ $^\circ\text{C}$.

Основные функции защиты приборы также выполняют надежнее, чем человек. Машинист может не заметить быстрого повышения давления в конденсаторе (из-за прекращения подачи воды), неисправность в масляном насосе и пр., приборы же реагируют на эти неисправности мгновенно. Правда, в некоторых случаях неполадки скорее будут замечены машинистом, он услышит стук в неисправном компрессоре, почувствует местную

утечку аммиака. Все же опыт эксплуатации показал, что автоматические установки работают значительно надежнее.

Таким образом, автоматизация обеспечивает следующие основные преимущества:

сокращаются затраты времени на обслуживание;

точнее поддерживается требуемый технологический режим;

уменьшаются эксплуатационные расходы (на электроэнергию, воду, ремонт и пр.);

повышается надежность работы установок.

Несмотря на перечисленные преимущества, автоматизация целесообразна лишь в тех случаях, когда это экономически обосновано, т. е. расходы, связанные с автоматизацией, окупаются экономией от ее внедрения. Кроме того, необходимо автоматизировать процессы, нормальное протекание которых не может быть обеспечено при ручном управлении: точные технологические процессы, работа во вредной или взрывоопасной среде.

Из всех процессов автоматизации наибольшее практическое значение имеет автоматическое регулирование. Поэтому далее в основном рассматриваются автоматические системы регулирования, являющиеся основой автоматизации холодильных установок.

§ 2. ПРИМЕРЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Рассматривая автоматическую систему по чертежам или в натуре, необходимо четко уяснить: 1) какой физический параметр является регулируемым (почему его надо поддерживать в заданных пределах?); 2) какие воздействия на объект являются нагрузкой; 3) что является регулирующим воздействием; 4) как регулятор воспринимает изменение регулируемого параметра, создает сигнал, соответствующий величине рассогласования, и изменяет регулирующее воздействие; 5) как задается начальное значение X_0 .

Рассмотрим несколько примеров стабилизирующих автоматических систем.

На рис. 3 показана система автоматического регулирования давления газа в газгольдере. Давление газа X является регулируемым параметром: при слишком низком давлении не будет обеспечена подача газа к потребителю (газовые плиты в жилых помещениях); создавать слишком высокое давление неэкономично и опасно. Поэтому давление должно поддерживаться в заданных пределах. Нагрузкой M_n здесь является, очевидно, расход газа потребителем. В течение суток нагрузка меняется от $M_n=0$ (ночью) до $M_n=M_{n, \text{ макс}}$ (в часы пик). С увеличением нагрузки давление X падает, и регулятор должен увеличить подачу газа в объект (газгольдер) — это и будет регулирующим воздействием. Подача газа должна возрасти до тех пор, пока не установится равенство $M_p=M_n$. Принцип работы регулятора, когда ясно его назначение, становится очень простым. Началь-

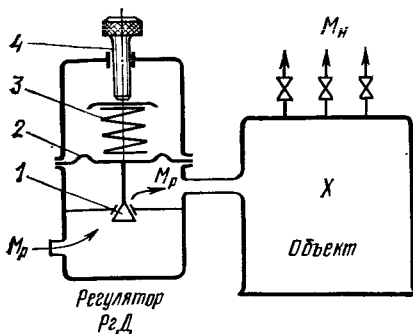


Рис. 3. Автоматическая система регулирования давления газа в газогорелке

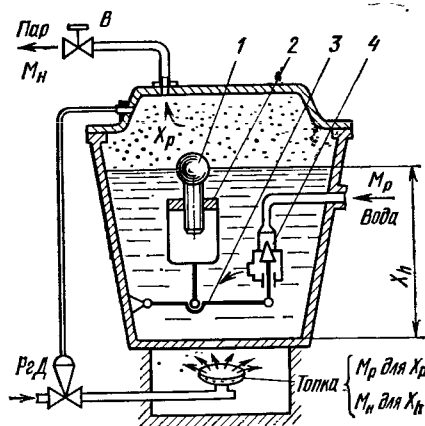


Рис. 4. Автоматические системы регулирования давления пара и уровня воды в паровом котле И. И. Ползунова

ное (заданное) давление X_0 , действующее на упругую мембрану 2 (снизу), уравнивается силой сжатия пружины 3, и клапан 1, жестко соединенный с мембраной, занимает начальное (среднее) положение. С увеличением нагрузки давление газа в объекте падает. Пружина отжимает мембрану книзу, клапан открывается и увеличивает подачу газа, пока она не станет равной новой нагрузке. При большом расходе новое установившееся давление $X_{уст}$ несколько ниже начального X_0 , однако регулятор подбирают так, чтобы это отклонение было в допустимых пределах.

Изменяя начальное натяжение пружины 3 вращением винта 4, можно установить различные значения давления X_0 .

Рассмотрим более сложный объект — паровой котел, в котором надо одновременно регулировать два параметра: давление пара X_p и уровень воды X_h (рис. 4).

Пар по мере надобности через вентиль В подается на турбину паровой машины, обеспечивая необходимую скорость вращения турбины. Расход пара M_n является нагрузкой. С увеличением расхода давление пара X_p падает. Чтобы давление не падало, надо увеличить образование пара подогревом воды, т. е. регулирующее воздействие M_p . Давление X_p будет постоянным, если количество выкипаемого пара в единицу времени будет равно расходу M_n . С увеличением расхода пара надо увеличить подачу жидкого топлива. Чтобы автоматизировать этот процесс, можно установить регулятор давления РгД (как на рис. 3). С увеличением расхода пара увеличится расход топлива и давление X_p не выйдет за допустимые пределы. Однако уровень воды в котле при этом будет понижаться.

При большом снижении уровня X_h может оголиться и выйти из строя поверхность нагрева. Поэтому уровень воды должен находиться в заданных пределах. По отношению к уровню воды образование пара подогревом в топке является уже не регулирующим воздействием, а нагрузкой. Регулирующим воздействием будет добавление воды в котел.

С увеличением нагрузки уровень воды понижается, поплавков регулятора 1 опускается и через рычаг 3 опускает клапан 4. Подача воды в котел возрастает. Когда M_p станет равным M_n (количеству выкипающей воды), уровень воды установится в определенном положении — немного ниже первоначального (подумайте — почему?), но не ниже требуемого. Резьбовое соединение поплавка 1 с серьгой 2 позволяет установить требуемую начальную высоту уровня (при средней нагрузке).

Русский ученый И. И. Ползунов в 1765 г. для регулирования уровня в котле применил поплавковый автоматический регулятор. Это была первая система автоматического регулирования.

Поплавковый регулятор, созданный И. И. Ползуновым более 200 лет назад, находит широкое применение и в настоящее время. Его используют для регулирования уровня хладагента в испарителе, для перепуска накопившегося в маслоотделителе масла в картер компрессора и во многих других случаях.

Рассмотрим два способа регулирования давления в конденсаторе холодильной машины с водяным охлаждением (рис. 5).

В нижней части конденсатора имеется жидкий хладагент. Давление насыщенного пара (над жидкостью) при неработающем компрессоре однозначно определяется температурой окружающей среды. При работе компрессора горячий пар поступает в конденсатор. Температура в конденсаторе растет, и теплота передается поступающей в конденсатор воде и частично окружающему воздуху. Когда теплота Q_p , отводимая водой, станет

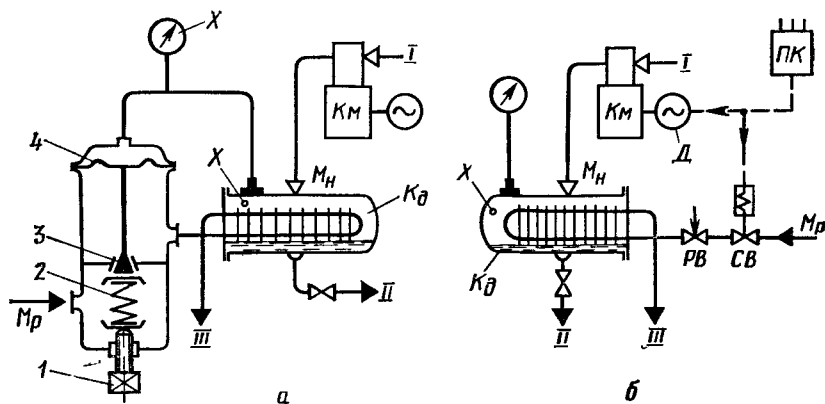


Рис. 5. Автоматические системы стабилизации давления в конденсаторе: а — автоматическая система регулирования (по рассогласованию); б — автоматическая система отслеживания нагрузки; I — пар из испарителя; II — жидкий хладагент в испаритель; III — слив отепленной в конденсаторе воды в канализацию

равной теплоте, отдаваемой паром при конденсации Q_n , температура конденсации и давление стабилизируются (они станут несколько выше, чем при неработающем компрессоре).

Нагрузка на конденсатор Q_n (Вт)

$$Q_n = M_n (h_1 - h_2), \quad (1.1)$$

где M_n — подача пара компрессором, кг/с; h_1 и h_2 — удельные энтальпии соответственно поступающего пара и жидкого холодильного агента, Дж/кг.

В малых холодильных машинах компрессор обычно работает циклично: при повышении температуры или давления в испарителе он автоматически включается, а когда температура достигнет заданной — останавливается. С увеличением тепловой нагрузки на оборудование и на испаритель период работы компрессора увеличивается, а пауза сокращается. Соответственно растет нагрузка и на конденсатор. При увеличении давления X на мембрану 4 клапан регулятора 3 сжимает пружину 2 и увеличивает подачу охлаждающей воды M_p .

Теплота, отводимая водой Q_p (Вт),

$$Q_p = M_p c (t_{вд2} - t_{вд1}), \quad (1.2)$$

где c — удельная теплоемкость воды; $c \approx 4200$ Дж/(кг·°C); $t_{вд1}$ и $t_{вд2}$ — температуры воды на входе в конденсатор и на выходе из него.

Устанавливаемое начальное давление X_0 задается винтом 1, определяющим натяжение пружины 2. При высоких значениях давления X_0 увеличивается расход электроэнергии на сжатие пара, снижается надежность машины. А чтобы поддерживать низкое давление X_0 , необходим большой расход воды. Регулятор настраивают на оптимальное значение X_0 .

Для стабилизации давления в конденсаторе часто применяют автоматическую систему отслеживания нагрузки (рис. 5, б) — «регулирование по нагрузке». Заданное начальное давление X_0 обеспечивают соответствующим открытием регулирующего вентиля $PВ$. При установившемся давлении X_0 отвод теплоты водой равен тепловой нагрузке непрерывно работающего компрессора, т. е. $Q_p = Q_n$. При достижении заданной температуры в камере магнитный пускатель $ПК$ отключается, останавливает двигатель $Д$ и одновременно отключает соленоидный вентиль $СВ$, перекрывая подачу воды в конденсатор. Чем дольше работает компрессор, тем больше расход воды. Непрерывно сохраняется равенство $M_p = M_n$. Теоретически значение X_0 при этом не должно изменяться. Однако практически из-за различных непредусмотренных внешних воздействий на объект и регулятор (помехи) тепловой баланс $Q_p = Q_n$ [см. формулы (1.1) и (1.2)] нарушается. Изменилось, например, давление подаваемой воды, и уменьшится ее расход M_p ; может измениться температура подаваемой воды $t_{вд1}$, температура и энтальпия подаваемого в компрессор пара h_1 , производительность компрессора. При этом могут возникнуть отклонения давления $X - X_0$, значи-

тельно бóльшие, чем в схеме автоматического регулирования, так как система отслеживания нагрузки (см. рис. 1, з) не реагирует на величину рассогласования.

В тех случаях, когда нагрузка воздействует на объект по многим каналам (например, теплоприток в охлаждаемый объект), система отслеживания нагрузки для стабилизации регулируемой величины вообще невозможна.

§ 3. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Процесс регулирования. Нагрузка на систему автоматического регулирования непрерывно изменяется. С увеличением нагрузки растет рассогласование ΔX . Автоматический регулятор, улавливая это рассогласование, изменяет регулирующее воздействие. При этом оно становится больше нагрузки, а ΔX уменьшается и может принять отрицательные значения. Тогда регулятор снова уменьшит регулирующее воздействие. Даже если наступит равенство $M_p = M_n$, то значение X долго оставаться постоянным не будет, так как нагрузка вновь изменится. Непрерывное изменение регулируемого параметра во времени $X = X(\tau) = f(\tau)$ называют *процессом регулирования*. В действующей системе этот процесс можно наблюдать по измерительным приборам или записывать его на ленте в координатах X , τ . Однако для правильного выбора регулятора и его настройки необходимо заранее знать, как пойдет процесс регулирования, т. е. необходима количественная оценка этого процесса.

Для каждого объекта на основании физических законов можно составить уравнение, показывающее, как изменится регулируемый параметр $X(\tau)$ с изменением нагрузки на объект M_n и регулирующего воздействия M_p . Это уравнение называют уравнением объекта:

$$X(\tau) = f[M_n(\tau), M_p(\tau)]. \quad (1.3)$$

Вместе с тем изменение $X(\tau)$, действуя на регулятор (обратная связь), вызывает однозначное изменение регулирующего воздействия. Эту зависимость называют уравнением регулятора:

$$M_p(\tau) = \varphi[X(\tau)]. \quad (1.4)$$

Для системы в целом входным воздействием является только нагрузка (если задающее воздействие $X_3 = \text{const}$, т. е. система стабилизирующая). Поэтому, чтобы найти зависимость $X(\tau)$ от нагрузки, надо из уравнений (1.3) и (1.4) исключить M_p . В результате получим

$$X(\tau) = \psi[M_n(\tau)]. \quad (1.5)$$

Это дифференциальное уравнение системы (сюда могут входить и производные от X и M_n) описывает процесс регулирования. Для решения уравнения его удобнее представить в безраз-

мерной форме

$$x(\tau) = \Psi[\mu(\tau)], \quad (1.5a)$$

где x — безразмерная регулируемая величина;

$$x = \Delta X / X_0;$$

μ — безразмерная нагрузка;

$$\mu = \Delta M_H / M_{H0};$$

ΔX и ΔM_H — отклонения регулируемой величины и нагрузки от своих начальных значений X_0 и M_{H0} ; за начальные обычно принимают средние расчетные значения.

Чтобы решить уравнение (1.5a), надо задать характер изменения нагрузки $\mu(\tau)$ и проинтегрировать это уравнение.

Виды нагрузок. Нагрузка изменяется с течением времени произвольно. Однако для изучения влияния нагрузки на процесс регулирования целесообразно рассмотреть три характерных вида нагрузки: ступенчатую, импульсную и синусоидальную (рис. 6).

Ступенчатая нагрузка — это нагрузка, которая в определенный момент времени (например, $\tau=0$) изменяется скачком от 0 до μ_1 (рис. 6, а) и остается на этом уровне. Ступенчатая функция, у которой величина скачка равна 1, называется единичной и обозначается I . Значению $\mu=1$ соответствует увеличение нагрузки в два раза.

$$(2M_{H0} - M_{H0}) / M_{H0} = I. \quad (1.6)$$

Ступенчатую нагрузку применяют для испытания систем, но часто она встречается и в действительных условиях (например, включили и оставили освещение в холодильной камере, открыли вентиль расхода газа из системы и т. д.).

Импульсная нагрузка — это ступенчатая нагрузка, которая через короткий промежуток времени исчезает (рис. 6, б). Если продолжительность импульса составляет τ_1 , а величину его принять равной $1/\tau_1$, то такую импульсную функцию называют единичной (площадь S равна единице). На практике воздействие на систему, близкое к импульсному, встречается очень часто: кратковременное открывание дверей в камере, кратковремен-

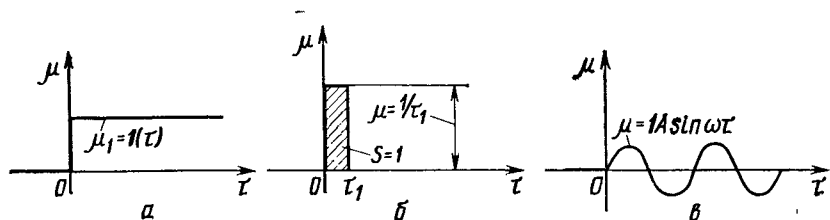


Рис. 6. Типовые виды нагрузки:

а — ступенчатая; б — импульсная; в — синусоидальная

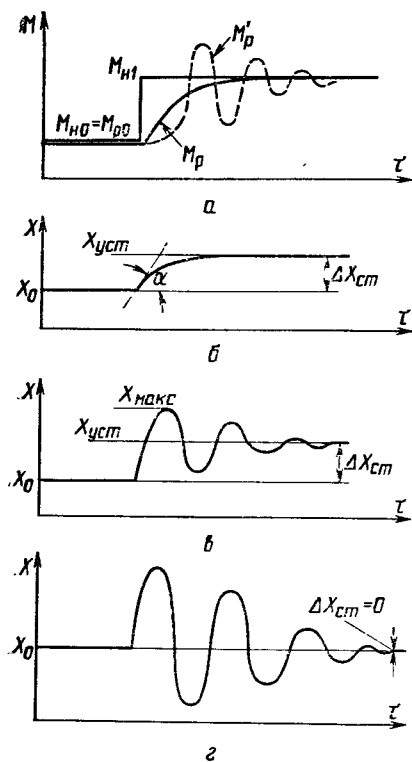


Рис. 7. Примеры переходных процессов:

а — ступенчатое изменение нагрузки; б — аperiodический статический процесс; б — колебательный затухающий статический; г — то же, астатический

Зная переходный процесс (т. е. реакцию системы на ступенчатую нагрузку), можно определить процесс регулирования и при других типах нагрузки, так как с некоторым приближением переменную нагрузку на небольших участках можно заменить ступенчатой. На рис. 7, б—г представлены переходные процессы, вызванные одинаковой ступенчатой нагрузкой, показанной на рис. 7, а. Если воздействие на объект M_p , непрерывно изменяющееся, не превышает величины нагрузки, то регулируемая величина плавно достигает своего нового установившегося значения $X_{уст}$, не превышая его в течение переходного периода. Скорость изменения X (тангенс угла α) уменьшается, не меняя знака. Такой процесс называется аperiodическим (рис. 7, б). Когда небольшое отклонение регулируемой величины вызывает резкое изменение регулирующего воздействия и значение его M'_p оказывается больше нагрузки (пунктир на

ное открывание вентиля расхода газа или жидкости и т. д.

Синусоидальной называют нагрузку, меняющуюся по синусоиде. В тех случаях, когда внешнее воздействие на систему периодически меняется по значению и по знаку, его с некоторым приближением можно изобразить в виде синусоиды: $M_n = A \sin \omega t$, где A — амплитуда колебания, а ω — частота колебаний. Примером такой нагрузки могут служить теплопритоки через ограждения крупных холодильников, так как температура наружного воздуха в течение суток меняется примерно по синусоиде.

Переходный процесс. Для изучения свойств систем автоматического регулирования применяют, как правило, ступенчатую нагрузку. Эта нагрузка обычно наиболее тяжелой для системы, и, кроме того, ее легко осуществить. Процесс регулирования, вызванный ступенчатым изменением нагрузки, называют *переходным процессом* (переходной характеристикой).

рис. 7, а), то в системе возникает колебательный (обычно затухающий) процесс (рис. 7, в). С течением времени регулируемая величина принимает новое значение, соответствующее изменившейся нагрузке. Отклонение нового установившегося значения $X_{уст}$ от заданного X_0 называют статической ошибкой

$$\Delta X_{ст} = X_{уст} - X_0$$

а системы, имеющие статическую ошибку, называют статическими. Если в системе по окончании переходного процесса статическая ошибка исчезает (равна нулю), то такую систему называют астатической (рис. 7, г).

Статическая характеристика системы. Меняя величину ступенчатой нагрузки, можно получить различные переходные процессы (рис. 8, а). При этом в статической системе каждой нагрузке будет соответствовать свое значение статической ошибки. Можно построить график (рис. 8, б, кривая 1), показывающий зависимость установившегося значения выходной величины от нагрузки. Такой график называется статической характеристикой системы. Зная пределы действительных значений нагрузки (от $M_{н. мин}$ до $M_{н. макс}$), по графику можно определить пределы изменения регулируемой величины при установившихся значениях; при этом важно, чтобы значения $X_{макс}$ и $X_{мин}$ не выходили за допустимые пределы. Астатическая система представляет собой на графике горизонтальную прямую 2: при любой нагрузке $X_{уст} = X_0$. Однако надо иметь в виду, что в переходных процессах рассогласование у астатических систем обычно боль-

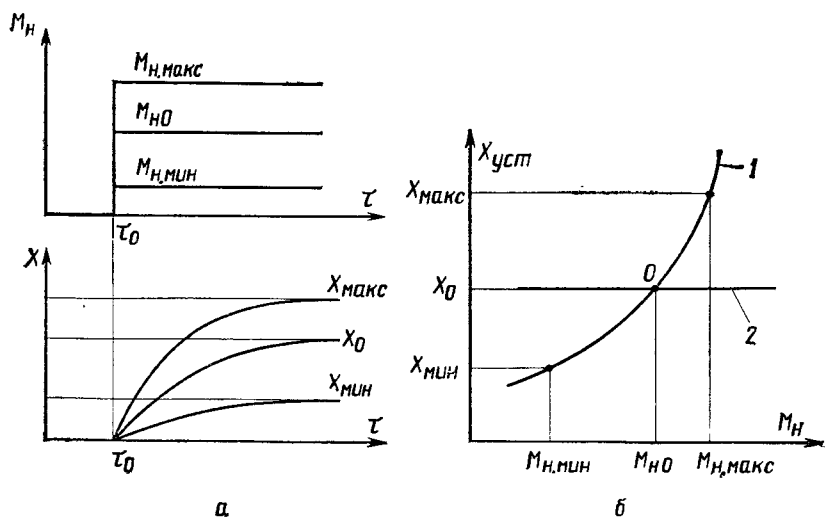


Рис. 8. К построению статической характеристики системы автоматического регулирования:

а — переходные процессы при различных ступенчатых нагрузках; б — статические характеристики: 1 — статической системы; 2 — астатической

ше, чем у статических, и процесс дольше не затухает (см. рис. 7).

Статическую характеристику можно получить из уравнения (1.5), если принять, что все производные равны нулю. Поскольку при $\tau = \infty$ как нагрузка, так и регулируемая величина постоянны, то скорость их изменения (первая производная) равна нулю. Статическую характеристику системы можно построить и графически, если известны статические характеристики объекта и регулятора.

Качество регулирования. Установив основные характеристики автоматических систем регулирования, рассмотрим теперь, по каким показателям можно судить о качестве регулирования.

Свойство системы возвращать регулируемую величину к заданному значению при воздействии импульсной нагрузки называют *устойчивостью*. Так, температура в холодильной камере, несмотря на периодическое открывание дверей или включение лампочек (импульсная нагрузка), возвращается к начальному значению. Неустойчивая система не может обеспечить регулирование. Большинство систем имеет ограниченную устойчивость, т. е. система устойчива, если нагрузка не выходит за допустимые пределы.

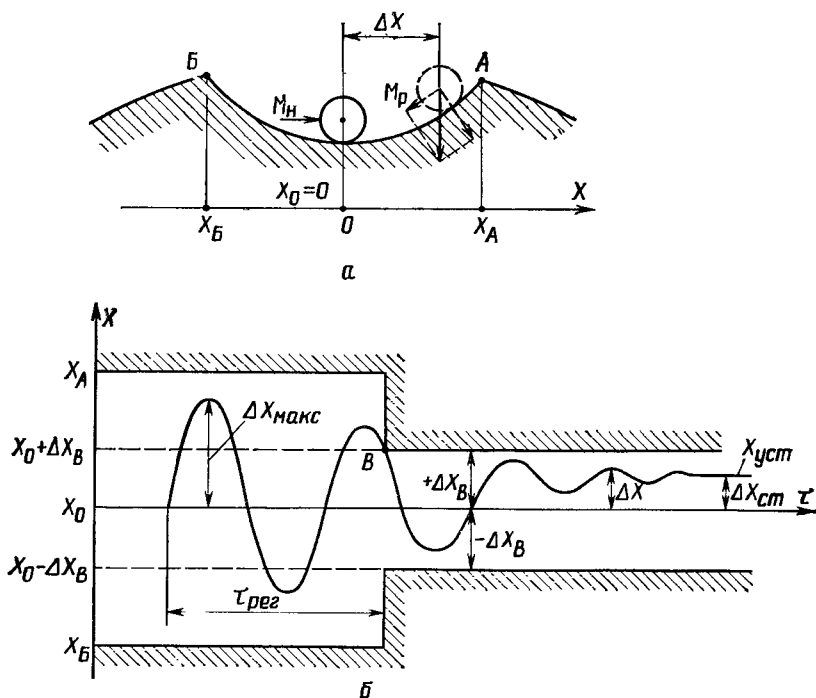


Рис. 9. Пределы устойчивости и показатели качества регулирования: а — система, устойчивая в пределах от X_A до X_B ; б — переходная характеристика

Поясним понятие устойчивости примером из механики (рис. 9, а). Импульсная нагрузка (легкий удар) выведет шарик из состояния равновесия, но под действием тангенциальной составляющей веса шарика M_p он после нескольких колебаний относительно X_0 займет начальное положение. Однако, если нагрузка достигнет значения, при котором отклонение шарика станет больше X_A , то, выйдя из вогнутой поверхности, он будет лишь удаляться от центра. Другими словами, эта система устойчива для нагрузок, не выводящих шарик за пределы точек А и Б. О степени устойчивости системы можно судить по отношению максимальной нагрузки, возникающей при эксплуатации, к нагрузке, выводящей систему из зоны устойчивости, или по отношению соответственных значений X_{\max} и X_A . Методы, позволяющие судить о степени устойчивости по уравнениям системы, рассматриваются в специальных курсах теории автоматического регулирования.

О качестве регулирования обычно судят по *переходной характеристике системы* (рис. 9, б). Процесс регулирования должен удовлетворять трем главным техническим требованиям:

1) отклонение регулируемой величины ΔX не должно превышать заданных пределов ($\pm \Delta X_B$);

2) время регулирования $t_{\text{рег}}$ (с момента ступенчатого изменения нагрузки до входа в заданные пределы) не должно быть слишком большим (допустимое время регулирования обычно также указывается в технических условиях);

3) максимальное отклонение регулируемой величины от начального значения ΔX_{\max} в течение времени регулирования не должно выходить за допустимые пределы X_A и X_B .

Последнее требование может быть связано с необходимостью обеспечить прочность прибора или аппарата и устойчивость системы, а также с технологическими условиями. Иногда его вообще не оговаривают, тогда наиболее важным является первое требование, т. е. основное значение имеют свойства системы в установившемся состоянии.

Для определения характеристики системы надо знать динамические и статические характеристики объекта и регулятора.

§ 4. ОБЪЕКТЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Самовыравнивание и статическая характеристика объекта

Для изучения основных свойств объекта рассмотрим простой объект (рис. 10), в котором требуется поддерживать уровень жидкости X в заданных пределах (от X_A до X_B). Это может быть сосуд или водоем, который наполняется атмосферными осадками (M_H). Во избежание переполнения водоема предусмотрено регулирующее воздействие M_p — расход жидкости через вентиль B , открытый на определенное проходное сечение f .

При средней расчетной нагрузке, например $M_{\text{но}} = 100$ л/мин,

С увеличением ступенчатой нагрузки уровень жидкости примет более высокое установившееся значение. Зависимость установившегося значения регулируемого параметра $X_{уст}$ от величины нагрузки M_n является *статической характеристикой объекта* (рис. 10, б).

Для поддержания заданного уровня (см. рис. 10, а) оператор при повышении уровня X увеличит расход M_p , приоткрыв вентиль B . Так же будет действовать и автоматический регулятор (например, поплавковый регулятор уровня). Объект, обладающий самовыравниванием, действует таким же образом — с повышением уровня увеличивается расход жидкости через вентиль B . Таким образом, самовыравнивание — это, по существу, автоматический регулятор, заложенный в конструкции объекта.

Нужно ли регулирование, если объект обладает самовыравниванием? Чтобы ответить на этот вопрос, надо знать: 1) требуемую точность регулирования; 2) статическую характеристику объекта и 3) максимальные и минимальные значения нагрузки, возникающие при длительной эксплуатации.

В нашем примере (см. рис. 10) значения уровня $X_{макс}$ и $X_{мин}$ (при максимальной и минимальной нагрузках) выходят за допустимые значения X_B и X_A . Поэтому, несмотря на самовыравнивание, требуется регулирование. При частых изменениях нагрузки — лучше автоматическое.

Степень влияния регулируемого параметра X на M_p или M_n оценивают коэффициентом самовыравнивания ρ .

Коэффициентом самовыравнивания на стороне регулирующего воздействия ρ_p называют отношение $\Delta M_p / \Delta X$. Аналогично на стороне нагрузки: $\rho_n = \Delta M_n / \Delta X$. Общий коэффициент самовыравнивания

$$\rho = (\Delta M_n + \Delta M_p) / \Delta X. \quad (1.9)$$

Для объекта на рис. 10 значение $\rho = \rho_p = \Delta M_p / \Delta X$, так как на стороне нагрузки $\rho_n = 0$ (изменение ΔX на нагрузку не влияет). Иногда увеличение коэффициента самовыравнивания путем изменения конструкции объекта позволяет обойтись без регулирования.

Рассмотрим несколько объектов с различной степенью самовыравнивания (рис. 11).

При отводе жидкости из объекта центробежным насосом (рис. 11, а) самовыравнивание в объекте отсутствует, так как расход жидкости через насос M_p постоянный — не зависит от высоты уровня X . Поэтому при малейшем нарушении равенства $M_p = M_n$ уровень начинает непрерывно повышаться или понижаться, пока сосуд не переполнится или не окажется пустым. Для объектов без самовыравнивания регулирование всегда необходимо.

Для увеличения степени самовыравнивания в объекте, показанном на рис. 10, можно по высоте сосуда сделать отверстия (рис. 11, б). Тогда с повышением уровня не только увеличится

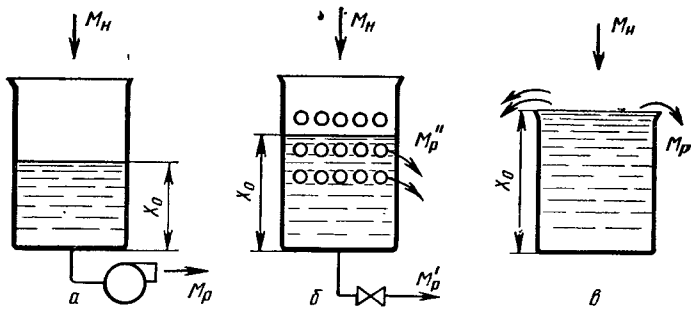


Рис. 11. Объекты с различной степенью самовыравнивания: а — без самовыравнивания; б — с большим самовыравниванием; в — с полным самовыравниванием

расход через вентиль M'_p , но и появится дополнительное регулирующее воздействие — расход через отверстия M''_p . При этом новое установившееся значение при максимальной нагрузке X_{\max} будет ниже, чем в объекте без отверстий, и регулирование может не потребоваться.

Объект с полным самовыравниванием показан на рис. 11, в. Чем больше нагрузка, тем больше жидкости переливается через край, т. е. при любой нагрузке $M_p = M_n$. Начальный уровень X_0 при этом не изменяется. Такой объект называют стабилизатором уровня. Если перелив жидкости не нарушает нормальной работы всей установки, то с точки зрения автоматизации такой объект наилучший — никакого регулирования здесь не требуется.

Холодильная камера как объект с самовыравниванием

Температура в охлаждаемой камере неравномерно распределена по объему камеры — около испарителя температура воздуха всегда ниже, чем в удаленных от него точках. Такие объекты называют объектами с *распределенными параметрами*. Для упрощения расчетов в большинстве случаев за регулируемый параметр можно принять среднее его значение, например температуру в середине камеры. Объект с одним регулируемым параметром называют *однородным*. В шкафах домашних холодильников испаритель обычно отделяют от остальной емкости перегородкой, которая представляет собой тепловое сопротивление. Тогда средняя температура в морозильном отделении (у испарителя) будет значительно ниже средней температуры остальной части шкафа. Объект с двумя регулируемыми параметрами называют *двухмерным*. Холодильник, имеющий несколько камер с разными температурами, рассматривают как *многомерный* объект.

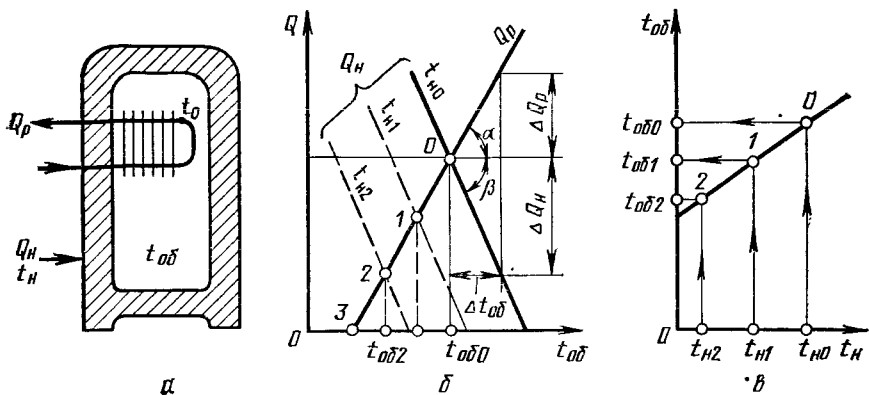


Рис. 12. Холодильная камера как объект с самовыравниванием на стороне регулирующего воздействия Q_p и нагрузки Q_n :
 а — объект; б — график зависимости Q_p и Q_n от регулируемого параметра ($t_{об}$); в — статическая характеристика по нагрузочному параметру t_n

Рассмотрим холодильную камеру (рис. 12, а) с испарителем, в который непрерывно подается жидкий хладагент с постоянной температурой кипения t_0 , как одноемкостный объект с регулируемым параметром $t_{об}$.

Нагрузка — теплоприток в камеру через ограждения:

$$Q_n = k_{ог} F_{ог} (t_n - t_{об}), \quad (1.10)$$

где $k_{ог}$ — коэффициент теплопередачи через ограждения; $F_{ог}$ — площадь поверхности ограждения.

Из уравнения (1.10) видно, что при постоянной температуре наружного воздуха t_n с увеличением температуры в объекте $t_{об}$ разность $t_n - t_{об}$ становится меньше, т. е. нагрузка уменьшается. Следовательно, камера обладает самовыравниванием на стороне нагрузки.

Имеется самовыравнивание и на стороне регулирующего воздействия. Теплота, отводимая испарителем,

$$Q_p = k_n F_n (t_{об} - t_0), \quad (1.11)$$

где k_n — коэффициент теплопередачи испарителя; F_n — площадь теплопередающей поверхности.

При постоянной температуре кипения t_0 с увеличением температуры в объекте $t_{об}$ разность $t_{об} - t_0$ возрастает, и холодопроизводительность испарителя увеличивается.

График зависимости регулирующего воздействия Q_p и нагрузки Q_n от температуры объекта показан на рис. 12, б. Эти зависимости легко построить по уравнениям (1.10) и (1.11), представляющим собой уравнения прямых. Для построения прямой Q_p зададимся точкой с $t_{об} = t_0$; при этом по уравнению (1.11) $Q_p = 0$. Через эту точку с координатами $t_{об} = t_0$ и $Q_p = 0$

(точка 3) нужно провести прямую под углом α . Тангенс α равен коэффициенту при $t_{об}$, т. е. $k_n F_n$. В то же время $k_n F_n = \Delta Q_p / \Delta t_{об} = \rho_p$, т. е. коэффициенту самовыравнивания на стороне регулирующего воздействия (по определению). Аналогично строится прямая Q_n для начальной наружной температуры $t_{н0}$. Для нее угол наклона β определяется коэффициентом самовыравнивания $\rho_n = k_{ор} F_{ор} = -\text{tg } \beta$.

При $Q_{н0} = Q_{р0}$ (точка пересечения прямых) в объекте держится температура $t_{об0}$. При отклонении от этой температуры на величину $\Delta t_{об}$ значение Q_p возрастает на ΔQ_p , а нагрузка Q_n снижается на ΔQ_n . Возникающая разность $Q_p - Q_n$ (равная $\Delta Q_p + \Delta Q_n$) заставляет $t_{об}$ вернуться в начальное положение $t_{об0}$. Из графика видно: чем больше угол $\alpha + \beta$, тем больше общий коэффициент самовыравнивания объекта $\rho = (\Delta Q_p + \Delta Q_n) / \Delta t_{об}$ [см. формулу (1.9)].

В данном объекте нагрузка Q_n определяется температурой наружного воздуха t_n . Этот параметр называют нагрузочным. Если принять, что нагрузка зависит только от t_n , то статическую характеристику целесообразно построить в координатах t_n , $t_{об}$ (рис. 12, в). Поскольку в установившихся режимах $Q_n = Q_p$, то, приравняв правые части уравнений (1.10) и (1.11) и заменив произведения $k_{ор} F_{ор}$ и $k_n F_n$ соответствующими коэффициентами самовыравнивания ρ_n и ρ_p , получим

$$t_{об} = \frac{\rho_n}{\rho_p + \rho_n} t_n + \frac{\rho_p}{\rho_p + \rho_n} t_0. \quad (1.12)$$

Чтобы выявить, как влияет отклонение t_n от начального значения $t_{н0}$, надо записать уравнение (1.12) для начальной точки ($t_{об0}$, $t_{н0}$) и вычесть его из (1.12). В результате получим

$$\Delta t_{об} = K \Delta t_n, \quad (1.12a)$$

где $K = \rho_n / (\rho_p + \rho_n)$ — коэффициент усиления объекта.

Отношение установившегося отклонения регулируемого параметра к отклонению нагрузочного параметра, выраженного в тех же единицах, что и регулируемый, называют *коэффициентом усиления объекта*.

Для камеры с испарителем $\rho_p \approx 3\rho_n$. Поэтому в уравнении (1.12a) $K \approx 1/4$. Следовательно, изменение температуры наружного воздуха на 8°C вызовет изменение температуры в камере на 2°C . Зная пределы изменения наружной температуры, по статической характеристике [см. уравнение 1.12a] или графику легко проверить, не выходят ли значения температуры объекта за допустимые пределы, т. е. требуется ли регулирование.

Статическую характеристику (см. рис. 12, в) можно построить и графическим методом. Прямые Q_n для различных значений t_n ($t_{н0}$, $t_{н1}$, $t_{н2}$) пересекают прямую Q_p в точках 0, 1, 2, которые и определяют установившееся значение $t_{об0}$, $t_{об1}$ и $t_{об2}$. По этим данным строим зависимость $t_{об}$ от t_n на отдельном графике (рис. 12, в).

Графическое построение целесообразно применять, когда зависимость Q_p или Q_n от регулируемого параметра имеет нелинейный характер и задана в виде экспериментального графика.

Переходные характеристики объектов

Ступенчатое изменение нагрузки вызывает в объекте переходный процесс. При этом в объектах без самовыравнивания регулируемый параметр будет изменяться с определенной скоростью, беспредельно увеличиваясь (рис. 13, б). В объектах с самовыравниванием, как мы видели, скорость постепенно уменьшается и становится равной нулю, т. е. регулируемый параметр принимает новое установившееся значение (рис. 13, в).

Для правильного выбора автоматического регулятора надо знать не только установившиеся значения регулируемого параметра (статическую характеристику), но и переходную характеристику $X=f(\tau)$: скорость изменения параметра, время перехода из одного установившегося состояния в другое и значения параметра X в переходном процессе. Чтобы найти переходную характеристику, надо составить дифференциальное уравнение объекта и, проинтегрировав, решить его.

Составим дифференциальное уравнение для одноемкостного объекта без самовыравнивания (см. рис. 11, а). Нарушение рав-

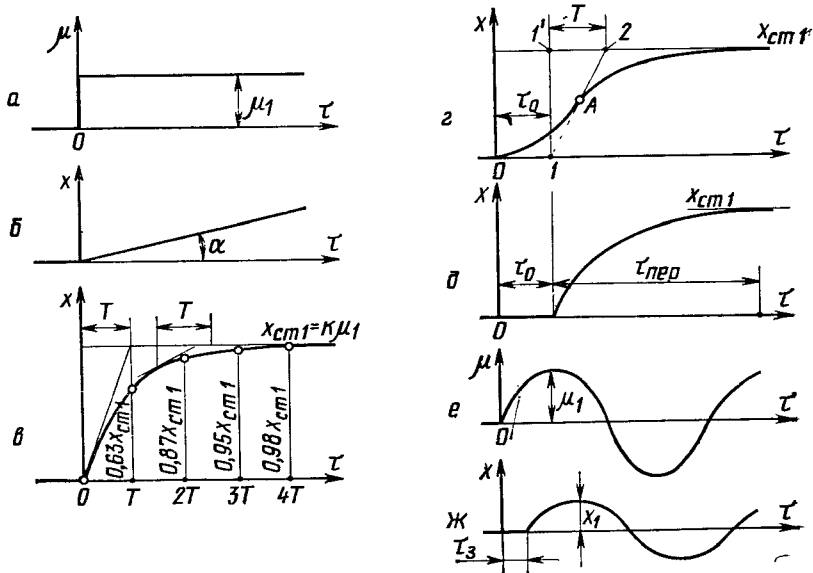


Рис. 13. Переходные характеристики объектов (б—д) и изменение регулируемого параметра при синусоидальной нагрузке (ж):

а — ступенчатая нагрузка; б — переходная характеристика в объектах без самовыравнивания; в — то же, в одноемкостном объекте с самовыравниванием; г — то же, в двухемкостном объекте с самовыравниванием; д — аппроксимация переходного процесса двухемкостного объекта; е — синусоидальная нагрузка; ж — изменение регулируемого параметра

равновесия между нагрузкой и регулирующим воздействием (например, $M_n > M_p$) приводит к тому, что за небольшой промежуток времени $d\tau$ в объекте накапливается жидкость $(M_n - M_p)d\tau$, которая займет дополнительный объем CdX , где C — площадь поверхности жидкости в сосуде, а dX — повышение уровня. Приравняв количество поступившей жидкости к изменению объема, получим дифференциальное уравнение одноемкостного объекта

$$(M_n - M_p) d\tau = CdX. \quad (1.13)$$

Интегрирование этого уравнения позволяет найти зависимость изменения параметра X от времени. После ступенчатого изменения нагрузки M_n и M_p останутся постоянными, поскольку они не зависят от уровня X . Площадь поверхности цилиндра C также постоянна. Поэтому, интегрируя уравнение (1.13), получим

$$X = (M_n - M_p) \tau / C + X_0, \quad (1.14)$$

где X_0 — постоянная интегрирования.

В начальном положении (при $M_{n0} = M_{p0}$) $X = X_0$. При ступенчатом изменении нагрузки ($M_n > M_p$) высота уровня неограниченно возрастает со скоростью $(X - X_0)/\tau$, равной $(M_n - M_p)/C$.

Решение дифференциального уравнения (1.13) объекта с самовыравниванием (см. рис. 10, а) несколько сложнее, так как M_p зависит от X . Если записать уравнение (1.13) для начальной точки ($M_n = M_{n0}$, $M_p = M_{p0}$ и $X = X_0$) и вычесть его из уравнения (1.13), получим

$$(\Delta M_n - \Delta M_p) d\tau = CdX. \quad (1.15)$$

Зависимость расхода жидкости M_p от высоты уровня определяется уравнением (1.8). Однако для небольших отклонений параметра вблизи точки X_0 с некоторым приближением нелинейную зависимость можно заменить линейной (линеаризация). Из определения коэффициента самовыравнивания

$$\Delta M_p = \rho \Delta X. \quad (1.16)$$

Значение ρ можно найти из уравнения (1.8), взяв производную от M_p по X , считая другие параметры постоянными, и подставив в нее вместо X значение X_0 . Подставив значение ΔM_p из уравнения (1.16) в уравнение (1.15) и разделив на ρ и на $d\tau$ с учетом того, что $dx = d\Delta X$, получим

$$\frac{C}{\rho} \frac{d\Delta X}{d\tau} + \Delta X = \frac{1}{\rho} \Delta M_n. \quad (1.17)$$

Чтобы привести это уравнение к безразмерной форме, разделим все члены на X_0 , а правую часть умножим и разделим на M_{n0} . Приняв во внимание, что $\Delta X/X_0 = x$ и $\Delta M_n/M_{n0} = \mu$ (безраз-

мерные координаты), получим

$$T \frac{dX}{d\tau} + X = k\mu, \quad (1.18)$$

где $T=C/\rho$ — величина, имеющая размерность времени и называемая постоянной времени; $k=M_{\text{во}}/\rho X_0$ — коэффициент усиления объекта в безразмерной форме.

Для получения переходной характеристики надо задать определенную ступенчатую нагрузку μ_1 (рис. 13, а) и решить дифференциальное уравнение (1.18). После интегрирования получим

$$x = k\mu_1 (1 - e^{-\tau/T}), \quad (1.19)$$

где $k\mu_1 = x_{\text{ст}}$ — новое установившееся значение регулируемого параметра, так как при $\tau = \infty$ второй член уравнения обращается в нуль; e — основание натуральных логарифмов ($e=2,718$).

Кривая, построенная по этому уравнению, является экспонентой (см. рис. 13, в). Задаваясь значениями времени $\tau = T$, $\tau = 2T$, $\tau = 3T$ и т. д., мы видим, что соответствующие значения регулируемого параметра очень быстро приближаются к своему установившемуся значению. Практически время перехода из одного установившегося состояния в другое $\tau_{\text{пер}}$, называемое переходным или инерционным запаздыванием («время разгона»), не превышает $4T$: $\tau_{\text{пер}} \approx (3 \div 4) T$, так как при этом $x \approx (0,95 \div 0,98)x_{\text{ст}}$, где $x_{\text{ст}}$ — статическая ошибка в безразмерных координатах.

Значение постоянной времени T можно определить также по экспериментально снятой характеристике переходного процесса. Экспонента обладает следующим свойством: проекции касательных, проведенных к любой точке кривой, на линию установившегося значения равны между собой и имеют значение постоянной времени. Следовательно, если провести касательную в точке $\tau = 0$, то постоянную времени можно определить как время, через которое регулируемая величина достигнет своего установившегося значения, если она будет изменяться с начальной скоростью.

Для определения по кривой разгона коэффициента усиления k надо взять отношение $x_{\text{ст}}$ к μ_1 . Зная k и T , можно найти уравнения объекта (1.18) и (1.19).

Любой объект или другой элемент системы, описываемый дифференциальным уравнением (1.18), называют инерционным звеном, так как переход из одного установившегося состояния в другое происходит не мгновенно, а за некоторое время (инерционное запаздывание). Такое звено называют еще апериодическим, поскольку переход из начального в новое установившееся состояние происходит плавно, без колебаний.

Двухъёмкостный объект описывается дифференциальным уравнением второго порядка. Например, холодильная камера (см. рис. 12, а) с массивной изоляционной конструкцией относится уже не к одноёмкостному объекту, а к двухъёмкостному

(вторым параметром является средняя температура изоляции $t_{из}$). При ступенчатом увеличении нагрузки (наружной температуры t_n) начинает прогреваться изоляция, а температура объекта $t_{об}$ (на рис. 13, *г* безразмерный параметр x) почти не повышается. Затем изоляция отдает свою теплоту воздуху камеры и скорость возрастания $t_{об}$ увеличивается. В точке *A* (точка перегиба) скорость достигает максимума и далее уменьшается; так, разность $t_{из} - t_{об}$ уже небольшая.

Переходный процесс (см. рис. 13, *г*) можно получить и экспериментально: резко повысив наружную температуру, снимают далее показания $t_{об}$.

Для упрощения расчетов аperiodический процесс второго порядка с некоторым приближением можно заменить инерционным звеном с начальным запаздыванием τ_0 (рис. 13, *д*). Для этого в точке перегиба *A* проводят касательную. Отрезок $0-1$ на оси τ определяет время начального запаздывания τ_0 (его называют *чистым*, или транспортным *запаздыванием*), т. е. время с момента ступенчатого изменения нагрузки до начала изменения регулируемого параметра. При этом отрезок $1'-2$ на линии установившегося значения представляет собой постоянную времени T .

В уравнении инерционного звена с запаздыванием в отличие от уравнения (1.19) аргумент τ заменен на $(\tau - \tau_0)$:

$$x = k\mu_1 (1 - e^{-(\tau - \tau_0)/T}), \quad (1.20)$$

где для теплового объекта

x — безразмерный регулируемый параметр;

$$x = \Delta t_{об} / t_{об0};$$

μ_1 — безразмерная нагрузка;

$$\mu_1 = (t_{н1} - t_{н0}) / t_{н0};$$

k — коэффициент усиления;

$$k = \rho_n t_{н0} / (\rho_p + \rho_n) t_{об0};$$

T — постоянная времени объекта;

$$T = mc / (\rho_p + \rho_n);$$

mc — теплоемкость объекта (при охлаждении нескольких тел с различной массой m_i и удельной теплоемкостью c_i вместо mc берут сумму $\sum m_i c_i$);

ρ_p и ρ_n — коэффициенты самовыравнивания, которые определяются по статической характеристике (см. рис. 12, *б*).

Влияние запаздывания особенно сказывается, когда нагрузка носит колебательный характер (рис. 13, *е*). В этом случае регулируемый параметр не только отстает по фазе на величину запаздывания τ_z , следуя за колебаниями нагрузки, но имеет максимальные отклонения x_1 , значительно меньшие, чем при ступенчатой нагрузке такой же величины (рис. 13, *ж*).

Например, при циклической работе компрессора температура испарителя (нагрузочный параметр) колеблется от -18 до 0°C (примерно по синусоиде). Температура в камере (регулируемый

параметр) меняется от 5 до 2 °С. При непрерывной же работе компрессора (ступенчатая нагрузка) температура в камере будет ниже (примерно —8 °С).

Параметры, регулируемые в холодильных установках

Холодильная установка представляет собой камеру или группу камер (объект), в которых требуется поддерживать заданную температуру $t_{об}$ (регулируемый параметр), и холодильную машину. Теплоприток в камеру (через изоляцию ограждений, от поступающих продуктов, от вентилируемого воздуха и пр.) является нагрузкой. Теплота, отводимая холодильной машиной от объекта, — регулирующее воздействие.

Однако и в самой холодильной машине, в свою очередь, есть объекты, в которых требуется регулирование ряда параметров, таких, как уровень жидкого хладагента в испарителе, давление в испарительной системе, давление в конденсаторе. Число регулируемых параметров зависит от схемы холодильной установки и конструкции отдельных узлов машины. Так, в некоторых моделях домашнего абсорбционного холодильника холодопроизводительность машины Q_p примерно равна теплопритокам $Q_{н.}$ Степень самовыравнивания объекта (охлаждаемого шкафа), как было показано, достаточно высока. Поэтому изменение температуры помещения на 6—8 °С вызывает изменение $t_{об}$ всего на 1,5—2 °С. Число регулируемых параметров в этой установке равно нулю. В крупных же холодильных установках число регулируемых параметров достигает 6—8.

Рассмотрим, какие параметры требуется регулировать в холодильной установке с циркуляционным насосом (рис. 14).

Жидкий аммиак с низкой температурой кипения t_0 из циркуляционного ресивера ЦР насосом H с избытком подается в испарительные батареи камер $ИИ$ — $ЗИ$. Часть аммиака, выкипая, отводит теплопритоки от камер, а пары и неиспарившаяся жидкость поступают обратно в ресивер. Низкое давление в испарительной системе p_0 (и соответственно низкая температура кипения t_0) поддерживается компрессорами $1Км$ — $3Км$, которые отсасывают пары из ЦР и сжимают их до давления в конденсаторе, где они охлаждаются водой и конденсируются. Жидкий аммиак через регулирующийся клапан $PВ$ поступает в ЦР.

В схеме есть пять параметров, которые не должны выходить за допустимые пределы: 1) температура в камерах ($t_{об1}$, $t_{об2}$, $t_{об3}$); 2) уровень жидкого аммиака в испарителях ($H_{ИИ}$, $H_{ЗИ}$, $H_{ЗИ}$); 3) уровень в циркуляционном ресивере $H_{ЦР}$; 4) давление кипения p_0 (и соответственно температура t_0); 5) давление конденсации p_k .

Температура в камерах, как указывалось (см. рис. 12), имеет самовыравнивание и со стороны нагрузки, и со стороны регулирующего воздействия. Благодаря сравнительно высокой степени самовыравнивания иногда обходятся без дополнительного регу-

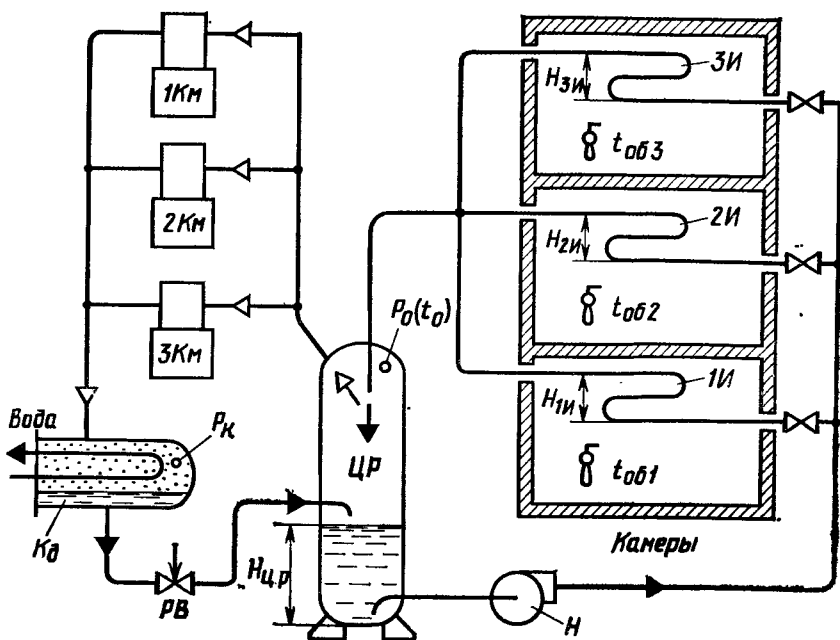


Рис. 14. Объекты и регулируемые параметры в холодильной установке с циркуляционным насосом

лирования $t_{об}$. Если же требуется более точно поддерживать температурный режим в камерах (несмотря на самовыравнивание, температура выходит за допустимые пределы), то предусматривают регулирование. В последние годы на крупных холодильниках переходят на автоматическое регулирование (см. гл. 7).

Уровень жидкости в испарителе должен быть максимальным, чтобы можно было наиболее эффективно использовать его охлаждающую поверхность. Однако во многих установках переполнение испарителя вызывает опасность попадания жидкости в компрессор. В данной же схеме при достаточной вместимости циркуляционного ресивера перелив жидкости из испарителя допустим. Нагрузкой здесь является теплоприток от камеры к испарителю или соответствующее количество вскипающей жидкости M_n . Регулирующее воздействие M_p — подача жидкости в испаритель. Производительность насоса и открытие вентилей перед испарителями выбраны так, чтобы подача жидкости в испаритель была в два-три раза больше $M_{н. макс}$ (при максимальных теплопритоках). Неиспарившаяся жидкость ($M_p - M_n$) сливается обратно в ЦР. При уменьшении нагрузки образуется меньше пара, а количество сливаемой в ЦР жидкости увеличивается. Заполнение испарителя при этом все время остается 100%-ным, как в стабилизаторе уровня (см. рис. 11, в). Благодаря полиому

самовыравниванию регулирование уровня в испарителях в данной схеме не требуется.

Уровень жидкости в циркуляционном ресивере $H_{ЦР}$ должен быть в пределах 0,2—0,3 высоты ресивера: при повышении уровня жидкость может попасть в компрессор, а при снижении — нарушится подача жидкости в испарители и может выйти из строя насос. Нагрузка M_H здесь — суммарное количество жидкости, выкипающей во всех испарителях; регулирующее воздействие M_P — подача жидкости через PB . Этот объект не имеет самовыравнивания, так как изменение уровня $H_{ЦР}$ не влияет ни на количество выкипающей жидкости, ни на подачу через PB . Регулирование уровня здесь необходимо. В связи с частым изменением нагрузки здесь предусматривают автоматическое регулирование.

Давление кипения p_0 определяет температуру кипящей жидкости t_0 . Поэтому при высоком давлении не обеспечивается требуемая температура в камерах, а поддерживать слишком низкое давление не экономично из-за большого расхода электроэнергии компрессорами. Нагрузка здесь — количество пара, образуемого при кипении аммиака в испарителях и при дросселировании в PB ; регулирующее воздействие — количество пара, отводимое компрессорами.

Повышение p_0 и t_0 снижает нагрузку, так как уменьшается разность $t_{об} - t_0$, а следовательно, и количество образуемого пара, т. е. имеет место самовыравнивание на стороне нагрузки. На стороне регулирующего воздействия также имеется самовыравнивание: с повышением p_0 производительность компрессора, как известно, возрастает. Однако вследствие значительного колебания нагрузки давление p_0 часто выходит за допустимые пределы. Поэтому необходимо регулирование этого параметра. Иногда обходятся ручным регулированием (в летнее время при большой нагрузке дополнительно включают один-два компрессора), однако в настоящее время предпочитают автоматическое регулирование давления p_0 .

Давление в конденсаторе p_K определяется температурой жидкого холодильного агента. При высоких значениях p_K увеличивается расход электроэнергии на сжатие пара, снижается надежность машины. Слишком низкое давление p_K требует большого расхода охлаждающей воды. Нагрузка здесь Q_H определяется количеством подаваемого компрессором пара и его энтальпией [см. формулу (1.1)]. Регулирующее воздействие Q_P — количество теплоты, отводимой водой [см. формулу (1.2)].

С повышением давления p_K , температуры t_K , а следовательно, и энтальпии жидкости h_2 нагрузка уменьшается из-за снижения производительности компрессора и разности энтальпий ($h_1 - h_2$) — самовыравнивание на стороне нагрузки. Одновременно увеличивается количество теплоты, отводимой водой, так как с увеличением t_K растет температура воды, выходящей из конденсатора, а следовательно, и разность ($t_{вд2} - t_{вд1}$) — самовырав-

нивание на стороне Q_p . Однако, несмотря на самовыравнивание в схемах с охлаждением городской водой (слив в канализацию), регулирование давления конденсации экономически целесообразно. При обратном водоснабжении, когда имеется несколько компрессоров и водяных насосов, регулирование p_k осуществляется путем дополнительного подключения водяных насосов в случае высокого давления.

§ 5. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Основные элементы

Автоматический регулятор, воспринимая изменение регулируемого параметра X , который для регулятора является входным, определяет рассогласование ($X - X_0$) и, преобразуя его в выходной параметр Y , соответственно изменяет регулирующее воздействие. Для этого у регулятора имеются следующие основные элементы (рис. 15).

Чувствительный элемент ЧЭ воспринимает изменение регулируемого параметра X и преобразует его в параметр X_1 , более удобный для воздействия на другие элементы. В регуляторе температуры, например (рис. 15, б), чувствительным элементом служит термобаллон *ЧЭ*, заполненный легкокипящей жидкостью. С повышением температуры X часть жидкости в термобаллоне выкипает и давление X_1 на доньшко сильфона увеличивается, т. е. температура X преобразуется в давление X_1 .

Задающее устройство ЗУ устанавливает параметр X_3 , соответствующий начальному значению X_0 . На рис. 15, б роль *ЗУ*

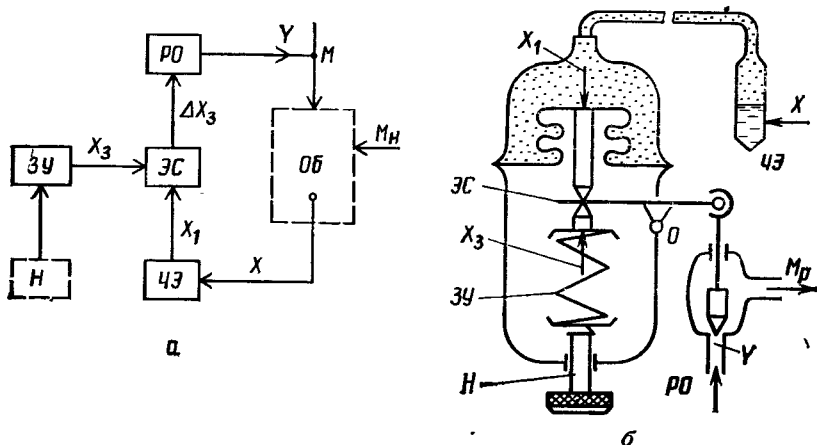


Рис. 15. Регулятор прямого действия:

а — блочная схема; *б* — пример конструкции (регулятор температуры); *ЧЭ* — чувствительный элемент; *ЗУ* — задающее устройство; *РО* — регулирующий орган; *Н* — настройка; *X* — входной параметр регулятора; *Y* — выходной параметр регулятора

выполняет сжатая пружина. Винт H (настройка) позволяет изменять силу натяжения пружины X_3 .

Элемент сравнения ЭС (называемый иногда сумматором) вырабатывает сигнал $\Delta X_3 = X_1 - X_3$, соответствующий рассогласованию $\Delta X = X - X_0$. На рис. 15, б рычаг ЭС воспринимает разность силы давления X_1 и силы пружины X_3 .

Регулирующий орган РО преобразует сигнал элемента сравнения ΔX_3 в выходной параметр регулятора Y , непосредственно изменяющий регулирующее воздействие M_p . На рис. 15, б РО представляет собой клапан, который при повышении температуры увеличивает площадь проходного сечения Y и соответственно подачу холодного рассола M_p в объект.

Регуляторы, у которых мощность сигнала рассогласования достаточна для воздействия на регулирующий орган, называют регуляторами прямого действия. В приведенном примере изменение температуры в объекте ΔX на 2—3 °С вызывает необходимое открытие клапана ΔY без постороннего источника энергии.

Если мощность сигнала рассогласования недостаточна для воздействия на РО (например, для перемещения большого клапана), то применяют регуляторы непрямого действия (рис. 16). Для перемещения РО у них имеется исполнительный механизм ИМ, использующий внешний источник энергии E (электроэнергия, сжатый воздух, давление жидкости и др.), а также усилитель.

Усилитель Ус преобразует слабый по мощности сигнал ΔX_3 в мощный сигнал изменения внешней энергии X_2 , который приводит в действие исполнительный механизм (электродвигатель, электромагнит и др.). На рис. 16, б сигнал элемента сравнения ΔX_3 вызывает замыкание контактов, и возникающий ток X_2 в

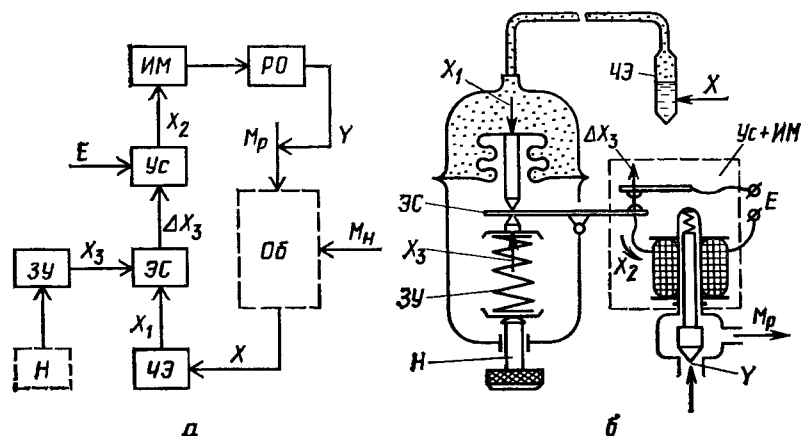


Рис. 16. Регулятор непрямого действия:

а — блочная схема; б — пример конструкции; Ус — усилитель; ИМ — исполнительный механизм; Е — внешний источник энергии (остальные обозначения, как на рис. 15)

катушке электромагнита *ИМ* создает силу, открывающую клапан *РО*.

Наряду с указанными основными элементами регулятор может иметь ряд дополнительных элементов: узлы настройки отдельных параметров регулятора, компенсирующие устройства для уменьшения неточности работы в случае внешних помех, узлы для облегчения сборки и наладки, корректирующие элементы (позволяющие осуществить требуемый закон регулирования, т. е. определенную математическую зависимость выходного параметра регулятора ΔY от изменения на входе ΔX), элементы преобразования одного параметра в другой (для передачи на расстояние, для удобства воздействия на последующий элемент и т. д.).

Некоторые детали регулятора могут выполнять функции двух и даже трех элементов.

Классификация регуляторов

Автоматические регуляторы можно классифицировать по различным признакам: по конструкции основных элементов, по наличию дополнительных элементов, по количеству и взаимосвязи между выходными и входными параметрами и ряду других признаков.

1. *По виду регулируемого параметра* различают: регуляторы давления, температуры, уровня жидкости и т. д. Основное различие их в конструкции чувствительного элемента.

2. *По числу регулируемых параметров* — одноточечные и многоточечные. Последние имеют несколько входов (ЧЭ) и столько же выходов (РО), а также переключатель каналов (ПК), поочередно соединяющий соответствующие входы и выходы (см. регуляторы типа М4, АМУР-80 в гл. 4).

3. *По типу настройки* — стабилизирующие, программные, следящие, оптимизирующие (см. классификацию систем, § 1).

4. *По способу воздействия на объект* — регуляторы, подводящие теплоту (нагреватели); регуляторы, отводящие теплоту (холодильные машины, охлаждающие приборы); регуляторы, подводящие в объект газ, жидкость и т. д. Они различаются конструкцией регулирующего органа.

5. *По использованию внешнего источника энергии* — регуляторы прямого действия и непрямого (см. рис. 15 и 16). Последние по виду энергии, подводимой к исполнительному механизму, делятся на электрические, пневматические, гидравлические и др.

6. *По характеру изменения выходного сигнала* — регуляторы непрерывного (плавного) действия и дискретные. Последние могут быть дискретными по времени (импульсные) и дискретными по величине выходного сигнала (позиционные).

В регуляторах плавного действия выходной параметр Y (например, степень открытия клапана) в любой момент времени

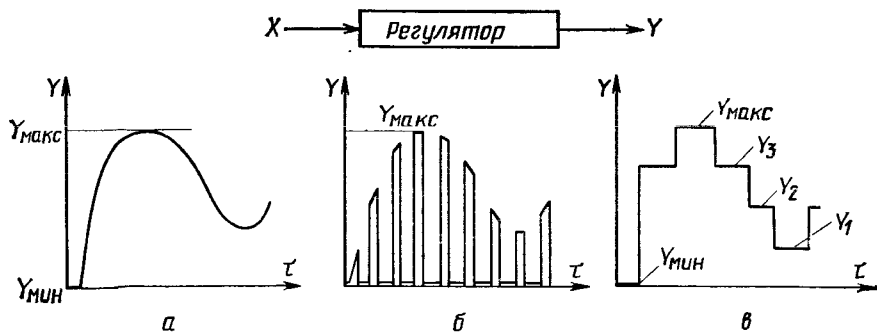


Рис. 17. Классификация регуляторов по характеру изменения выходного сигнала:

a — плавного действия; *б* — импульсные; *в* — позиционные

может занять любое промежуточное значение между двумя крайними ($Y_{\text{мин}}$ — клапан закрыт, $Y_{\text{макс}}$ — полностью открыт, рис. 17, *a*).

В импульсных регуляторах выходной параметр может занять любое положение, но только в определенные промежутки времени (рис. 17, *б*). В интервалах между импульсами сигнал пропадает.

У позиционных регуляторов (рис. 17, *в*) выходной параметр Y может иметь только два, три или несколько определенных значений (соответственно двух-, трех- и многопозиционные регуляторы).

7. По наличию статической ошибки — статические регуляторы и астатические.

У статических регуляторов (рис. 18, *a*) установившееся значение выходного параметра Y однозначно («жестко») определяется значением входного параметра X . При регулировании они неизбежно дают статическую ошибку (см. рис. 7, *б* и *в*).

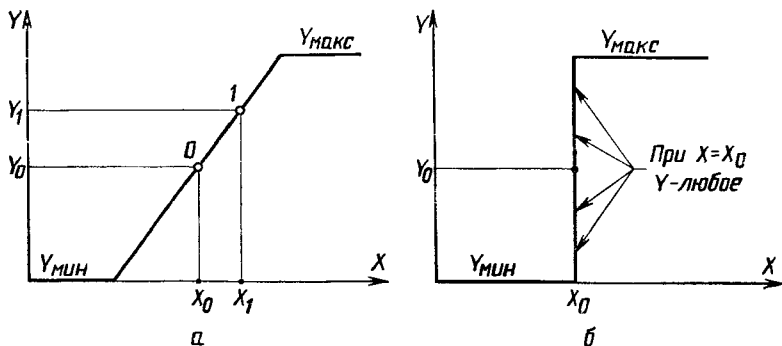


Рис. 18. Статические характеристики регуляторов:

a — статических; *б* — астатических

Действительно, пусть при нагрузке $M_{н0}$ параметр $X=X_0$. Степень открытия клапана согласно статической характеристике $Y=Y_0$, что обеспечивает $M_p=M_{p0}=M_{н0}$. При увеличении нагрузки до $M_{н1}$ установившееся значение наступит только тогда, когда клапан откроется на величину Y_1 , обеспечивающую воздействие M_{p1} , равное нагрузке $M_{н1}$. А большее открытие клапана согласно характеристике возможно лишь при увеличенном значении параметра, т. е. при $X=X_1$. Таким образом, неизбежна статическая ошибка $\Delta X_{ст}=X_1-X_0$. Поэтому эти регуляторы и называют статическими.

У астатических регуляторов (рис. 18, б) малейшее отклонение входного параметра X от X_0 вызывает непрерывное движение PO с определенной скоростью до предельного значения $Y_{макс}$ или $Y_{мин}$. Регулирующий орган остановится в каком-то положении Y_1 только при $X=X_0$, если при этом к тому же окажется, что $M_{p1}=M_{н1}$. При нарушении равенства, т. е. при $M_p \neq M_{н1}$, вновь возникает рассогласование ΔX и PO начинает перемещаться, пока не наступит двойное равенство ($M_p=M_{н1}$; $X=X_0$). В этом установившемся положении статическая ошибка $X-X_0$ равна нулю. Именно поэтому их и называют астатическими.

8. По закону регулирования, т. е. по математической зависимости между выходным и входным параметрами, регуляторы плавного действия разделяются на следующие основные виды.

Пропорциональные (П-регуляторы) — закон регулирования у них выражается уравнением

$$y = kx. \quad (1.21)$$

Пропорционально-дифференциальные (ПД-регуляторы), или регуляторы с предварением, с воздействием по производной:

$$y = k \left(x + T_d \frac{dx}{dt} \right). \quad (1.22)$$

Интегральные (И-регуляторы):

$$y = \frac{1}{T_i} \int x dt. \quad (1.23)$$

Пропорционально-интегральные (ПИ-регуляторы), или изодромные регуляторы:

$$y = k \left(x + \frac{1}{T_i} \int x dt \right). \quad (1.24)$$

Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД-регуляторы), или изодромные с предварением:

$$y = k \left(x + \frac{1}{T_i} \int x dt + T_d \frac{dx}{dt} \right) \quad (1.25)$$

(значения коэффициентов и физический смысл этих законов бу-

дут подробно объяснены при рассмотрении каждого типа регуляторов).

Приведенные в безразмерной форме математические зависимости — основные законы регулирования, характеризующие регуляторы плавного действия, — с известным приближением могут быть отнесены к импульсным и многопозиционным регуляторам. Применяют регуляторы и с более сложными законами регулирования. В действительных регуляторах законы регулирования осуществляются с некоторым приближением. Регуляторы типа И, ПИ, ПИД, имеющие в законе регулирования интегральное выражение, относятся к астатическим; регуляторы типа П и ПД — к статическим, что станет понятным при конкретном рассмотрении основных законов регулирования.

9. *По типу функции.* Рассмотренные выше виды регуляторов воспроизводят функцию одного переменного. Более сложные регуляторы могут воспроизводить функцию нескольких переменных, и регулирующее воздействие у них направлено на уменьшение рассогласования некоторой функции этих переменных. Простейшим примером таких регуляторов может служить регулятор разности давлений (температур). Он имеет два чувствительных элемента и дополнительный сумматор, сравнивающий эти два входных параметра.

Характеристика основных типов регуляторов

Пропорциональные регуляторы. Регуляторы, у которых отклонение РО от своего начального (среднего) положения ΔY пропорционально сигналу рассогласования ΔX , называются пропорциональными (П-регуляторами). Зависимость выходного сигнала от входного («закон регулирования», или динамическая характеристика) выражается у них уравнением

$$\Delta Y = K \Delta X, \quad (1.26)$$

где K — коэффициент усиления, показывающий чувствительность регулятора, т. е. значение перемещения РО при единичном изменении входного параметра. Например, для регулятора давления (рис. 19) коэффициент K показывает, на сколько миллиметров переместится клапан (ΔY), если давление на входе изменится на 1 Па.

Из схемы (рис. 19, а) видно, что с увеличением давления X гибкая мембрана 1 прогибается и точка B рычага OA , преодолевающая силу упругости сжатой пружины 3, перемещается вверх. Точка A , вращаясь относительно центра O , открывает клапан.

Для построения статической характеристики регулятора (рис. 19, б) можно использовать уравнение (1.26), которое является динамической и одновременно статической характеристикой, поскольку величина времени в него не входит, т. е. оно справедливо и для $\tau = \infty$. Запишем уравнение (1.26) в развернутом виде

$$Y_{уст} = Y_0 + K(X_{уст} - X_0). \quad (1.26a)$$

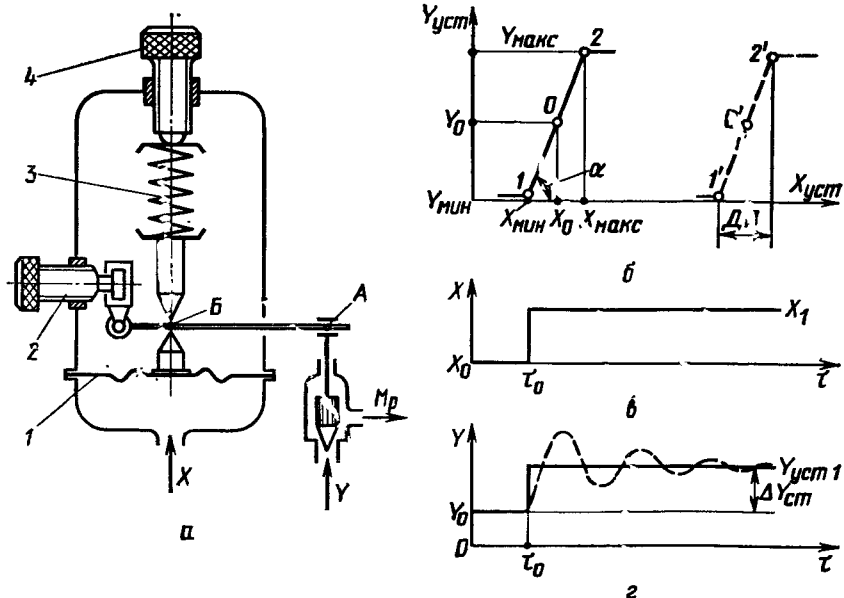


Рис. 19. Пропорциональный регулятор давления:

а — схема; *б* — статическая характеристика; *в* — ступенчатое изменение входного параметра; *г* — переходная характеристика

При $X_{уст} < X_{мин}$ (левее точки 1) клапан закрыт ($Y_{мин} = 0$). В точке 1 клапан начинает открываться, и на участке 1—2 открытие пропорционально давлению. Когда давление повысится до $X_{макс}$ (точка 2), клапан полностью откроется и далее будет открыт. Таким образом, каждому значению $X_{уст}$ соответствует свое значение $Y_{уст}$, т. е. П-регулятор является статическим (см. рис. 18, а).

Изменение регулируемой величины, которое вызывает перемещение РО из одного крайнего положения в другое, называют *диапазоном пропорциональности ДП* (иногда *неравномерностью регулятора*)

$$ДП = X_{макс} - X_{мин}$$

Диапазон пропорциональности у многих приборов не регулируется и определяется конструкцией прибора: отношением плеч рычага OA и OB , площадью мембраны, жесткостью пружины. Заменяв пружину 3 более мягкой, можно уменьшить ДП, увеличивая при этом чувствительность прибора, так как

$$K = (Y_{макс} - Y_{мин}) / ДП = \operatorname{tg} \alpha. \quad (1.27)$$

С повышением K угол наклона α увеличивается и статическая характеристика 1—2 на рис. 19, б становится почти вертикальной. В регуляторе на рис. 19, а чувствительность можно по-

высить, поворачивая винт 2 и перемещая тем самым ось вращения O вправо.

Начало открытия клапана регулируется натяжением пружины 3 с помощью винта 4. При полностью сжатой пружине точка начала открытия 1 смещается в положение 1', отрезок $1-1'$ представляет собой диапазон регулирования начала открытия. При этом на столько же изменяется и среднее значение регулируемого параметра (отрезки $0-0'$ и $1-1'$ равны).

У идеальных П-регуляторов ступенчатое изменение входного параметра с X_0 до X_1 (рис. 19, в) почти мгновенно вызывает перемещение PO в новое установившееся положение $Y_{уст1}$ (рис. 19, з). Такая переходная характеристика, например, у реостата: перемещение движка мгновенно изменяет силу проходящего тока.

У реальных механических П-регуляторов, как в нашем примере, вследствие инерции движущихся частей и пружины возникает колебательное движение клапана, которое вследствие сил трения постепенно затухает. Переходная характеристика реального регулятора на рис. 19, з показана пунктиром (вывод уравнения см. [4]).

У регуляторов с высокой чувствительностью (например, с мягкой пружиной) статическая ошибка значительно меньше (докажите — почему?), но в переходном процессе возникают долго не затухающие колебания с большими отклонениями ΔY в начале переходного процесса.

Пропорционально-дифференциальные регуляторы. При частых изменениях нагрузки важно улучшить качество переходных процессов, так как установившиеся режимы иногда даже не наступают. В этих случаях целесообразно применять пропорционально-дифференциальные регуляторы (ПД-регуляторы). Они реагируют не только на величину отклонения входного параметра (ΔX), но и на скорость его изменения. Закон регулирования идеального ПД-регулятора

$$\Delta Y = K \left(\Delta X + T_d \frac{d\Delta X}{dt} \right), \quad (1.28)$$

где T_d — постоянная времени дифференциального регулятора.

Из этого уравнения видно, что в установившемся состоянии (скорость $d\Delta X/dt=0$) этот регулятор не отличается от пропорционального, статическая характеристика его (рис. 20, б) такая же, как у П-регулятора (см. рис. 19, б). Однако при быстром изменении ΔX последний член уравнения (1.28) значительно превзойдет величину ΔX , и клапан регулятора в первый момент откроется почти полностью. Если ступенчатое изменение входного параметра произойдет не мгновенно, а за время Δt (т. е. со скоростью $\Delta X/\Delta t$), то дополнительная величина открытия клапана в период Δt будет равна $T_d \Delta X/\Delta t$, где коэффициент T_d зависит от свойств регулятора и имеет размерность времени. Переходная характеристика ПД-регулятора показана на рис. 20, в.

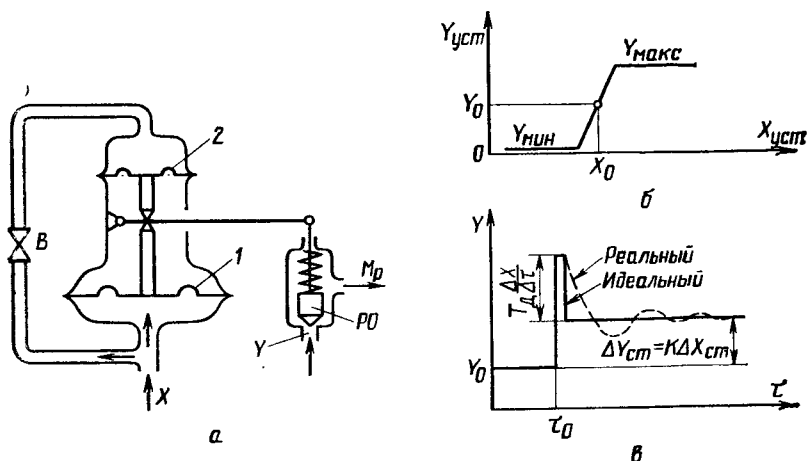


Рис. 20. Пропорционально-дифференциальный регулятор:
 а — схема; б — статическая характеристика; в — переходная характеристика

Пример конструкции регулятора давления типа ПД показан на рис. 20, а. При медленном изменении давления на входе X нижняя 1 и верхняя 2 мембраны прогибаются почти одновременно, но так как площадь нижней мембраны больше, то суммарная сила давления направлена вверх. Деформация пружины и открытие клапана $P0$ в этом случае пропорциональны силе давления. При быстром же повышении давления на входе реагирует только нижняя мембрана, так как через небольшое отверстие вентиля B газ не успевает пройти, чтобы воздействовать на верхнюю мембрану. Поэтому клапан в первый момент резко открывается. Затем, когда давления выравниваются, открытие клапана станет пропорционально ΔX .

Машинист при быстром возрастании температуры в камере (внеси теплые продукты) не дожидается, пока температура выйдет за допустимые пределы, а принимает меры заранее (например, включает дополнительный компрессор). ПД-регулятор реагирует на возрастание скорости при таких малых отклонениях регулирующего параметра, которые человек не улавливает. ПД-регулятор называют поэтому еще «регулятором с предварением», так как он заранее, до накопления отклонения X , начинает действовать на уничтожение будущего отклонения.

Интегральные регуляторы. Динамическая характеристика интегрального регулятора выражается уравнением

$$\Delta Y = \frac{1}{T_{\text{н}}} \int \Delta X dt, \quad (1.29)$$

где $T_{\text{н}}$ — постоянная времени интегрального регулятора.

Дифференцируя обе части равенства, получим:

$$T_{\text{н}} \frac{d\Delta Y}{dt} = \Delta X, \quad (1.29a)$$

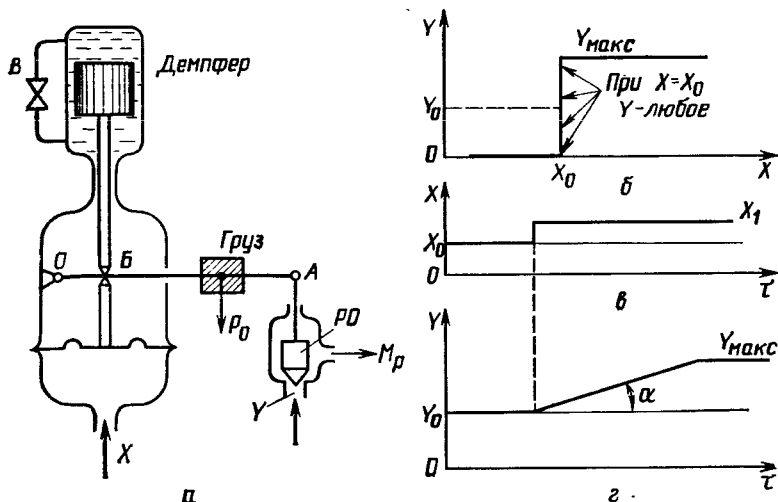


Рис. 21. Интегральный регулятор:
 а — схема; б — статическая характеристика; в — ступенчатое изменение входного параметра; г — переходная характеристика

откуда видно, что величина отклонения ΔX влияет лишь на скорость перемещения РО. Установившееся положение клапана (скорость $dY/d\tau = 0$) возможно лишь при $\Delta X = 0$, т. е. когда статическая ошибка равна нулю ($X = X_0$). При этом величина Y может принимать любое значение в пределах от Y_{\min} (обычно $Y_{\min} = 0$ — клапан закрыт) до Y_{\max} . Статическая характеристика И-регулятора (рис. 21, б), как и всех астатических регуляторов (см. рис. 18, б), определяется наличием интегрирующего звена в уравнении регулятора (1.29). Из уравнения видно, что каким бы маленьким ни было рассогласование ΔX , с течением времени суммарный сигнал увеличится и даст достаточный импульс для перемещения РО, чтобы свести статическую ошибку $\Delta X_{\text{ст}}$ к нулю.

При ступенчатом изменении входного параметра (рис. 21, в) на величину ΔX выходной параметр изменяется с постоянной скоростью (рис. 21, г).

$$dY/d\tau = \Delta X/T_{\text{и}} = \text{tg } \alpha. \quad (1.296)$$

Конструктивно закон регулирования И-регулятора можно осуществить, например, заменив пружину постоянным грузом (рис. 21, а). Вес груза P_0 уравновешивает силу начального давления X_0 . Малейшее отклонение X от X_0 вызывает перемещение груза и клапана Y с некоторой скоростью. Демпфер (тормоз) позволяет регулировать скорость.

Прикрытие вентилей B увеличивает сопротивление перетеканию жидкости из верхней части цилиндра в нижнюю, уменьшая скорость поршня.

Устраняя статическую ошибку, И-регуляторы, однако, ухудшают качество переходного процесса в системе. При малой скорости перемещения РО изменение нагрузки вызывает слишком большие отклонения регулируемого параметра, а при большой скорости РО возникают долго не затухающие колебания. Эти особенности И-регуляторов станут понятнее, когда будет рассмотрена совместная работа регуляторов с объектом (см. рис. 25).

Пропорционально-интегральные регуляторы. Закон регулирования (динамическая характеристика) ПИ-регуляторов выражается уравнением

$$\Delta Y = K \left(\Delta X + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int \Delta X dt \right). \quad (1.30)$$

В первый момент $dt=0$ и регулятор срабатывает как пропорциональный ($\Delta Y = K\Delta X$), но затем, как в И-регуляторе, РО начинает перемещаться с некоторой скоростью. Установившееся состояние возможно только при $\Delta X = 0$. Таким образом, ПИ-регулятор, как и интегральный, исключает статическую ошибку. Статическая и переходная характеристики ПИ-регулятора показаны на рис. 22, б и в.

Для конструктивного осуществления закона ПИ-регулятора надо верхний конец пружины 1 (рис. 22, а) сделать подвижным, соединив его с поршнем демпфера 2. Тогда при резком изменении давления X вследствие инерционности демпфера пружина сожмется и клапан откроется, как в П-регуляторе (сжатие пружины

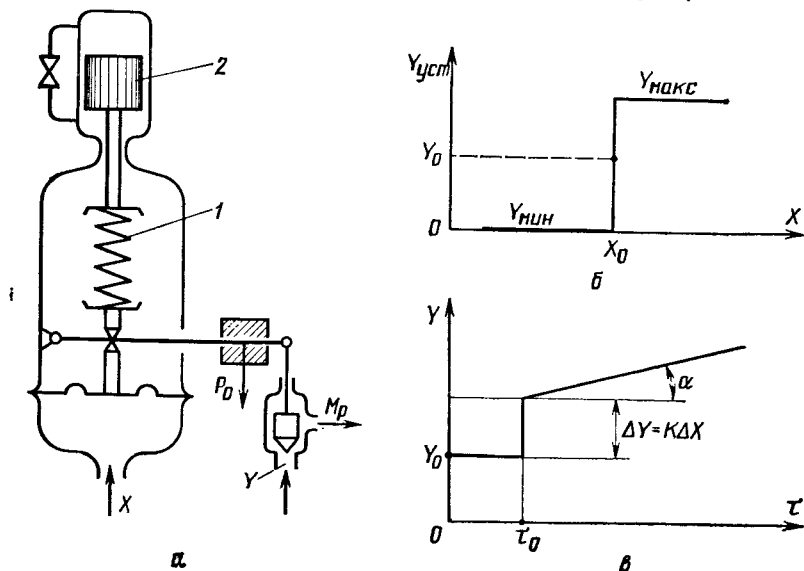


Рис. 22. Пропорционально-интегральный регулятор:

а — схема; б — статическая характеристика; в — переходная характеристика

реле это двухпозиционный регулятор, у которого плавное изменение входного параметра X преобразуется в резкое замыкание или размыкание электрических контактов Y . Реле часто komponуют с исполнительным механизмом в регуляторах непрямого действия (см. рис. 16). Двухпозиционные регуляторы прямого действия в отличие от реле имеют вместо электрических контактов клапан, который может быть полностью открыт (Y_{\max}) или закрыт ($Y_{\min}=0$).

При повышении температуры X жидкость в термобаллоне 3 (например, R12) выкипает, давление пара в замкнутой системе растёт и по капиллярной трубке 2 передается в сильфон 1. Дюнышко сильфона, нажимая на рычаг 9, сжимает пружину 11. Конец рычага 9, упираясь в верхний выступ вилки 8, поворачивает рычаг 4 вокруг оси O_1 , преодолевая силу растяжения дополнительной пружины 5. Конец O_3 рычага 9, на котором укреплен пружина 12, перейдет через точку неустойчивого равновесия (на линии $O_4—O_5$) и займет положение O_3' . При новом положении пружины 12 (показано пунктиром) одна из составляющих сил упругости пружины (в точке O_4) начнет действовать не вверх, а вниз, и электрические контакты Y замкнутся.

При снижении температуры давление в сильфоне падает и силы упругости пружин 11 и 5 поворачивают рычаг 9 против часовой стрелки. Когда нижняя часть вилки 8 упрется в выступ корпуса, рычаг 9 отойдет от верхней части вилки, т. е. размыкание контактов будет осуществляться только одной пружиной 11.

В реальном регуляторе значения входного параметра при включении и выключении не совпадают. Разность между значениями регулируемого параметра в момент включения и выключения называют *дифференциалом регулятора* (иногда — зоной нечувствительности или зоной возврата):

$$\Delta X_0 = X_{\text{вкл}} - X_{\text{выкл}}$$

Минимальная величина дифференциала (зона нечувствительности) зависит от зазоров, сил трения и силы, необходимой для создания резкости замыкания. Например, перемещение конца пружины O_3 до пересечения с осью $O_4—O_5$ не вызывает замыкания контактов. Статическая характеристика реального двухпозиционного регулятора показана на рис. 23, в. При $X > X_{\text{вкл}}$ контакты замкнуты (клапан полностью открыт), при $X < X_{\text{выкл}}$ контакты разомкнуты (клапан закрыт). Когда значение параметра X находится в зоне дифференциала ΔX_0 , контакты могут быть замкнуты и разомкнуты; при возрастании X они остаются разомкнутыми, при снижении X — остаются замкнутыми.

Слишком малая величина дифференциала ΔX_0 вызывает частое включение и выключение регулятора, что снижает его надежность, а иногда приводит к излишней затрате электроэнергии из-за больших значений пусковой мощности, поэтому часто

приходится увеличивать дифференциал. Наряду с механизмом настройки заданного значения регулируемого параметра X в пределах некоторого диапазона в регуляторах обычно предусмотрен узел настройки дифференциала.

В рассмотренном реле температуры (см. рис. 23, а) повышение среднего значения температуры X_0 достигается путем натяжения пружины 11 винтом 10. При этом температуры включения и выключения увеличиваются на одинаковую величину (рис. 23, б), а установленный дифференциал не изменяется. Для увеличения дифференциала пружину 5 растягивают винтом 7 (гайка 6 скользит по направляющим пазам корпуса), при этом дифференциал увеличивается за счет повышения температуры включения; температура выключения остается постоянной (рис. 23, в). Для перестройки прибора с одного режима на другой сначала винтом диапазона подбирают нужное выключение, а затем винтом дифференциала устанавливают определенное выключение.

Динамическая характеристика двухпозиционного регулятора показана на рис. 23, г. Интервал времени, в котором производительность регулятора максимальна ($M_{p. макс}$) (включен исполнительный механизм, клапан полностью открыт — $Y_{ макс}$), называют периодом работы τ_p . Интервалы с минимальной производительностью регулятора $M_{p. мин}$ (в частности, при $Y=0$) называют нерабочим периодом, или паузой τ_n . Период работы с паузой образуют цикл τ_c . Далее циклы повторяются (циклическая работа).

Отношение периода работы к продолжительности всего цикла называется *коэффициентом рабочего времени* (КРВ).

$$b = \tau_p / \tau_c, \text{ или } b = \tau_p / (\tau_p + \tau_n). \quad (1.31)$$

Средняя производительность двухпозиционного регулятора

$$M_p = (M_{p. макс} \tau_p + M_{p. мин} \tau_n) / \tau_c. \quad (1.32)$$

Обычно $M_{p. мин} = 0$, и формула упрощается:

$$M_p = M_{p. макс} \tau_p / \tau_c, \text{ или } M_p = b M_{p. макс}. \quad (1.32a)$$

Если, например, продолжительность работы 5 мин и продолжительность паузы 15 мин, то

$$b = 5 / (5 + 15) = 0,25 \text{ и } M_p = 0,25 M_{p. макс}.$$

Трех- и многопозиционные регуляторы. В трехпозиционном регуляторе регулирующий орган может занимать одно из трех положений (обычно минимальное, среднее и максимальное). Составной частью регулятора может быть трехпозиционное реле (рис. 24), которое управляет исполнительным механизмом.

При повышении значения входного параметра X стрелка C отклоняется вправо и замыкает верхний контакт B . Ток проходит по цепи $0-B-2$. При этом исполнительный механизм, на-

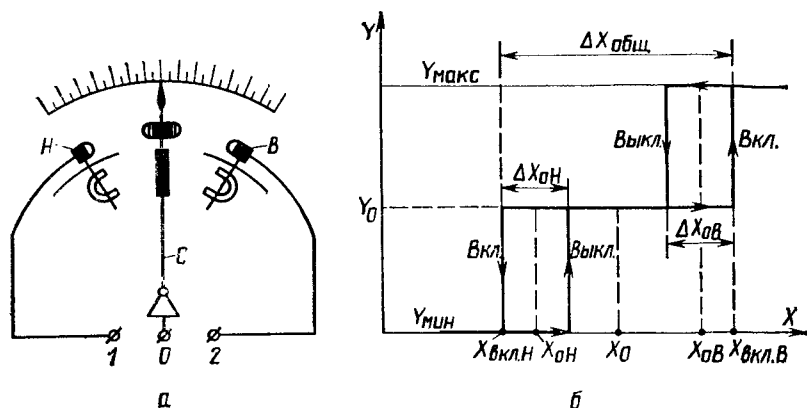


Рис. 24. Трехпозиционное реле:
 а — схема; б — статическая характеристика

пример электромагнит, включенный в эту цепь, полностью откроет клапан. При снижении X на величину дифференциала $\Delta X_{ОВ}$ контакт B разомкнется (цепи $0-1$ и $0-2$ разомкнутся, клапан займет среднее положение Y_0). При дальнейшем снижении X замкнется нижний контакт H и ток пройдет по цепи $0-H-1$ (другой электромагнит закроет клапан). При увеличении X на величину дифференциала $\Delta X_{ОН}$ обе цепи снова разомкнутся (клапан займет среднее положение Y_0).

Величина дифференциала $\Delta X_{ОН}$ и $\Delta X_{ОВ}$ обычно не регулируется и равна минимальной зоне нечувствительности. Иногда трехпозиционное реле используют как двухпозиционное, при этом включение верхнего контакта дает максимальную производительность, а нижнего — минимальную.

Перемещение контактов H и B позволяет в широком диапазоне регулировать среднее значение параметра X_0 и величину общего дифференциала

$$\Delta X_{\text{общ}} = X_{\text{вкл.В}} - X_{\text{вкл.Н}}$$

Примером многопозиционного регулятора может служить холодильная машина с несколькими компрессорами, из которых каждый включается от своего реле температуры или от общего переключателя. Например, три компрессора холодопроизводительностью по 100 кВт дают четырехпозиционный регулятор (0, 100, 200 и 300 кВт).

§ 6. ПОДБОР ТИПА РЕГУЛЯТОРОВ И ИХ НАСТРОЙКА

Плавное регулирование

Автоматические системы с плавным регулированием обеспечивают наиболее высокое качество регулирования, но иногда для этого необходимы сравнительно сложные и дорогие регуляторы.

Для выбора регулятора необходимо: 1) уточнить требования к качеству регулирования, пределы изменения нагрузки и примерную частоту ее изменения; 2) особенности работы объекта регулирования; 3) по статической характеристике объекта определить, выходит ли регулируемый параметр за допустимые пределы при пиковых значениях нагрузки; 4) определить, в каких пределах требуется изменить регулирующее воздействие, чтобы параметр не выходил за допустимые значения; 5) выбрать наиболее простой и дешевый регулятор (по каталогам), обеспечивающий в заданных пределах установившиеся значения параметра; 6) путем расчета или экспериментально построить переходный процесс системы (объекта с регулятором) при $M_{н. макс}$ и $M_{н. мин}$; 7) если качество переходного процесса не удовлетворяет заданным требованиям, то подобрать более сложный регулятор и вновь по переходному процессу определить качество регулирования. Иногда при выборе регулятора приходится учитывать и ряд дополнительных требований: возможные помехи в работе, надежность и долговечность регулятора, условия безопасности, влияние среды на регулятор и др.

Рекомендуемый подход к выбору регулятора рассмотрим на конкретном примере автоматизации охлаждающего устройства в камере холодильника (рис. 25, а).

Испаритель (объект) подключен к всасывающему трубопроводу, в котором пуском и остановкой компрессора поддерживается низкое давление всасывания $p_{вс}$, необходимое для поддержания низкой температуры кипения во всех испарителях разветвленной системы. В одной из камер, например, для хранения фруктов, требуется более высокая температура $t_{об}$, чем в других. Эта температура поддерживается двухпозиционным реле температуры PT , которое при достижении заданных пределов $t_{об. макс}$ и $t_{об. мин}$ включает и выключает соленоидный вентиль CB на линии подачи жидкого холодильного агента из конденсатора в испаритель данной камеры. При открытом CB заполнение испарителя поддерживается постоянным при помощи регулятора перегрева TPB (см. § 20).

Если подключить испаритель к всасывающему трубопроводу без дросселя на выходе, то в испарителе будет слишком низкое давление p_0 (равное давлению $p_{вс}$) и температура кипения t_0 . Хотя $t_{об}$ и будет обеспечена (более длительным отключением CB), тем не менее вблизи испарителя фрукты могут подмерзнуть. Поэтому основное требование к системе заключается в том, чтобы температура t_0 (и давление p_0) не была ниже допустимой t_{0A} (рис. 25, в). Верхний предел t_0 ограничен тем, что при максимальных теплопритоках в камеру испаритель не обеспечивает отвод теплоты, если $t_0 > t_{0B}$. Таким образом, регулируемый параметр $t_0(p_0)$ должен находиться в пределах $t_{0A} < t_0 < t_{0B}$.

Нагрузка здесь — теплоприток к испарителю, точнее, — количество пара M_n (кг/с), образуемое при кипении. Регулирующее воздействие M_p — количество пара, отводимое через дроссельное

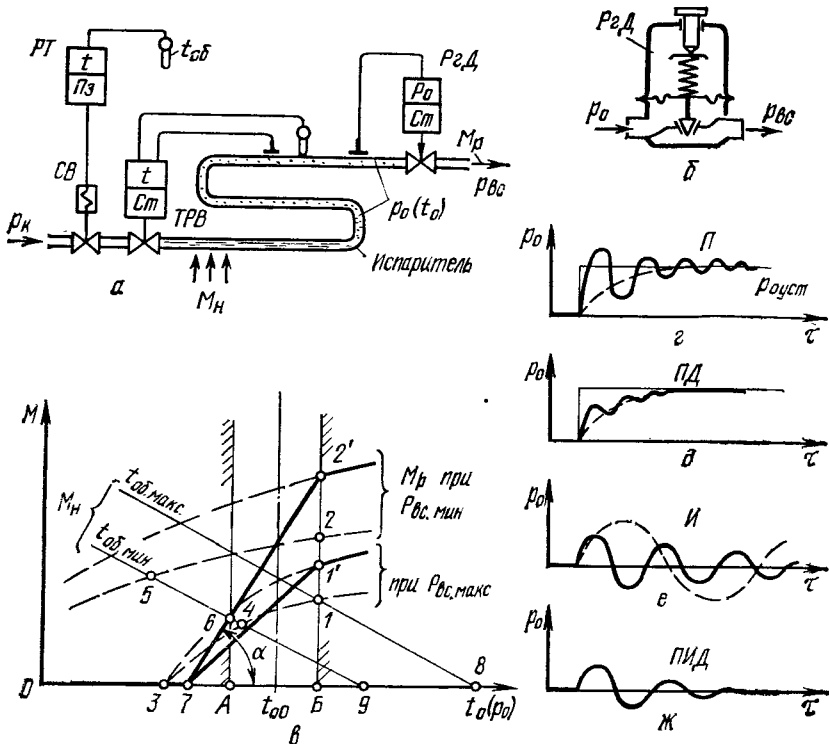


Рис. 25. Регулирование давления в испарителе:
 а — схема САР; б — схема регулятора; в — статическая характеристика системы; г, д, е, ж — переходные процессы системы с регуляторами типа П, ПД, И и ПИД

устройство на выходе из испарителя за счет разности давлений $p_0 - p_{вс}$.

Построим статическую характеристику объекта с дросселем постоянного сечения в координатах $t_0(p_0) - M$.

Для установившегося режима $M_H = M_p$. Количество пара, образуемого в испарителе, $M_H = Q_H / r$, где r — скрытая теплота парообразования. Следовательно,

$$M_H = k_H F_H (t_{об} - t_0) / r. \quad (1.33)$$

Это уравнение прямой можно построить по двум точкам. Для максимальной нагрузки ($t_{об. макс}$): $t_0 = t_{об. макс}$ (точка 8) и $t_0 = t_{об}$ (точка 1). Через точки 8 и 1 проведем прямую M_H для $t_{об. макс}$. Аналогично строим прямую M_H при $t_{об. мин}$.

Расход через дроссельное сечение, как известно,

$$M_p = K_p Y \sqrt{p_0 - p_{вс}}, \quad (1.34)$$

где K_p — коэффициент, учитывающий местное сопротивление и плотность пара; Y — площадь проходного сечения.

При температуре $t_{0б}$ (верхняя допустимая граница) расход должен быть не менее $M_{р1}$ (точка 1). Приняв $M_p = M_{р1}$ и максимально возможное значение $p_{вс} = p_{вс.макс}$ и $p_0 = p_{0б}$, из уравнения (1.34) найдем необходимую площадь дроссельного сечения Y . Характеристика дросселя с постоянным сечением (зависимость M_p от t_0) на рис. 25, в показана пунктиром 1—3).

При снижении нагрузки (при $t_{0б.мин}$) равенство $M_p = M_n$ наступит в точке 4 (пересечение прямой 5—9 и параболы 1—3). Как видно из графика, установившаяся температура кипения t_{04} оказалась не ниже допустимой $t_{0А}$. Однако при снижении $p_{вс}$ до $p_{вс.мин}$ расход через дроссель того же сечения Y увеличится и его характеристика, проходящая через точку 2 и построенная по уравнению (1.34), пересечет прямую M_n при $t_{0б.мин}$ в точке 5. Температура t_{05} окажется ниже допустимой. Поэтому необходим регулятор, уменьшающий дроссельное отверстие Y при снижении $p_{вс}$.

Возьмем пропорциональный регулятор давления $P_2Д$ (рис. 25, б) и рассмотрим, как подойти к выбору его параметров. Производительность регулятора при полностью открытом клапане принимают на 30—40% выше максимальной нагрузки при наилучших условиях работы регулятора ($p_{вс.макс}$), т. е. $M_{р.макс} = 1,3 \div 1,4 M_{н1}$ (точка 1'). По уравнению (1.34) найдем $Y_{макс}$. При $p_{вс.мин}$ производительность регулятора увеличится от $M_{р1}'$ до $M_{р2}'$ (найдем точку 2'). Поскольку необходимо, чтобы при минимальной нагрузке значение t_0 было не менее $t_{0А}$ (точка б), проведем характеристику регулятора через точки 2'—б. В точке 7 клапан регулятора будет закрыт. Чувствительность П-регулятора, как указывалось, определяется углом наклона $tg \alpha$. При малой чувствительности регулятора (точка 7 окажется левее) значение t_0 будет ниже допустимого (точка б тоже будет левее). Поэтому чувствительность регулятора (и угол $\alpha_{рег}$) должен быть не менее, чем $tg \alpha$. Однако при слишком большой чувствительности ухудшаются динамические свойства регулятора и системы в целом.

Для проверки динамических свойств системы надо знать переходный процесс системы. Проще всего его получить экспериментально: на объекте или на его модели установить регулятор и, изменив нагрузку от $M_{н0}$ до $M_{н.макс}$, проследить за изменением регулируемого параметра. При проектировании системы иногда приходится заранее знать, как пройдет переходный процесс. Для этого надо составить дифференциальное уравнение объекта и регулятора и из них получить уравнение системы [см. формулы (1.3), (1.5)]. Решив его при определенной ступенчатой нагрузке, найдем переходный процесс. Примеры составления уравнений системы приведены в литературе [1; 4], а методы решения их — в учебниках по теории автоматического регулирования.

Если переходная характеристика для П-регулятора (рис. 25, г) дает слишком большие колебания параметра p_0 и

колебания долго не затухают, то следует взять ПД-регулятор (рис. 25, *д*). Если же не удастся подобрать П-регулятор, дающий малую статическую ошибку, то следует взять ПИ-регулятор или ПИД-регулятор (рис. 25, *ж*), так как простой И-регулятор (рис. 25, *е*) дает долго не затухающие колебания.

Двухпозиционное регулирование

В ряде случаев плавное регулирование применять сложно. Например, изменение производительности герметичного компрессора практически можно осуществить только пуском и остановкой, так как электродвигатель компрессора не имеет устройства для плавного изменения частоты вращения.

Рассмотрим особенности системы двухпозиционного регулирования на примере регулирования уровня жидкости X в циркуляционном ресивере $ЦР$ (рис. 26, *а*). Жидкий хладагент в количестве $M_{н1}$ забирается из ресивера насосом H и подается с избытком в испарительные батареи $1И$, $2И$, $3И$. Часть его M_n выкипает и отсасывается компрессором. Неиспарившийся жидкий хладагент в количестве $M_{н2}$ сливается обратно в ресивер $ЦР$. Таким образом, количество жидкости в ресивере в единицу времени уменьшается на величину $M_n = M_{н1} - M_{н2}$ (нагрузка). При снижении уровня поплавков в камере датчика реле уровня $PУ$ опускается, и при уровне $X_{вкл}$ контакты реле $PУ$ за-

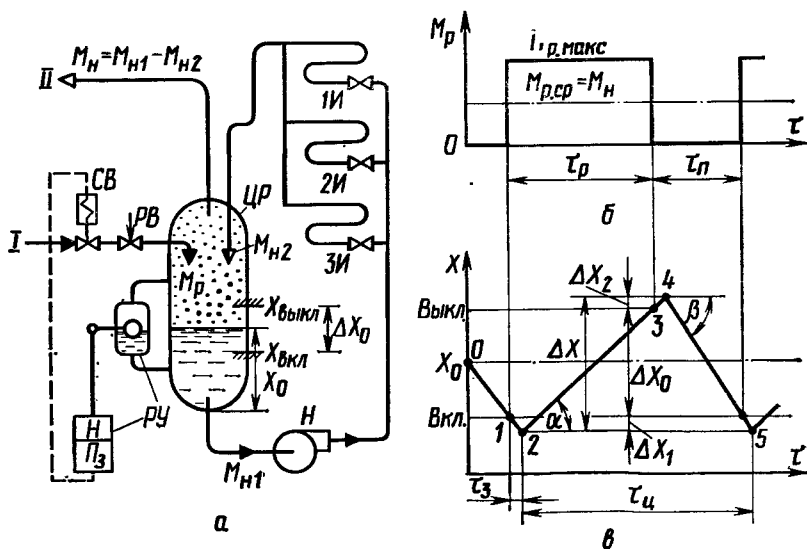


Рис. 26. Двухпозиционное регулирование уровня жидкости в циркуляционном ресивере:

а — схема САР; *б* — динамическая характеристика регулятора; *в* — процесс регулирования; *I* — подача жидкого аммиака из конденсатора; *II* — отвод пара к компрессорам

мыкаются и включают соленоидный клапан *СВ*. Клапан *СВ* полностью открывается, и жидкий аммиак из конденсатора через *СВ* и регулирующий клапан *РВ* поступает в *ЦР*, чтобы восстановить начальное значение уровня X_0 . Регулирующим клапаном *РВ* устанавливают расход при открытом *СВ*.

Регулятор выбирают с таким расчетом, чтобы его производительность была на 20—30% выше максимальной нагрузки. Поэтому при открытом клапане уровень увеличивается, и, когда он достигнет отметки $X_{\text{выкл}}$, клапан закроется, уровень будет снижаться. Таким образом, при двухпозиционном регулировании возникает автоколебательный процесс: регулятор периодически открывается и закрывается (рис. 26, б), а регулируемый параметр колеблется в определенных пределах, не принимая установившегося значения (рис. 26, в).

В реальной системе размах колебаний регулируемого параметра $\Delta X = X_{\text{макс}} - X_{\text{мин}}$ несколько больше величины дифференциала регулятора $\Delta X_0 = X_{\text{выкл}} - X_{\text{вкл}}$. Это вызвано временем запаздывания в отдельных элементах системы (регулятор и объект). При закрытом регуляторе уровень понижается (процесс 0—1 на рис. 26, в). В точке 1 соленоидный клапан откроется, однако некоторое время τ_3 (время транспортного запаздывания) жидкость будет заполнять трубопровод и только через несколько секунд сольется в *ЦР*. Поэтому в течение τ_3 уровень продолжает снижаться, несмотря на открытый регулятор (процесс 1—2). Далее уровень повышается и в точке 3 выключается *СВ*. Вследствие запаздывания τ_3 (оставшаяся в трубопроводе жидкость продолжает сливаться) уровень еще несколько возрастет (3—4) и затем начнет падать (4—5). Далее цикл повторяется.

С уменьшением нагрузки M_n разность $M_{p, \text{макс}} - M_n$ увеличится, и при открытом регуляторе уровень станет повышаться быстрее. На графике процесса регулирования скорость возрастания уровня dX/dt определяется тангенсом угла α . Следовательно, регулятор выключится раньше (точка 3 сместится влево) и время его работы τ_p уменьшится; аналогично нерабочая часть цикла τ_n увеличивается. Таким образом, коэффициент рабочего времени регулятора $b = \tau_p / \tau_n$ снизится, и средняя производительность регулятора $M_p = b M_{p, \text{макс}}$ снова станет равной нагрузке.

Рассмотрим, как выбрать дифференциал регулятора ΔX_0 , определить длительность цикла τ_n и коэффициент рабочего времени b , если известны характеристика объекта и допустимые пределы изменения параметра ΔX .

Для одноемкостного объекта без самовыравнивания дифференциальное уравнение (1.13) можно записать так:

$$\frac{C}{M_{p, \text{макс}}} \frac{dX}{dt} = \frac{M_p - M_n}{M_{p, \text{макс}}} \quad (1.35)$$

Обозначим: $C/M_{p, \text{макс}} = T$ — постоянная времени объекта (где C — площадь ресивера) и $M_n/M_{p, \text{макс}} = m$ — коэффициент

нагрузки; тогда при открытом регуляторе ($M_p = M_{p. \max}$) скорость возрастания уровня (см. рис. 26, в)

$$\frac{dX}{d\tau} = \frac{1-m}{T} = \operatorname{tg} \alpha; \quad (1.36)$$

при закрытом регуляторе ($M_p = 0$)

$$\frac{dX}{d\tau} = -\frac{m}{T} = \operatorname{tg} \beta. \quad (1.36a)$$

Знак «минус» указывает на снижение уровня. Из графика видно, что

$$\Delta X_0 = \Delta X - |\Delta X_1| - |\Delta X_2|, \quad (1.37)$$

где

$$\Delta X_1 = \operatorname{tg} \beta \tau_3 = -\frac{m}{T} \tau_3; \quad (1.37a)$$

$$\Delta X_2 = \operatorname{tg} \alpha \tau_3 = \frac{1-m}{T} \tau_3. \quad (1.37b)$$

Время запаздывания τ_3 (одинаковое при закрытии и открытии клапана) легко найти из отношения объема трубопровода от СВ до ЦР к максимальной производительности регулятора ($\tau_3 = V_{\text{тр}}/M_{p. \max}$). Нагрузку (коэффициент m) будем считать заданной. Подставляя ΔX_1 и ΔX_2 в уравнение (1.37), получим

$$\Delta X_0 = \Delta X - \frac{\tau_3}{T}. \quad (1.38)$$

Из уравнения видно, что дифференциал регулятора не зависит от нагрузки.

Длительность рабочей части цикла (1—2—3)

$$\tau_p = \tau_3 + \frac{|\Delta X_1| + \Delta X_0}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (1.39)$$

Подставляя в это уравнение значения ΔX_1 из выражения (1.37a) и $\operatorname{tg} \alpha$ из (1.36), получим

$$\tau_p = \frac{\Delta X_0 T + \tau_3}{1-m}. \quad (1.39a)$$

Аналогично длительность нерабочей части цикла (паузы)

$$\tau_{\text{н}} = \frac{\Delta X_0 T + \tau_3}{m}; \quad (1.40)$$

длительность всего цикла

$$\tau_{\text{ц}} = \frac{\Delta X_0 T + \tau_3}{(1-m)m}. \quad (1.41)$$

Коэффициент рабочего времени получим из отношения уравнений (1.39а) и (1.41):

$$b = \tau_p / \tau_{\text{ц}} = m = M_{\text{н}} / M_{\text{р.макс}} \quad (1.42)$$

Из уравнения (1.41) следует, что при точном регулировании (малом дифференциале регулятора) длительность циклов уменьшается, что снижает надежность регулятора и увеличивает расход энергии при пусковых моментах. Практически допускают не более 4—8 циклов в час. Если циклы оказываются слишком короткими, то приходится отказываться от двухпозиционного регулирования и переходить к многопозиционному (а в пределе — к плавному) регулированию.

Для объектов с самовыравниванием переходный процесс идет не по прямой, а по экспоненте (см. рис. 13, в). Для приближенных расчетов экспоненты можно заменить прямыми и использовать формулы (1.37)—(1.42), выведенные для двухпозиционного регулятора с объектом без самовыравнивания.

Многопозиционное регулирование

Недостатки двухпозиционного регулирования (большая пусковая мощность и слишком частые включения регулятора) можно устранить, если производительность регулятора изменять отдельными ступенями, которые могут поочередно включаться. При этом в объектах с самовыравниванием имеются зоны изменения нагрузки для каждой ступени регулирования, внутри которых наступает установившийся режим (вместо автоколебательного). При достаточно большом числе ступеней многопозиционное (шаговое) регулирование приближается к плавному. В зависимости от схемы включения отдельных ступеней многопозиционное, как и плавное регулирование, может быть пропорциональным (статическим), интегральным (астатиическим), а также и с более сложными законами регулирования (ПИ, ПИД и др.).

Пропорциональное шаговое регулирование. Для поддержания требуемой температуры кипения t_0 в крупных насосных установках (рис. 27, а) применяют по несколько компрессоров, которые, отсасывая пары из циркуляционного ресивера ЦР, поддерживают необходимое давление t_0 . Нагрузка здесь — пар, поступающий в ЦР из испарителей вследствие теплопритоков. Пусть максимальная нагрузка $Q_{\text{н.макс}} \approx 250$ кВт. Производительность регулятора должна быть на 20—30% больше $Q_{\text{н.макс}}$. Возьмем три компрессора холодопроизводительностью по 100 кВт. Каждый компрессор включается и останавливается своим реле температуры (1РТ—3РТ). Чтобы осуществить закон пропорционального регулирования, настройка их должна быть смещена (рис. 27, б): при снижении температуры они поочередно останавливаются (при -10 , -11 и -12 °С), а при повышении температуры последовательно включаются (при -10 °С —

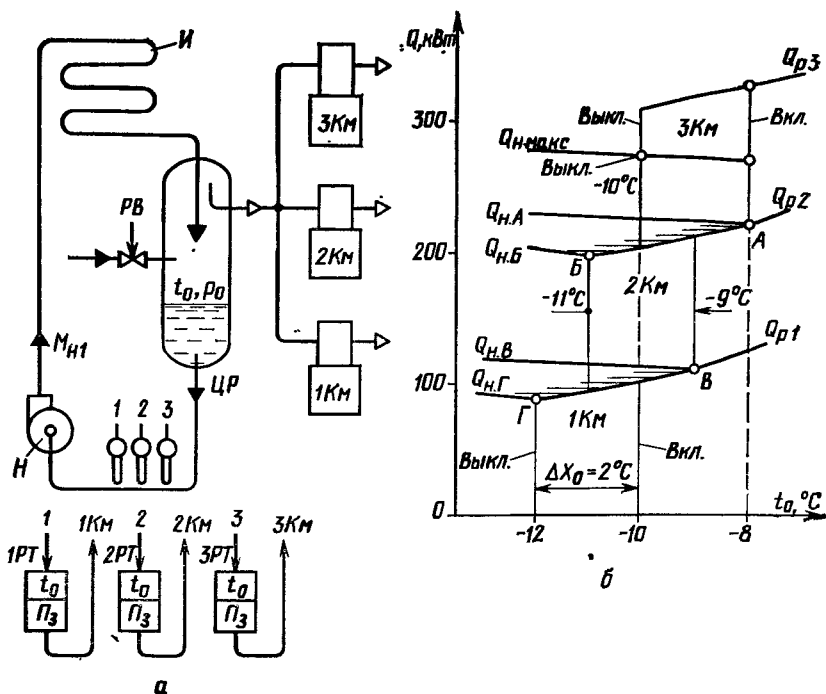


Рис. 27. Схема многопозиционного регулирования температуры кипения: а — схема установки; б — статическая характеристика системы при пропорциональной настройке реле температуры

1Км, при -9°C — 2Км и при -8°C — 3Км). При высокой температуре (более -8°C) работают все три компрессора.

При нагрузке около 250 кВт (от $Q_{н.а}$ до $Q_{н.макс}$) и при работе всех трех компрессоров ($Q_{р3} \approx 300$ кВт) температура кипения t_0 понижается. При $t_0 = -10^\circ\text{C}$ компрессор 3Км остановится. Оставшиеся два компрессора с нагрузкой не справляются. Температура растет, и при -8°C компрессор 3Км снова включается. Два компрессора работают непрерывно, а 3Км — циклично, поддерживая t_0 от -10 до -8°C .

При нагрузке около 150 кВт (от $Q_{н.в}$ до $Q_{н.а}$) после остановки 3Км (при -10°C) температура будет продолжать понижаться, и при -11°C 2Км остановится. Оставшийся компрессор 1Км не справится с нагрузкой. Температура станет повышаться, и при -9°C 2Км снова включится. Следовательно, 3Км стоит, 1Км работает непрерывно, а 2Км — циклично, поддерживая температуру от -11 до -9°C .

При нагрузке около 50 кВт (меньше $Q_{н.г}$) после остановки 2Км (при -11°C) температура будет продолжать падать, и при -12°C 1Км остановится. Работает циклично только 1Км, поддерживая t_0 от -12 до -10°C .

Таким образом, при низкой нагрузке средняя температура объекта $t_0 = -11^\circ\text{C}$ (от -12 до -10°C), при средней нагрузке $t_0 = -10^\circ\text{C}$ и при большой нагрузке -9°C . Чем больше нагрузка, тем выше температура в объекте. Это, по существу, и есть закон пропорционального регулирования, который неизбежно дает статическую ошибку. Поэтому эту схему называют еще статическим шаговым регулированием.

Общее колебание температуры при статическом регулировании

$$\Delta X_{\text{общ}} = \Delta X_0 + \Delta X_{\text{см}}(Z - 1), \quad (1.43)$$

где ΔX_0 — дифференциал реле температуры; $\Delta X_{\text{см}}$ — смещение температуры включения соседних компрессоров; Z — число компрессоров.

Поскольку точность настройки со временем меняется, то во избежание одновременного включения компрессоров значение $\Delta X_{\text{см}}$ должно быть не менее 1°C . Минимальный дифференциал определяется допустимым числом включений компрессора (в час), а также конструкцией прибора. Обычно $\Delta X_0 \approx 2^\circ\text{C}$.

По формуле (1.43) можно определить максимальное число компрессоров, при котором отклонение $\Delta X_{\text{общ}}$ не выйдет за допустимые пределы. Например, если требуется поддерживать температуру t_0 от -12 до -7°C ($\Delta X_{\text{общ}} = 5$), то $Z = 4$.

Для выбора оптимального числа компрессоров рассмотрим подробнее статическую характеристику системы. Вследствие самовыравнивания объекта со стороны Q_p (наклон кривых Q_p на рис. 27, б) изменение нагрузки в интервалах $Q_{\text{НА}} - Q_{\text{НБ}}$ и $Q_{\text{НВ}} - Q_{\text{НГ}}$ приводит к установившимся значениям t_0 , на графике соответствующей точке пересечения нагрузки Q_n и регулятора Q_p (кривые AB и $ВГ$). Между этими зонами, как было показано, один из компрессоров работает циклично, т. е. в режиме незатухающих колебаний. При выборе числа ступеней регулятора и дифференциала ΔX_0 следует стремиться, чтобы зоны незатухающих колебаний были минимальными. При достаточно широкой зоне допустимых значений t_0 автоколебательный процесс можно вообще исключить.

При необходимости точного регулирования ($\Delta t_{\text{общ}} < 2^\circ\text{C}$) автоколебательный процесс неизбежен, а при большом числе компрессоров и статическая ошибка выходит за допустимые пределы. Поэтому необходимо переходить к схемам астатического регулирования.

Астатическое шаговое регулирование. Для объекта, показанного на рис. 27, а, реле температуры можно настроить симметрично относительно заданной средней температуры $t_0 = -10^\circ\text{C}$, как показано на рис. 28. По этой схеме при любой нагрузке циклично работает только компрессор $ЗКм$, так как он раньше других включается (при -9°C) и раньше других выключается (при -11°C).

При нагрузке $Q_{\text{н, макс}}$ (и не ниже $Q_{\text{н1}}$), т. е. около 250 кВт, при работе трех компрессоров ($Q_{\text{рз}} \approx 300$ кВт) температура па-

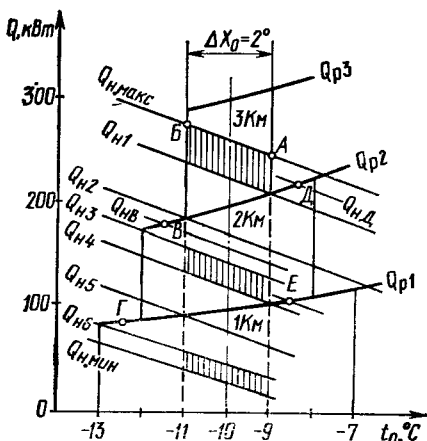


Рис. 28. Схема настройки реле температуры на астатическое регулирование для объекта, показанного на рис. 27, а

дает, и в точке *Б* при -11°C *3Км* остановится. Компрессоры *1Км* и *2Км* с нагрузкой не справляются, t_0 растет, и при -9°C (точка *А*) *3Км* снова включится.

При средней нагрузке около 150 кВт (от $Q_{н3}$ до $Q_{н4}$) после остановки *3Км* (при -11°C) t_0 продолжает понижаться, и при -12°C остановится *2Км*. Оставшийся *1Км* с нагрузкой не справляется, t_0 растет, и при -9°C включится *3Км* и начнет работать циклично, поддерживая снова $-11 \div -9^{\circ}\text{C}$. При этом компрессор *1Км* работает непрерывно, а компрессор *2Км* — стоит.

При нагрузке около 50 кВт (от $Q_{н6}$ до $Q_{н.мин}$) после поочередной остановки всех компрессоров (при -11 , -12 и -13°C) температура начнет расти, и при -9°C включится в циклическую работу *3Км*. Таким образом, при любой нагрузке температура t_0 оказывается в интервале допустимых значений ($t_{0А} - t_{0Б}$), и только в переходном процессе значения t_0 выходят за эти пределы.

Вследствие самовыравнивания имеются достаточно широкие зоны изменения нагрузки, обеспечивающие установившиеся значения температур при непрерывной работе одного или двух компрессоров.

При нагрузке от $Q_{н1}$ до $Q_{н2}$ (около 200 кВт) t_0 установится на пересечении нагрузки и $Q_{р2}$ в диапазоне от -11 до -9°C при непрерывной работе *2Км*. При этом, если нагрузка упала от $Q_{н.макс}$ до 200 кВт, то в паре с *2Км* будет работать *1Км*, так как после отключения *3Км* он уже не включится. Если же нагрузка возрастала от $Q_{н.мин}$ (циклично работал *3Км*), то после подключения *2Км* не включится уже *1Км*, т. е. будут работать *2Км* и *3Км*.

Однако имеются зоны изменения нагрузки, в которых установившееся значение t_0 оказывается ниже (или выше) допустимой зоны. При нагрузке $Q_{н.в}$, лежащей в пределах от $Q_{н2}$ до $Q_{н3}$, точка *В* лежит ниже -11°C . Аналогично, при нагрузке от $Q_{н6}$ до $Q_{н5}$ точка *Г* имеет температуру от -13 до -11°C .

При повышении нагрузки от $Q_{н.мин}$, когда работал только *3Км*, температура может оказаться выше допустимой. Например, нагрузка $Q_{н.д}$ (около 250 кВт) при пропорциональной настройке (см. рис. 27) вызвала автоколебательный процесс,

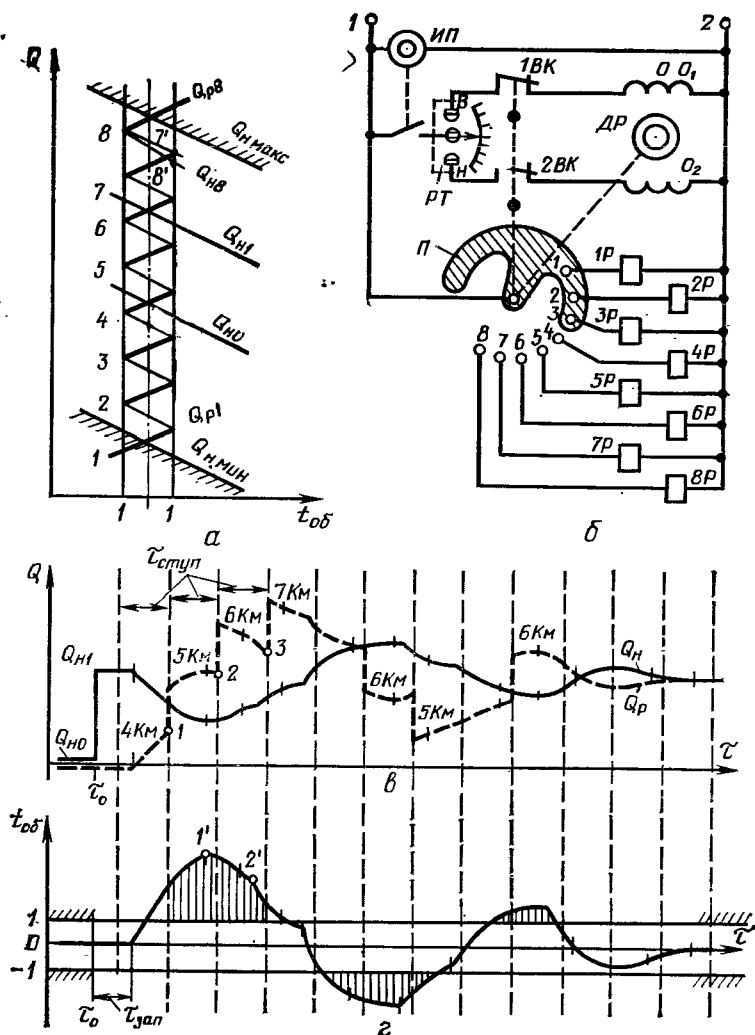


Рис. 29. Астатическое шаговое регулирование с одним реле температуры: а — статическая характеристика системы; б — схема подключения компрессоров; в — изменение Q_n и Q_p в переходном процессе; г — процесс регулирования

а при астатической приведет к установившемуся режиму с температурой $t_{0д}$. Аналогично, при изменении нагрузки от $Q_{н3}$ до $Q_{н4}$ точка E выйдет за допустимые пределы.

С уменьшением степени самовыравнивания участки значений нагрузок, вызывающих недопустимые установившиеся отклонения, почти исчезают.

Рассмотрим схему астатического шагового регулирования с одним реле температуры (рис. 29).

Машина с несколькими компрессорами охлаждает камеру, где требуется поддерживать температуру $t_{об}$ от -1 до $+1$ °С. Все компрессоры включаются от одного трехпозиционного реле температуры PT (рис. 29, б). Если $t_{об}$ выше заданной, то замыкается верхний контакт реле B . Ток проходит через обмотку O_1 реверсивного двигателя $ДР$, который, вращая переключатель Π по часовой стрелке, последовательно через равные интервалы времени $\tau_{ступ}$ включает через промежуточные реле $1P-8P$ одну ступень за другой. Когда производительность станет больше нагрузки, $t_{об}$ начнет падать и войдет в заданную зону, контакт B разомкнется, двигатель $ДР$ остановится и в работе останется столько компрессоров, сколько успело подключиться. При выходе $t_{об}$ за нижний предел контакт H реле PT включит обмотку O_2 и двигатель $ДР$ начнет вращать переключатель Π в обратную сторону, отключая через интервалы $\tau_{ступ}$ лишние ступени регулятора. Когда производительность оставшихся ступеней станет меньше нагрузки, $t_{об}$ повысится, войдет в заданную зону и переключатель снова остановится. Концевые выключатели $1BK$ и $2BK$ служат для отключения двигателя $ДР$ в крайних положениях переключателя. Импульсный прерыватель $ИП$ позволяет регулировать длительность интервала $\tau_{ступ}$ путем изменения периода работы и паузы двигателя $ДР$.

Таким образом, независимо от нагрузки температура в объекте держится в заданном узком пределе, т. е. получаем схему астатического регулирования.

Иногда вместо механического переключателя применяют электронную схему, которая дает импульс на включение очередной ступени через равные промежутки времени ($\tau_{ступ}$), если при этом замкнут верхний контакт реле температуры. При замкнутом нижнем контакте через такие же интервалы ступени поочередно отключаются. Когда оба контакта разомкнуты, очередной импульс не изменяет числа работающих ступеней.

Рассмотрим метод определения минимального числа ступеней, обеспечивающих установившийся режим (отсутствие автоколебаний компрессора верхней ступени) при установившейся тепловой нагрузке.

Количество компрессоров (число ступеней) определим по статической характеристике (рис. 29, а) так, чтобы при любой нагрузке установившаяся $t_{об}$ лежала в заданной зоне. Для этого через точку δ (пересечение $Q_{р.макс}$ и $t_{об} = -1$ °С) проведем линию нагрузки $Q_{н8}$, а через точку γ' (на 5—10% больше, чем $Q_{н8}$) проведем характеристику регулятора, сниженную на одну ступень. Аналогичные построения продолжаем до тех пор, пока $Q_{р1}$ (точка I) не станет ниже минимальной нагрузки.

Если число ступеней меньше, чем требуется по указанному расчету, то возникают зоны изменения нагрузки, при которых верхняя ступень начинает работать циклично.

Переходный процесс (качество регулирования) во многом зависит от выбора интервала времени между включением со-

седних ступеней ($\tau_{\text{ступ}}$). Определим влияние $\tau_{\text{ступ}}$, построив график переходного процесса (рис. 29, в и г). Пусть в момент τ_0 нагрузка возросла от $Q_{\text{н0}}$ до $Q_{\text{н1}}$. Температура $t_{\text{об}}$ после некоторого запаздывания $\tau_{\text{зап}}$ начинает расти. В точке 1 включится компрессор 5Км (четыре уже работали), так как $t_{\text{об}} > 1^\circ\text{C}$; $Q_{\text{н}}$ станет меньше $Q_{\text{р}}$, но вследствие запаздывания $\tau_{\text{зап}}$ температура продолжает расти (до точки 1') и через время $\tau_{\text{ступ}}$ (точка 2) включится еще одна ступень 6Км. После некоторого запаздывания (точка 2') $t_{\text{об}}$ начнет снижаться более резко, но не успеет войти в заданную зону, прежде чем включится 7Км (точка 3). После нескольких колебаний $t_{\text{об}}$ уже не выйдет за допустимые пределы. Строя аналогичные переходные процессы при разных значениях $\tau_{\text{ступ}}$, можно показать, что с увеличением $\tau_{\text{ступ}}$ растут площадь участков, где $t_{\text{об}}$ выходит за допустимые пределы ($\pm 1^\circ\text{C}$) и длительность переходного процесса.

Если же $\tau_{\text{ступ}}$ меньше времени запаздывания $\tau_{\text{зап}}$, то возникает автоколебательный процесс (быстро включаются все ступени, и многопозиционное регулирование превращается, по существу, в двухпозиционное). Поэтому оптимальное время подключения очередной ступени должно быть как можно меньше, но оставаться больше времени запаздывания регулятора, т. е. $\tau_{\text{ступ}} \approx (1,3 \div 2) \tau_{\text{зап}}$.

Время запаздывания действующей системы можно найти экспериментально. Иногда нетрудно рассчитать $\tau_{\text{зап}}$. Например, для случая поддержания температуры рассола на выходе из испарителя путем подключения нескольких компрессоров по указанной схеме $\tau_{\text{зап}}$ равно времени прохода рассола от входа испарителя до выхода.

Глава 2

ОБЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИБОРОВ АВТОМАТИКИ

§ 7. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПРИБОРОВ

Классификация

Прибором автоматики называют конструктивное объединение нескольких элементов, которые выполняют определенную функцию в автоматической системе. Упрощенные схемы типовых приборов показаны на рис. 30.

Измерительные приборы (а) имеют чувствительный элемент ЧЭ, который после преобразования измеряемого параметра X в X_1 передает сигнал записывающему или показывающему устройству со стрелкой или цифровой шкалой.

Суммирующие приборы (б) кроме стрелки со шкалой имеют еще интегрирующее (суммирующее) устройство. Они при-

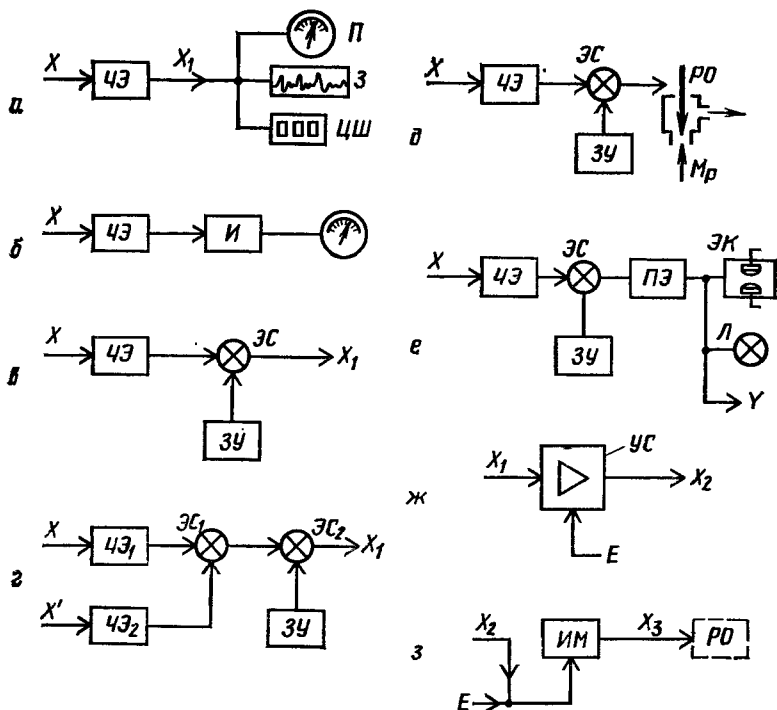


Рис. 30. Основные типы приборов:

а — измерительный прибор: показывающий (*П*), записывающий (*З*) и с цифровой шкалой (*ЦШ*); *б* — суммирующий (с интегрирующим звеном *И*); *в* — преобразователь отклонения; *г* — дифференциальный преобразователь отклонения (разности $X-X'$); *д* — регулятор прямого действия; *е* — реле (*ПЭ* — пороговый элемент); *ж* — усилитель (*E* — внешний источник энергии); *з* — исполнительный механизм

меняются для измерения расхода вещества или энергии (газовые, электрические счетчики, водомеры и др.).

Преобразователь отклонения с элементом сравнения *ЭС* (*в*) дает сигнал отклонения измеряемого параметра X от заданного начального значения X_0 . Эталон начального значения служит задающее устройство *ЗУ*. Элемент сравнения *ЭС* (сумматор) дает сигнал, соответствующий разности $X-X_0$.

Дифференциальный преобразователь (*г*) имеет два чувствительных элемента, которые после преобразования измеряемых параметров X и X' подают их для сравнения на сумматор *ЭС₁*. Сумматор *ЭС₂* дает отклонение этой разности ($X-X'$) от заданного значения.

Регулятор прямого действия (*д*) преобразует отклонение регулируемого параметра от заданного значения непосредственно в перемещение регулирующего органа *РО*.

Реле (*е*) преобразует плавное изменение параметра X в ступенчатое изменение выходного сигнала (замыкание электрических контактов *ЭК*, загорание лампочки *Л*, дискретный

сигнал Y). Для такого преобразования реле должно иметь пороговый элемент ПЭ, который при достижении определенного значения плавно изменяющегося параметра резко переходит из одного устойчивого положения в другое.

Усилитель мощности ($ж$) можно рассматривать как дроссель (вентиль), в котором сигнал малой мощности X_1 , управляя потоком внешнего источника энергии E , создает более мощное изменение сигнала X_2 .

Исполнительный механизм ($з$) преобразует энергию от внешнего источника в энергию, необходимую для перемещения основного регулирующего органа. Источником энергии могут управлять различные реле, регулятор прямого действия или выходной сигнал усилителя X_2 . Кроме преобразующего действия в состав ИМ может входить дополнительный усилитель. Иногда ИМ komponуют вместе с РО (см. соленоидные вентили).

Наряду с основными элементами приборы могут иметь и дополнительные узлы: для регулировки отдельных параметров работы, для компенсации погрешностей, вызываемых изменением внешних условий, для удобства сборки и наладки и др. Конструкции их будут рассмотрены в главах 3—6 при описании конкретных приборов.

Технические показатели

Все приборы автоматики имеют некоторые общие показатели. Наряду с ними каждый тип приборов имеет специфические показатели. Общие и специфические показатели входят в техническую характеристику прибора.

Общие показатели. К общим показателям приборов относятся: диапазон изменения контролируемой величины, допустимые пределы внешних условий, постоянная времени, конструктивное исполнение прибора, габаритные и присоединительные размеры, масса.

Диапазон изменения контролируемой величины — это максимальная область изменения регулируемой или контролируемой величины (входного сигнала), на которую рассчитан прибор. Величина диапазона обычно ограничивается физическими свойствами чувствительного элемента (например, участком пропорциональности, габаритами приборов, максимально допустимой погрешностью и пр.).

В измерительных приборах диапазону соответствует номинальное значение шкалы, т. е. область между двумя крайними отметками на шкале, в записывающих — ширина ленты. В реле и регуляторах задающее устройство должно обеспечить настройку на любое значение регулируемой величины во всем диапазоне.

Для увеличения диапазона в приборах предусматривают иногда сменные детали (сопротивления, пружины, шестерни и т. д.). Поскольку увеличение диапазона снижает точность

прибора, то при замене детали диапазон обычно не расширяют, а сдвигают. Например, чувствительный элемент термореле реагирует на изменение температуры в пределах $0 \div +60^\circ\text{C}$, а пружина регулировки задающего устройства (и шкала) рассчитаны на диапазон 20°C ($0 \div +20^\circ\text{C}$). Для работы в диапазоне $20\text{—}40^\circ\text{C}$ ставят пружину с другой характеристикой; установка третьей пружины позволит работать в диапазоне $40\text{—}60^\circ\text{C}$. В измерительных приборах предусматривают несколько шкал.

Пределы внешних условий — условия работы прибора, при которых общая погрешность не выходит за допустимые пределы. В соответствии с ГСП (Государственная система приборов) выпускаемые приборы разделяют на четыре группы, рассчитанные соответственно на работу при температуре окружающей среды от -50 до $+50$; от -30 до $+50$; от 5 до 50 и от 10 до 35°C при относительной влажности от 30 до 80% . Допускаемые колебания питающего напряжения от $+10$ до -15% .

Постоянная времени прибора — это интервал между поступлением сигнала на вход прибора и появлением соответствующего сигнала на выходе прибора. Эта величина зависит от конструкции прибора и характеризует его инерционность. В некоторых приборах постоянная времени может регулироваться.

Конструктивное исполнение прибора определяется условиями его применения. По защищенности приборов от воздействия окружающей среды различают исполнение обыкновенное, пылезащищенное, взрывозащищенное, брызгозащищенное, герметическое, водозащищенное, защищенное от агрессивной среды. Возможны их сочетания. Например, приборы в исполнении ОМ5 пригодны для помещений класса В16, транспортных и судовых установок, с буквой А — для аммиачных установок.

Габаритные и присоединительные размеры, масса прибора приводятся в его технической характеристике.

Срок службы приборов, установленный ГСП, — 6 лет; гарантия на прибор дается заводом на 18 мес после монтажа, но не более чем на 24 мес со дня отгрузки.

Специфические показатели. Для измерительных приборов показывающих и записывающих характерны следующие показатели.

Цена деления — разность значений измеряемой величины, соответствующая двум соседним отметкам шкалы.

Абсолютная погрешность измерительного прибора (Δ — дельта) — это алгебраическая разность между показаниями прибора (A_n) и действительным значением измеряемой величины (A_d), т. е. $\Delta = A_n - A_d$. Действительным значением измеряемой величины принято называть результат измерения, полученный при помощи более точных методов и средств измерения.

Точность приборов характеризуется приведенной погрешностью. Приведенная погрешность ($\delta_{пр}$) — это отношение абсо-

лютной погрешности к номинальному значению шкалы прибора (A_n), т. е. к разности между конечным и начальным значениями шкалы. Приведенная погрешность (или погрешность прибора) выражается в процентах.

$$\delta_{пр} = (\Delta/A_n) 100\%.$$

Класс точности прибора показывает максимально допустимую приведенную погрешность. Его указывают на шкале прибора цифрой в кружке. Технические приборы имеют класс точности 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0. Например, если манометр со шкалой 0—10 кгс/см² имеет класс точности 2,5, то это означает, что измерение можно провести с погрешностью не более 0,25 кгс/см². Для термометра со шкалой от —30 до +30 °С класса точности 1,0 погрешность находится в пределах 0,6 °С.

При практических измерениях важна не столько абсолютная погрешность прибора, сколько *относительная погрешность*, т. е. отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины (погрешность измерения). Поэтому надо выбирать прибор не только по классу точности, но и так, чтобы номинальное значение шкалы прибора было ненамного больше возможного предела измерения параметра. Покажем это на примерах.

Пусть давление в системе равно 3 кгс/см². При измерении его манометром со шкалой 0—6 кгс/см² класса точности 1,5 погрешность прибора будет $\pm 0,09$ кгс/см², а погрешность измерения $0,09/3 = \pm 3\%$. При измерении манометром со шкалой 0—100 кгс/см² того же класса точности (1,5) погрешность прибора составит $\pm 1,5$ кгс/см², а погрешность измерения $1,5/3 = \pm 50\%$. Погрешность технических измерений до 5% обычно считают допустимой; погрешность 50% совершенно недопустима.

Рассмотрим другой пример. Для определения холодопроизводительности машины необходимо измерять разность температур воды на выходе из конденсатора и на входе, а также разность температур хладоносителя на входе в испаритель и на выходе из него. Указанная разность составляет 1—2 °С. Измерение ее термометром со шкалой от —50 до +50 °С даже класса 0,5 оказывается невозможным, так как при определении температуры в каждой точке приведенная погрешность составит $\pm 0,5$ °С, а при определении разности температур ± 1 °С. Погрешность измерения будет 50—100%.

Чтобы снизить погрешность измерений, в данном случае необходимо выбрать прибор с меньшим номинальным диапазоном шкалы и более высокого класса точности. Лабораторные приборы имеют классы точности 0,05; 0,1; 0,2.

Иногда измеряемый параметр принимает большие значения только в отдельные моменты. Например, ток в электродвигателе в момент пуска в 5—7 раз превосходит рабочее значение. В этих случаях целесообразнее измерять силу тока ампермет-

ром с малым номинальным диапазоном, а в момент пуска отключать прибор (шунтировать его).

Записывающие измерительные приборы характеризуются теми же специфическими показателями, что и показывающие, а также шириной ленты, скоростью ее перемещения, источником питания, потребляемой мощностью, погрешностью хода диаграммы.

Специфические показатели реле: дифференциал, погрешность срабатывания, нестабильность, разрывная мощность контактов и допустимое напряжение; если дифференциал регулируемый, то в технической характеристике указываются пределы его регулировки.

Погрешность срабатывания контактов — это максимальное отклонение входного параметра от номинальных значений (включения или отключения), на которое реле может не среагировать. Иногда ее выражают в процентах от диапазона измерения контролируемой величины. Различают основную погрешность срабатывания, соответствующую нормальным условиям работы, и дополнительную, вызванную отклонением внешних условий от нормальных.

В процессе эксплуатации после многих срабатываний первоначально установленное значение срабатывания реле может измениться. Отклонение этого нового значения от начального называют *нестабильностью* (иногда непостоянством срабатывания).

Разрывная мощность — это максимально допустимая мощность в цепи, разрываемой контактами. Разрывную мощность указывают, как правило, при индуктивной нагрузке для переменного тока (в вольт-амперах) и для постоянного тока (в ваттах). Иногда вместо этого показателя используют максимальную допустимую силу тока.

Допустимое напряжение определяется сопротивлением пробоя электрической изоляции токоведущих частей.

Регуляторы наиболее полно характеризуются своей статической и динамической характеристикой. В технической характеристике кроме основных показателей для статических регуляторов обычно указываются также:

диапазон пропорциональности (неравномерность) регулятора (см. с. 42). Если имеется механизм настройки диапазона пропорциональности, то указываются возможные пределы настройки;

диапазон регулирования начала открытия (см. с. 43) или соответственно среднего значения регулируемого параметра.

Регуляторы, регулирующим органом которых служит клапан, характеризуются *пропускной способностью* K_v — расходом жидкости (в м³/ч) (плотностью 1000 кг/м³), пропускаемой клапаном при перепаде давления на нем 0,1 МПа. В технической характеристике указывают условную пропускную способность $K_{vу}$, т. е. пропускную способность при полном открытии клапа-

на. Иногда дается максимальная действительная пропускная способность для жидкости или газа, на которые рассчитан регулятор, при номинальных давлениях на входе и выходе, а также *максимальное открытие клапана и условный диаметр прохода*.

Погрешность пропорциональных регуляторов характеризуют максимальной зоной нечувствительности (гистерезисом). Вследствие зазоров между деталями прибора и наличия сил трения после изменения знака входного параметра X некоторое изменение численного значения X не вызывает изменения выходного параметра. Максимальное изменение X , на которое может не реагировать выходной параметр, называют *зоной нечувствительности (гистерезисом)*.

Для усилителей в технических характеристиках приводят коэффициент усиления, пределы его регулировки (если она предусмотрена конструкцией), источник энергии, допустимые пределы изменения его параметров и потребляемую мощность.

Для исполнительных механизмов обязательно указывают источник энергии, потребляемую мощность, допустимые пределы изменения параметров источника энергии.

§ 8. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Малые механические перемещения для передачи сигнала на нужное расстояние и усиление этого сигнала удобно преобразовать в изменение электрических величин. Такие преобразователи называют датчиками. Если перемещение преобразуется в сопротивление (омические, индуктивные, емкостные датчики), то затем в схемах сопротивление преобразуется в активные величины (ЭДС, сила тока), которые легко усилить и снова в исполнительных механизмах превратить в механические перемещения большой мощности.

Омические датчики. Плавное изменение омического сопротивления, вызванное перемещением движка, осуществляется в обычном реостате (переменное сопротивление) в результате изменения длины проводника. Сопротивление проволоки может меняться также при ее изгибе за счет внутренних напряжений.

В приборах автоматики часто необходимо преобразовать плавное перемещение в резкое замыкание или размыкание электрических контактов (двухпозиционное изменение сопротивления). Устройство, которое преобразует плавное изменение входного параметра при достижении им определенной величины в резкое ступенчатое изменение выходного параметра, называют пороговым элементом (ПЭ). Это элемент, который имеет только два устойчивых положения и при определенных значениях входного сигнала резко переходит из одного положения в другое. Примером такого устройства может служить обычный выключатель, в котором пружина резко изменяет свое положение

собой пластину полупроводникового материала (например, кремния), на которую в строго определенных местах наносят примеси (металлы, полупроводники, диэлектрики) так, что в результате получается весьма сложная схема, не содержащая, однако, ни одного из элементов в явном виде. Современные интегральные микросхемы могут выполнять весьма сложные функции. Так, микропроцессор — это микросхема, выполняющая, по существу, функции целой ЭВМ.

§ 10. УСИЛИТЕЛИ

Устройства, увеличивающие значение входного параметра без затраты энергии от дополнительного источника, называют усилительными элементами (или простейшими усилителями). К ним относятся механический рычаг, увеличивающий перемещение или силу, гидравлический пресс, электрические трансформаторы и др. Мощность выходного сигнала у них даже ниже мощности входного (на величину потерь, связанных с трением, теплом и пр.).

Собственно под *усилителями* понимают устройства, которые увеличивают входной сигнал по мощности в результате использования внешнего источника энергии. В реальных усилителях часть внешней энергии теряется из-за необратимых потерь. При этом сумма мощностей выходного сигнала и потерь всегда больше мощности входного (в отличие от усилительных элементов, где эта сумма равна мощности входного сигнала).

В каждом усилителе имеется элемент, преобразующий изменение входного параметра в более мощное изменение потока внешней энергии, и элемент для преобразования этой энергии в выходной сигнал. Например, в паровой машине небольшое усилие для изменения подачи пара преобразуется в большое изменение мощности парового двигателя.

По роду усиливаемых сигналов различают механические усилители, электрические, электромагнитные и пр. Они могут быть плавного действия и позиционного (ключевые). По виду подводимой энергии различают пневматические, гидравлические, электрические усилители и др.

Механические усилители

Механические усилители служат для преобразования перемещения малой мощности в перемещение большой мощности. Рассмотрим из этой группы усилителей пневматический и гидравлический.

Пневматический усилитель. Пневматический усилитель с заслонкой (рис. 37, а) состоит из цилиндра 1, подвижного поршня 2 (или упругой мембраны) и заслонки 4, прикрывающей сопло 3. Питание цилиндра сжатым воздухом с постоянным давлением p_0 (равным примерно $2 \cdot 10^5$ Па) осуществляется через дроссельное отверстие (сопло) 5. Часть поступающего воздуха

пружини 1 будет направлена вдоль рычага $O_3—O_4$ и составляющая этой силы P' станет равной нулю (неустойчивое равновесие). При дальнейшем движении точки O_2 вверх сила P' изменит свое направление: в точке O_2 будет направлена вверх, а в точке O_3 — вниз; точка O_3 начнет опускаться, сила P' — возрастать, и подвижные контакты 3, укрепленные на рычаге 2, резко замкнутся (положение II).

Начинают широко применяться магнитоуправляемые контакты — герконы (рис. 31, б). В прозрачный стеклянный корпус 1 геркона герметично вмонтированы две контактные пластины 2 из ферромагнитного материала. С приближением магнита 3 магнитные линии пройдут через пластины 2, при этом верхний контакт намагнитится, как полюс S, а нижний, как полюс N, и контакты резко замкнутся. При удалении магнита пружинящие контакты пластины разомкнутся. При горизонтальном перемещении магнита чувствительность геркона меньше, чем при вертикальном. Вместо постоянного магнита можно использовать катушку электромагнита. Благодаря вакууму искра не вызывает пригорания контактов. Герконы применяются для приборов, работающих во взрывоопасных помещениях.

Индуктивные датчики. Электрическая катушка представляет собой индуктивное сопротивление (L) для переменного тока. При введении в катушку стального сердечника индуктивность ее возрастает. Таким образом, перемещение сердечника (рис. 31, в) преобразуется в изменение индуктивности.

Значительно больше увеличивается индуктивность катушки, если сердечник представляет собой замкнутый контур (рис. 31, г). Индуктивность пропорциональна магнитному потоку Φ . А величина потока резко уменьшается с увеличением зазора δ между подвижной пластиной и неподвижным сердечником, так как воздушный зазор служит сопротивлением магнитному потоку.

Горизонтальное перемещение X не так резко уменьшает поток Φ , поэтому чувствительность датчика будет меньше, чем при вертикальном перемещении пластины. Еще меньше чувствительность у датчика на рис. 31, в, который применяют только при больших перемещениях.

Большое преимущество индуктивных датчиков по сравнению с омическими — отсутствие электрических контактов и высокая чувствительность, но работают они только на переменном токе.

Емкостные датчики. Емкость плоского конденсатора C зависит от площади пластин S , расстояния между ними δ и диэлектрической проницаемости:

$$C = \epsilon_0 \epsilon S / \delta,$$

где $\epsilon_0 = 1/4\pi \cdot 9 \cdot 10^9$ — диэлектрическая постоянная.

В датчике, изображенном на рис. 31, д, емкость изменяется в результате незначительного перемещения нижней пласти-

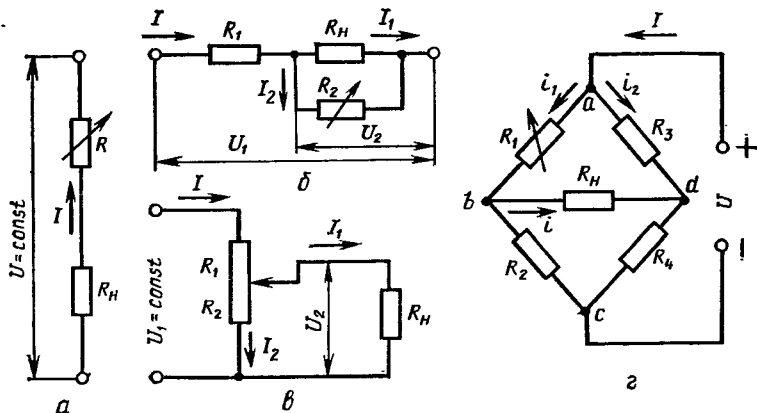


Рис. 32. Преобразователи изменения омического сопротивления в изменение силы тока или напряжения:

a — переменное сопротивление (реостат); *б* — последовательно-параллельное включение сопротивлений; *в* — потенциметрическая схема; *г* — мостовая схема

ны X , что изменяет величину зазора. В другом датчике (рис. 31, *e*) изменяется площадь взаимодействия пластин S при повороте одной из них на некоторый угол α . Изменение емкости за счет изменения ϵ осуществлено в емкостном датчике уровня жидкости.

Емкостные датчики, как и индуктивные, весьма чувствительны к малым перемещениям, не имеют скользящих контактов; однако необходимость значительного усиления снимаемого сигнала и наличия источника напряжения высокой частоты несколько ограничивает область их применения.

Преобразователи изменения сопротивления в изменение тока и напряжения. Включение датчика R последовательно с сопротивлением нагрузки R_H называют реостатной схемой (рис. 32, *a*). Эта схема чувствительна к изменению R (т. е. дает большие изменения тока нагрузки) только при малом, относительно R , сопротивлении нагрузки R_H .

Параллельная схема (рис. 32, *б*), наоборот, чувствительна лишь при больших, относительно R_2 , сопротивлениях нагрузки R_H . Добавочное сопротивление R_1 ограничивает ток нагрузки при значениях R_2 , близких к нулю.

Дифференциальный датчик состоит из двух переменных сопротивлений: с увеличением R_1 уменьшается R_2 . Последовательно-параллельное включение его показано на рис. 32, *в*. Эта схема более чувствительна, чем схемы на рис. 32, *a*, *б*, так как с увеличением R_1 , которое включено последовательно с нагрузкой, одновременно уменьшается R_2 , включенное параллельно. Оба фактора ведут к уменьшению тока нагрузки. Обычно эту схему применяют при $R_H \gg R_1 + R_2$. В этом случае схему назы-

вают потенциметрической, или делителем напряжения:

$$U_2 \approx U_1 R_2 / (R_1 + R_2).$$

Для измерения отклонения регулируемого параметра от заданного значения применяют мостовую схему (рис. 32, з). Изменение температуры, давления или другого параметра вызывает изменение R_1 , а эталоном служит сопротивление в другом плече моста — R_3 . Напряжение, приложенное к точкам a и c , вызывает ток в цепи; ток I в точке a разветвляется: через левое плечо моста (abc) проходит ток i_1 , через правое (adc) — i_2 . Сопротивления R_1 , R_2 , R_3 и R_4 подбирают таким образом, чтобы в начальном состоянии падение напряжения на участке ad , равное $i_2 R_3$, было бы равно падению напряжения на участке ab ($U_{ab} = i_1 R_1$). При равенстве потенциалов в точках b и d ток в диагонали моста i через измерительный прибор R_n не пойдет.

Условие равновесия моста ($i=0$): $R_1 R_4 = R_2 R_3$. При уменьшении R_1 ток i_1 и падение напряжения на участке ab увеличатся. Потенциал точки b станет ниже, чем точки d , и в диагонали моста через нагрузку R_n пойдет ток (от d к b). При увеличении R_1 направление тока в диагонали моста изменится. Мосты, в которых изменение тока в диагонали непосредственно измеряется или используется для регулирования, называются *неравновесными мостами*.

Для последующего усиления сигнала обычно удобнее измерять не силу тока, а напряжение (например, для подачи на вход электронного усилителя). В этом случае ставят большое сопротивление нагрузке R_n и ток через диагональ практически не идет.

В *равновесных мостах* изменение сопротивления датчика R_1 компенсируется изменением сопротивления в одном из плечей моста (например, R_2) так, чтобы ток в диагонали снова стал равен нулю. Отсутствие тока в диагонали моста фиксируется гальванометром более точно, чем его ненулевые значения. Это позволяет с меньшей погрешностью определять ΔR_1 (или изменение соответствующего ему входного параметра) по ΔR_2 .

Во всех рассмотренных схемах вместо омических датчиков можно использовать индуктивные или емкостные, но для этого питающее напряжение должно быть переменным. Выходной сигнал в этом случае будет представлять собой изменение среднего значения переменного тока и напряжения.

§ 9. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И МИКРОСХЕМЫ

Полупроводниковые элементы вследствие своей компактности и высокой надежности в настоящее время практически вытеснили электронно-вакуумные приборы, применявшиеся в электронных схемах автоматики. К ним относятся основные элементы (диоды, транзисторы и др.), фотоэлементы, а также микросхемы, объединяющие в одном корпусе ряд элементов.

Основные элементы

Полупроводниковый диод (рис. 33, а) обладает свойством проводить ток в прямом направлении и не проводить в обратном. Сила максимального тока через диод и максимального допустимого напряжения в обратном направлении зависят от типа диода.

Светодиод (рис. 33, б) изготавливается из специальных полупроводниковых материалов. В дополнение к обычным свойствам диода он излучает свет при прохождении через него тока в прямом направлении. Цвет свечения может быть желтым, зеленым или красным в зависимости от типа светодиода. Существуют светодиоды с инфракрасным излучением. Светодиоды применяются в основном в схемах индикации или в схемах управления фотоэлектронными элементами.

Стабилитрон (рис. 33, в) — это разновидность полупроводникового диода, который, будучи включенным в обратном направлении в цепь постоянного тока, обладает свойством значительно изменять свое сопротивление в зависимости от приложенного напряжения. Это его свойство используют для создания схем стабилизаторов напряжения.

Динистор (рис. 33, г) — диод, который пропускает ток в прямом направлении только при достижении определенной величины приложенного напряжения. Запирание динистора происходит лишь при падении этого напряжения почти до нуля. В схемах динистор часто используют в качестве порогового элемента.

Тиристор (рис. 33, д) — трехэлектродный элемент, который при отсутствии управляющего напряжения ($U_{упр}$) закрыт и не пропускает ток от катода (К) к аноду (А). При подаче $U_{упр}$ определенной величины и полярности тиристор открывается и

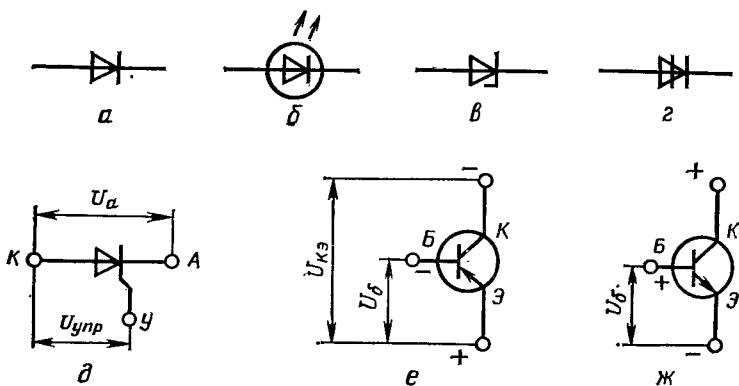


Рис. 33. Основные полупроводниковые элементы:

а — диод; б — светодиод; в — стабилитрон; г — динистор; д — тиристор; е — транзистор прямого типа (р-п-р); ж — транзистор обратного типа проводимости (п-р-п)

пропускает ток в прямом направлении. Если теперь $U_{упр}$ снова уменьшить до нуля, тиристор останется открытым. Закрыть его можно, лишь уменьшив до нуля U_a . Таким образом, при помощи маломощного сигнала $U_{упр}$ можно управлять током весьма значительной величины в цепи катод — анод (до сотен ампер). Величина максимального тока и максимально допустимого обратного напряжения зависит от типа тиристора.

Транзистор — трехэлектродный элемент, применяемый для усиления мощности электрических сигналов. Различают два типа транзистора: прямой проводимости — от эмиттера Э к коллектору К (типа $p-n-p$, рис. 33, *е*) и обратной проводимости — от коллектора к эмиттеру (типа $n-p-n$, рис. 33, *ж*). С увеличением управляющего напряжения U_b между базой и эмиттером (который обозначен стрелкой) коллекторный ток I_k возрастает, достигает максимума и дальше не растет. С уменьшением U_b ток I_k падает, пока транзистор не заперется (при $U_b=0$ он всегда заперт).

На участке плавной зависимости I_k от U_b транзисторы используют в схемах линейных усилителей. Кроме того, транзистор может быть использован как ключ («Открыт» или «Закрыт»).

Фотоэлементы

При освещении поверхности некоторых полупроводниковых материалов происходит изменение их электрических характеристик. Этот эффект использован при создании класса полупроводниковых элементов, чувствительных к изменению освещенности (рис. 34).

Фотосопротивление (рис. 34, *а*) изменяет величину омического сопротивления в зависимости от освещенности. Величина сопротивления у них зависит от направления тока. С увеличением освещенности сопротивление уменьшается.

Фотодиод (рис. 34, *б*) в неосвещенном состоянии обладает большим сопротивлением (независимо от направления тока). При освещении он пропускает ток только в одном направлении, как обычный диод.

Фототиристор (рис. 34, *в*) реагирует на освещенность, как и фотодиод, но в отличие от него даже при снижении освещенности до нуля продолжает пропускать ток в прямом направлении, пока не будет снято питающее напряжение.

Оптроны (рис. 34, *г, д, е*) — комбинированные элементы, состоящие из светоизлучающе-

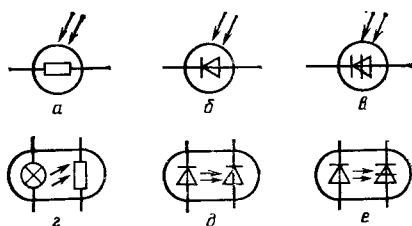


Рис. 34. Фотоэлементы:

а — фотосопротивление; *б* — фотодиод; *в* — фототиристор; *г, д, е* — оптроны: лампа накаливания — фотосопротивление, светодиод — фотодиод, светодиод — фототиристор

го и фоточувствительного элементов, помещенных в общий светонепроницаемый корпус. Светоизлучающим элементом может служить лампочка накаливания или светодиод. Фоточувствительной частью оптрона может быть фотосопротивление, фотодиод или фототиристор. Оптоны применяются в тех случаях, когда необходимо исключить электрическую связь между цепью управления и исполнительной (высокого напряжения).

Сложные элементы, микросхемы

Наряду с простыми элементами для построения электронных схем могут быть использованы сложные элементы, представляющие собой несколько простых элементов, объединенных в одной конструкции и выполняющих при этом какую-либо законченную функцию.

К таким элементам относятся, например, рассмотренные нами оптроны (см. рис. 34).

Операционные усилители. Эти элементы представляют собой сложную схему, состоящую из десятков транзисторов, резисторов, конденсаторов и диодов. Схемное обозначение операционных усилителей *ОУ* показано на рис. 35. Операционные усилители имеют клеммы для подключения источника питания ($+E_n$ и $-E_n$), две входных (V_{x1} и V_{x2}) и выходную клемму. При подаче сигнала на клемму V_{x1} ($-$) выходной сигнал будет в противофазе со входным, а при использовании клеммы V_{x2} ($+$) сигнал на клемме $V_{y_{вых}}$ будет той же фазы, что и входной. Коэффициент усиления, т. е. отношение выходного сигнала к входному без дополнительных элементов, очень велик (несколько десятков тысяч). Основное применение *ОУ* — создание высокоточных линейных усилителей, а также устройств, реализующих некоторые нелинейные зависимости выходного сигнала от входного (например, квадратную зависимость $y=x^2$).

Логические элементы. Особое место среди сложных элементов занимают логические элементы (ЛЭ). Для этих элементов (рис. 36) входные сигналы могут принимать только два значения, соответствующие логической единице (1) или логическому нулю (0).

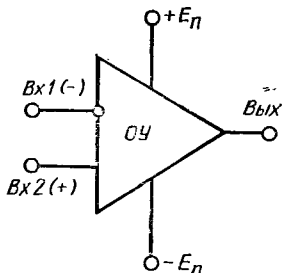


Рис. 35. Операционный усилитель

Например, за 0 может быть принято входное напряжение, равное нулю, а за 1 — 4 В. Все остальные входные напряжения для ЛЭ являются запретными. Соответственно на выходе при этом могут появляться также только 0 либо 1.

Основными логическими элементами являются схемы И, ИЛИ, НЕ.

Схема И (рис. 36, а) дает на выходе сигнал 1 тогда и только тогда, когда все

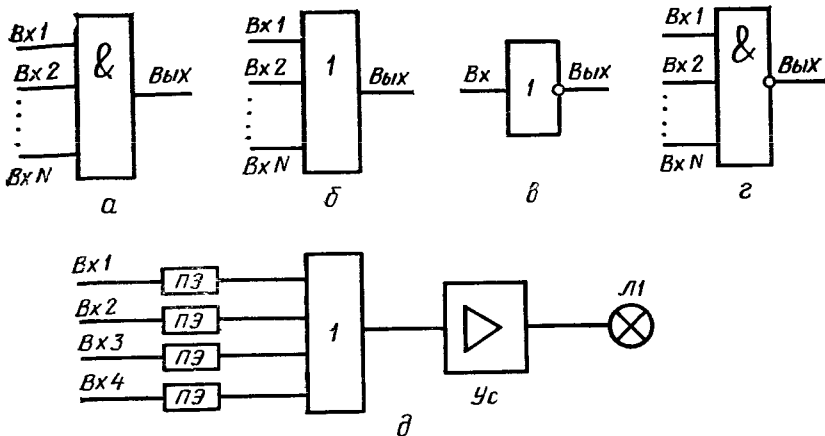


Рис. 36. Логические элементы:

а — И; б — ИЛИ; в — НЕ; г — И—НЕ; д — схема аварийной сигнализации на элементе ИЛИ (ЛЭ1)

входные сигналы равны 1. Во всех остальных случаях на выходе схемы И будет 0.

Схема ИЛИ (рис. 36, б) дает на выходе 1, когда хотя бы один из входных сигналов равен 1. Если же все входные сигналы равны 0, на выходе схемы ИЛИ будет 0.

Схема НЕ (рис. 36, в) дает на выходе 0, если на входе 1. Если же на входе 0, то на выходе 1.

Комбинированные логические элементы получают путем различных комбинаций основных. Так, комбинация элементов И и НЕ дает элемент И—НЕ (рис. 36, г), на выходе которого появляется 0, когда на всех его входах 1, во всех остальных случаях на выходе 1. Применение ЛЭ может быть самым многообразным; достаточно сказать, что все современные электронно-вычислительные машины (ЭВМ) собраны исключительно на логических элементах, хотя, конечно, комбинации ЛЭ, применяемые для их построения, часто весьма сложны.

В схемах автоматики ЛЭ в последнее время также находят все более широкое применение. Рассмотрим, например, структурную схему аварийной сигнализации на элементе ИЛИ (рис. 36, д). Сигналы от датчиков поступают на входы пороговых элементов (ПЭ), на выходе которых при превышении входным сигналом определенной величины (высокое давление, температура и т. д.) появляется сигнал, соответствующий логической единице 1. Тогда, если хотя бы один из параметров превысит заданный уровень, на выходе схемы ИЛИ (ЛЭ1) появится сигнал 1, который после усиления вызовет загорание лампы Л1.

В настоящее время практически все сложные элементы выполняют в виде интегральных микросхем. Они представляют

собой пластину полупроводникового материала (например, кремния), на которую в строго определенных местах наносят примеси (металлы, полупроводники, диэлектрики) так, что в результате получается весьма сложная схема, не содержащая, однако, ни одного из элементов в явном виде. Современные интегральные микросхемы могут выполнять весьма сложные функции. Так, микропроцессор — это микросхема, выполняющая, по существу, функции целой ЭВМ.

§ 10. УСИЛИТЕЛИ

Устройства, увеличивающие значение входного параметра без затраты энергии от дополнительного источника, называют усилительными элементами (или простейшими усилителями). К ним относятся механический рычаг, увеличивающий перемещение или силу, гидравлический пресс, электрические трансформаторы и др. Мощность выходного сигнала у них даже ниже мощности входного (на величину потерь, связанных с трением, теплом и пр.).

Собственно под *усилителями* понимают устройства, которые увеличивают входной сигнал по мощности в результате использования внешнего источника энергии. В реальных усилителях часть внешней энергии теряется из-за необратимых потерь. При этом сумма мощностей выходного сигнала и потерь всегда больше мощности входного (в отличие от усилительных элементов, где эта сумма равна мощности входного сигнала).

В каждом усилителе имеется элемент, преобразующий изменение входного параметра в более мощное изменение потока внешней энергии, и элемент для преобразования этой энергии в выходной сигнал. Например, в паровой машине небольшое усилие для изменения подачи пара преобразуется в большое изменение мощности парового двигателя.

По роду усиливаемых сигналов различают механические усилители, электрические, электромагнитные и пр. Они могут быть плавного действия и позиционного (ключевые). По виду подводимой энергии различают пневматические, гидравлические, электрические усилители и др.

Механические усилители

Механические усилители служат для преобразования перемещения малой мощности в перемещение большой мощности. Рассмотрим из этой группы усилителей пневматический и гидравлический.

Пневматический усилитель. Пневматический усилитель с заслонкой (рис. 37, а) состоит из цилиндра 1, подвижного поршня 2 (или упругой мембраны) и заслонки 4, прикрывающей сопло 3. Питание цилиндра сжатым воздухом с постоянным давлением p_0 (равным примерно $2 \cdot 10^5$ Па) осуществляется через дроссельное отверстие (сопло) 5. Часть поступающего воздуха

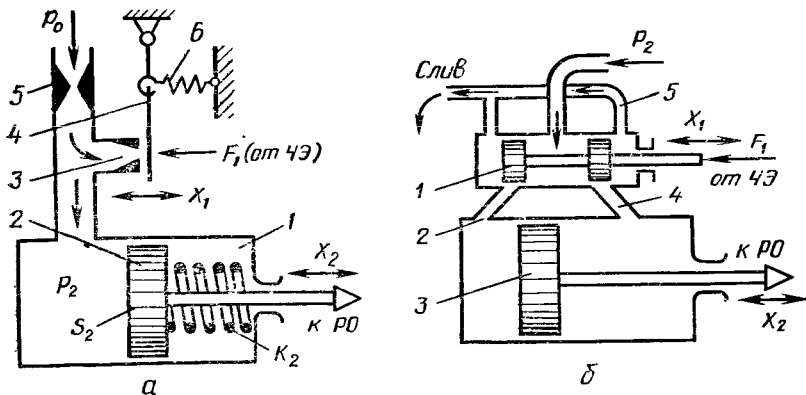


Рис. 37. Механические усилители:

а — пневматический (с заслонкой); б — гидравлический золотниковый

выходит через сопло 3, сопротивление которого определяется положением заслонки. В цилиндре устанавливается такое давление p_2 , при котором поступление воздуха через дроссельное отверстие 5 равно расходу через сопло 3. Сила давления на поршень уравнивается сжатой пружиной K_2 .

Усилие перемещения чувствительного элемента F_1 изменяет положение заслонки. Пусть перемещение заслонки X_1 уменьшило зазор между соплом и заслонкой, тогда расход воздуха через сопло 3 уменьшится, давление p_2 начнет возрастать, и благодаря самовыравниванию на стороне прихода и расхода установится новое, более высокое значение p_2 . Поршень при этом, преодолев силу упругости, переместится вправо на величину X_2 , передав усилие основному регулирующему органу. При перемещении заслонки вправо зазор увеличивается. Благодаря тому, что диаметр сопла 3 в 2—3 раза больше диаметра дроссельного отверстия 5, давление p_2 в цилиндре может упасть почти до нуля и поршень переместится влево. Первый элемент этого усилителя «сопло—заслонка», преобразующий перемещение в изменение давления, имеет высокую чувствительность: для полного открытия сопла, что соответствует падению давления примерно на 0,2 МПа, достаточно перемещения заслонки на 0,05 мм ($K_1 = 0,2/0,05 = 4$ МПа/мм). Перемещение поршня при изменении давления в цилиндре зависит от жесткости пружины K_2 и может составлять около 100 мм на 1 МПа; тогда общий коэффициент усиления по перемещению $K_{пер} = K_1 K_2 = 4 \cdot 100 = 400$.

Для определения коэффициента усиления по мощности надо взять отношение работы A_2 , произведенной при перемещении поршня, к работе A_1 перемещения заслонки. Считая давление p_2 постоянным, получим

$$K_{\text{мощ}} = A_2/A_1 = p_2 S_2 X_2 / (F_1 X_1),$$

где S_2 — площадь поршня.

Сила F_1 , вызывающая перемещение заслонки, очень незначительна. Она преодолевает только силу упругости слабой пружины b и кинетическую энергию тонкой струи воздуха, выходящего из сопла. Как видно из уравнения, увеличение коэффициента усиления по мощности достигается увеличением среднего значения давления в цилиндре p_2 и площади поршня S_2 . Поскольку сила давления на поршне $F_2 = p_2 S_2$, уравнение можно представить в следующем виде:

$$K_{\text{мощ}} = (F_2/F_1) (X_2/X_1) = K_{\text{сил}} K_{\text{пер}}$$

т. е. коэффициент усиления по мощности равен произведению коэффициентов усиления по силе и по перемещению.

Гидравлический усилитель. В золотниковом гидравлическом усилителе (рис. 37, б) подача жидкости давления p_2 в правую или левую полость цилиндра осуществляется перемещением поршня 1 (золотника). При перемещении его из нейтрального положения влево жидкость через окно 2 поступит в левую часть основного цилиндра, а через окно 4 сливается по трубе 5 из правой части. Поршень 3 будет перемещаться вправо. В среднем положении золотника, когда оба отверстия (2 и 4) перекрыты, поршень 3 может занимать любое положение. При перемещении золотника вправо поршень 3 перемещается влево. Усилитель этого типа имеет астатическую характеристику: при среднем положении поршня-золотника основной поршень может остановиться в любом промежуточном положении.

Электронные усилители

Для усиления слабых электрических сигналов применяются электронные усилители. Они представляют собой схему с использованием электронных ламп либо транзисторов. Для питания усилителей используется внешний источник электрической энергии.

Ламповые усилители. Эти усилители (рис. 38) используют способность электронных ламп изменять значение силы тока i_a через лампу в зависимости от потенциала на сетке лампы U_c (рис. 38, а). Зависимость i_a от U_c изображена на рис. 38, б. Для построения усилителей используется линейный участок кривой, т. е. допускаются изменения U_c на участке от А до Б. При этом сила тока i_a будет пропорциональна U_c . Усиленный сигнал может быть произвольной формы, например синусоидальный (рис. 38, б).

Практическая схема усилительного каскада на электронной лампе, предназначенная для усиления переменного напряжения, показана на рис. 38, в. Батарея E_c служит для создания на сетке отрицательного смещения (рабочая точка Р выводится на середину линейного участка характеристики). Сопротивление R_a преобразует изменение тока i_a в изменение напряжения U_{2-1} , а следовательно, и напряжения U_a (выходного), так как

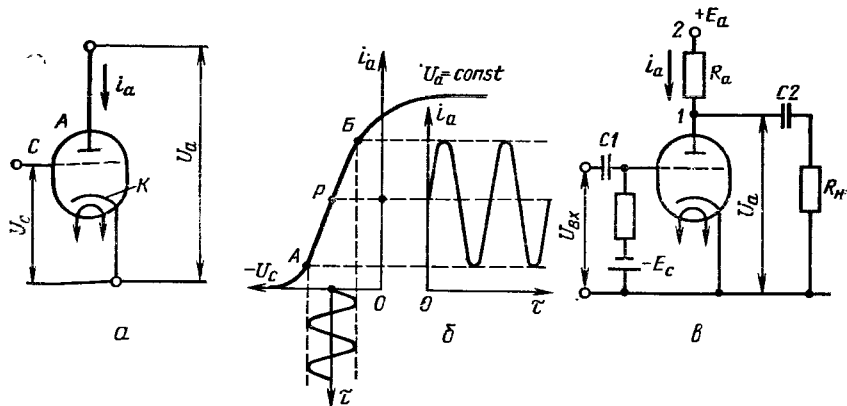


Рис. 38. Усилитель на электронной лампе:
 а — схема лампы; б — анодно-сеточная характеристика лампы; в — схема усилительного каскада

$U_{2-1} + U_a = E_a = \text{const}$. Конденсаторы C_1 и C_2 (разделительные) предназначены для предотвращения попадания постоянной составляющей сигнала на сетку лампы (C_1) и в нагрузку (C_2). Нагрузкой R_n может быть как выходное устройство (например, катушка реле), так и входное сопротивление следующего каскада усилителя.

Усилители на транзисторах. Их применяют для усиления как постоянных, так и переменных напряжений и токов. Каждая схема имеет свои особенности.

Усилительный каскад переменного тока (рис. 39, а) собран на транзисторе типа $p-n-p$ (см. рис. 33). При отсутствии сигнала на входе ($U_{вх} = 0$) ток проходит через делитель напряжения R_1, R_2 и возникающая разность потенциалов между базой и эмиттером $U_{бэ}$ вызывает ток $i_{б0}$ через переход эмиттер — ба-

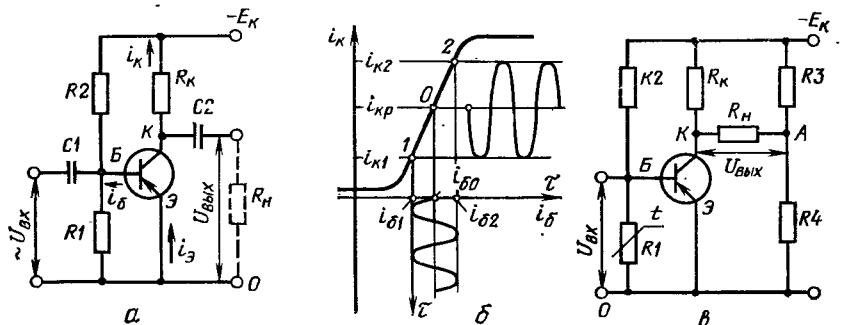


Рис. 39. Транзисторные усилители:
 а — усилители переменного тока; б — токовая характеристика; в — усилители постоянного тока

за. Ток i_b вызывает определенный ток i_k через переход эмиттер — коллектор (рис. 39, б). Сопротивления R_1 и R_2 подбирают так, чтобы начальная (рабочая) точка O , соответствующая току базы при $U_{вх}=0$, была примерно на середине линейного участка характеристики.

При подаче на вход переменного напряжения $U_{вх}$ с увеличением $U_{б.э}$ растет ток i_b , что приводит к увеличению коллекторного тока i_k . Падение напряжения на сопротивлении $R_n(U_{вх})$ при этом возрастает.

У современных транзисторов статический коэффициент усиления по току $\beta = \Delta i_k / \Delta i_b$ достигает нескольких сотен. На линейном участке сигнал $U_{вх}$ по форме такой же, как и $U_{вх}$, но больше по амплитуде. Коэффициент усиления по напряжению составляет несколько единиц или десятков.

Конденсатор C_2 не пропускает на выход каскада (на нагрузку R_n) постоянную составляющую коллекторного напряжения. Аналогично C_1 пропускает только переменную составляющую $U_{вх}$.

В схеме усиления постоянных (медленно изменяющихся) напряжений и токов (рис. 39, в) разделительные конденсаторы исключаются. Чтобы исключить влияние постоянной составляющей $U_{вх}$ на нагрузку R_n , ставят делитель напряжения R_3, R_4 со стороны выхода. Сопротивления R_3 и R_4 подбирают так, чтобы при начальном значении $U_{вх}$ потенциалы в точках A и K были бы равны, т. е. ток через нагрузку равен нулю. С повышением $U_{вх}$ (например, при увеличении сопротивления R_1 вслед-

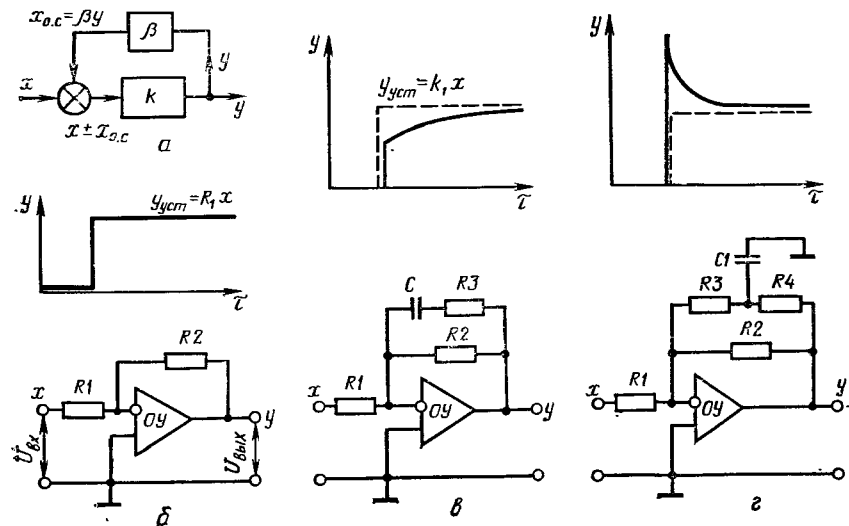


Рис. 40. Обратная связь в электронных усилителях:

а — структурная схема введения обратной связи; б — отрицательная обратная связь в схеме подключения операционного усилителя ОУ; в — интегрирующий усилитель; г — дифференцирующий усилитель.

ствии повышения температуры) значение U_K станет больше и через R_n будет проходить ток. Если $U_{вх}$ станет меньше начального значения, то $U_K > U_A$ и ток через R_n изменит свое направление. Это, по существу, мостовая схема (см. рис. 32, з), в которой транзистор является управляемым переменным сопротивлением в одном из плеч моста.

Схемы усилителей на транзисторах типа $n-p-n$ (см. рис. 33, ж) аналогичны рассмотренным, но при этом полярность меняется на обратную (ток идет от базы к эмиттеру и от коллектора к эмиттеру — всегда по направлению стрелки, изображенной на эмиттере).

Обратная связь в электронных усилителях. Для улучшения параметров электронных усилителей часто применяют обратную связь, т. е. воздействие преобразованного выходного сигнала на вход усилителя (рис. 40, а). Если сигнал обратной связи $x_{о.с}$ складывается с входным сигналом x (совпадает с ним по фазе), то обратную связь называют положительной; когда сигналы x и $x_{о.с}$ находятся в противофазе (вычитаются) — отрицательной.

Звено обратной связи может иметь линейную функцию, т. е. $x_{о.с} = \beta y$, и нелинейную (любую более сложную). Рассмотрим простейший случай, когда линейный усилитель $y = kx$ охвачен линейной обратной связью, т. е.

$$y = k(x \pm x_{о.с}), \text{ или } y = k(x \pm \beta y),$$

где β — коэффициент усиления звена обратной связи. Знак «плюс» соответствует здесь положительной обратной связи, а знак «минус» — отрицательной. Преобразовав последнее уравнение для отрицательной обратной связи, получим

$$y = \frac{k}{1 + k\beta} x = k_1 x,$$

где k_1 — коэффициент усиления всей системы. При $\beta > 0$ значение $k_1 < k$.

При отрицательной обратной связи повышаются устойчивость системы, стабильность ее и становится более линейной статическая характеристика. Поэтому отрицательную обратную связь широко применяют в усилителях.

При положительной обратной связи

$$y = \frac{k}{1 - k\beta} x = k_1 x.$$

Здесь при изменении β от 0 до $1/k$ коэффициент усиления k_1 будет повышаться от k до ∞ . Поэтому положительную обратную связь при необходимости используют для повышения коэффициента усиления. При $\beta > 1/k$ коэффициент k_1 не принимает установившегося значения (бесконечно растет).

Рассмотрим примеры применения отрицательной обратной связи в схемах с операционным усилителем.

В схеме на рис. 40, б обратная связь (через сопротивление R_2) определяет общий коэффициент усиления k_1 . При достаточно больших значениях коэффициента усиления самого операционного усилителя (k) значение $k_1 = R_2/R_1$. Это позволяет, меняя R_2 и R_1 , получить нужный коэффициент усиления.

При включении в цепь отрицательной обратной связи дополнительного дифференцирующего звена (цепочка R_3-C_1 на рис. 40, в) получим ПИ-закон регулирования (см. рис. 22, в в гл. 1). При быстрых изменениях входного сигнала амплитуда колебаний выходного сигнала будет уменьшена, так как сопротивление конденсатора C_1 при большой частоте колебаний мало, что увеличивает влияние обратной связи, т. е. уменьшает коэффициент усиления.

Для получения пропорционально-дифференциального закона регулирования надо дополнительно к R_2 включить в цепь отрицательной обратной связи интегрирующую цепочку $R_3-C_1-R_4$ (рис. 40, г). Конденсатор C_1 подключен здесь к земле. Поэтому в первый момент влияние обратной связи будет мало (только через R_2) и коэффициент усиления увеличится.

Таким образом, обратная связь позволяет не только изменять коэффициент усиления, но и формировать нужный закон регулирования.

Электронные ключевые схемы

Триггеры и генераторы колебаний. Электронное пороговое устройство (с двумя устойчивыми состояниями выходного сигнала) называют *триггером*. Так, в триггере Шмитта (рис. 41, а) положительная обратная связь осуществляется через сопротивление R_0 . При отсутствии входного сигнала или малой его величине транзистор T_1 закрыт, а T_2 открыт. При подаче на вход T_1 достаточно большого отрицательного сигнала $U_{сраб}$ транзистор T_1 начнет открываться, что приведет к уменьшению напряжения на его коллекторе. Транзистор T_2 при этом начнет запирается, причем уменьшение его коллекторного тока вызовет уменьшение падения напряжения на сопротивлении R_0 . Это приведет к уменьшению потенциала эмиттера T_1 , что, в свою очередь, (из-за увеличения напряжения между базой и эмиттером) еще более его откроет. Процесс будет развиваться лавинообразно, и очень скоро T_1 окажется полностью открытым, а T_2 полностью закрытым. Таким образом, выходное напряжение триггера $U_{вых}$ скачкообразно увеличится. При дальнейшем увеличении $U_{вх}$ состояние триггера не изменится.

При уменьшении входного напряжения до величины $U_{отп}$ транзистор T_1 начнет закрываться и процесс будет развиваться в обратную сторону, пока триггер не придет в исходное состояние. Ускоряющее действие положительной обратной связи приводит к тому, что $U_{отп} \neq U_{сраб}$. Таким образом, триггер Шмитта

имеет релейную статическую характеристику, что позволяет использовать его в качестве бесконтактного реле.

Генератор прямоугольных электрических колебаний (мультивибратор) построен на операционном усилителе ОУ (рис. 41, б). Положительная обратная связь осуществляется здесь через резистор $R3$, а отрицательная — через переменные сопротивления $R1$ и $R2$ и диоды $D1$ и $D2$.

После включения схемы $U_{\text{вых}}=0$, однако наличие в составе выходного сигнала электрических шумов (небольших хаотических изменений $U_{\text{вых}}$), присущее любой электрической схеме, вызовет небольшие колебания $U_{\text{вых}}$ относительно нулевого значения. Предположим, что в первый момент (τ_0) $U_{\text{вых}}$ приняло некоторое положительное значение.

Тогда действие положительной обратной связи приведет к тому, что положительный потенциал на выходе начнет лавинообразно увеличиваться и скоро дойдет до момента ограничения ($U_{\text{вых}} \approx +E_n$).

Отрицательная обратная связь в начальный момент не работает, так как конденсатор C не заряжен и шунтирует инвертирующий вход операционного усилителя. Однако при появлении на выходе положительного потенциала конденсатор C начнет заряжаться через диод $D1$ и сопротивление $R1$. По мере заряда конденсатора сигнал отрицательной обратной связи увеличивается, и в момент времени τ_1 действие отрицательной обратной связи пересилит действие положительной. В результате $U_{\text{вых}}$ уменьшится, что вызовет уменьшение сигнала положительной обратной связи и лавинообразное изменение $U_{\text{вых}}$ до значения, близкого к $-E_n$. Диод $D1$ закроется, откроется диод $D2$, и конденсатор C через сопротивление $R2$ начнет разряжаться, а затем заряжаться напряжением обратной полярности. В момент времени τ_2 действие отрицательной обратной связи снова пересилит действие положительной и $U_{\text{вых}}$ снова увеличится до значения $+E_n$. Таким образом, схема будет генерировать последовательность прямоугольных импульсов, причем длительность импульсов можно регулировать изменением сопротивления $R1$, а длительность пауз между импульсами — сопротивлением $R2$.

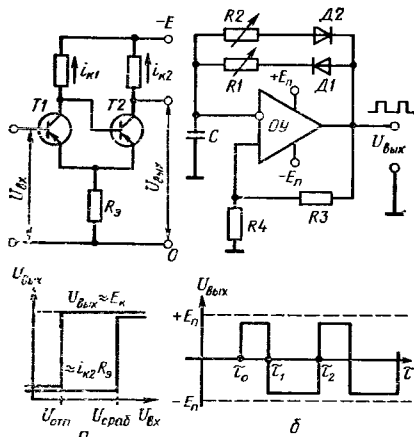


Рис. 41. Схемы с применением положительной обратной связи:

а — триггер с эмиттерной связью (триггер Шmitta); б — генератор прямоугольных электрических колебаний (мультивибратор)

§ 11. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕЛЕ

В электрических реле плавное изменение силы тока преобразуется в резкое изменение выходного параметра: замыкание и размыкание контактов или появление и исчезновение напряжения на выходных клеммах (бесконтактные реле).

Наиболее широкое применение в схемах автоматики получили электромагнитные реле (нейтральные и поляризованные).

При прохождении тока через катушку электромагнита подвижной якорь замыкает или размыкает одновременно несколько контактов. При этом выходная мощность (допустимая в цепи контактов) в десятки и сотни раз больше входной (необходимой для срабатывания реле).

Таким образом, реле не только преобразуют плавное изменение входного сигнала в двух- или трехпозиционное, но и усиливают его по мощности, а также дают размножение сигнала на несколько цепей.

Время срабатывания реле (т. е. промежуток с момента подачи тока до замыкания контактов) до 0,1 с (нормальные) или до 1 с (замедленные). В специальных реле времени время срабатывания более 1 с и обычно имеет регулировку на требуемое значение.

В программных реле времени замыкание и размыкание контактов происходят через определенные промежутки времени; причем периодичность включения и длительность включения обычно регулируются в широких пределах.

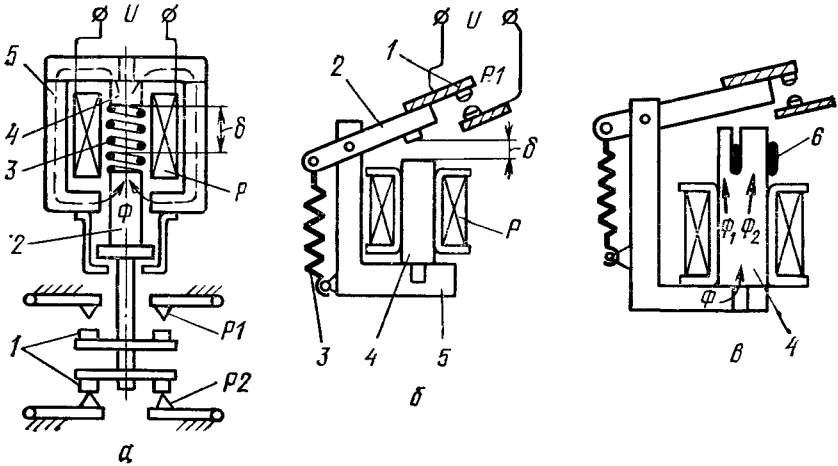


Рис. 42. Электромагнитные реле:

а — постоянного тока с втягивающимся якорем; *б* — то же, с поворотным якорем; *в* — переменного тока; 1 — подвижные контакты; 2 — якорь; 3 — пружина; 4 — сердечник; 5 — ярмо; 6 — короткозамкнутый виток

Электромагнитные реле

Нейтральные реле. В этих реле независимо от направления тока в катушке электромагнита P (рис. 42, *a*) возникающий магнитный поток Φ (показан пунктиром) стремится притянуть якорь 2 с подвижным контактом 1 к неподвижному сердечнику 4 . При этом замыкающий контакт реле $P1$ (нормально открытый — н.о.) замкнется, а размыкающий $P2$ (нормально закрытый — н.з.) разомкнется. При снятии напряжения под действием пружины 3 якорь повернется относительно ярма 5 и переключит контакты.

Аналогично работает и реле постоянного тока с поворотным якорем (рис. 42, *б*). С приближением якоря к сердечнику воздушный зазор δ уменьшается и магнитный поток нарастает. Поэтому сила притяжения якоря к сердечнику растет.

В реле переменного тока независимо от направления тока якорь притягивается к сердечнику. Однако, когда синусоидальный ток проходит через нулевое значение, магнитный поток тоже равен нулю и под действием пружины якорь отходит от сердечника. Возникает дребезжание реле. Во избежание этого в сердечнике 4 (рис. 42, *в*) предусматривают короткозамкнутый медный виток 6 . Благодаря ему часть раздвоенного потока Φ_2 отстает по фазе от потока Φ_1 и суммарный магнитный поток Φ не принимает нулевого значения.

Поляризованные реле. Эти реле (рис. 43) чувствительны к изменению направления тока на входе. Это достигается введением в цепь магнитопровода постоянного магнита 1 . Магнитный поток его Φ_0 раздваивается на Φ_1 и Φ_2 . Поток Φ_1 складывается с потоком, который создает ток управления Φ_y , а потоки Φ_2 и Φ_y имеют разные знаки. Благодаря этому в левом кольце магнитный поток больше, чем в правом, и якорь 3 , преодолевая сопротивление пружины 5 , притягивается к левой части сердечника 2 и замыкает контакт 4 . При изменении направления тока в обмотках управления якорь притягивается к правой части сердечника $2'$ и замыкает контакт $4'$. Пружина 5 и $5'$ удерживают якорь в нейтральном положении при отсутствии тока на входе, т. е. реле становится трехпозиционным.

При отсутствии пружин прекращение тока на входе оставило бы замкнутым тот контакт, который был замкнут, т. е. реле имело бы только два положения и было бы двухпозиционным.

Иногда один из контактов смещают за нейтральную ось в сторо-

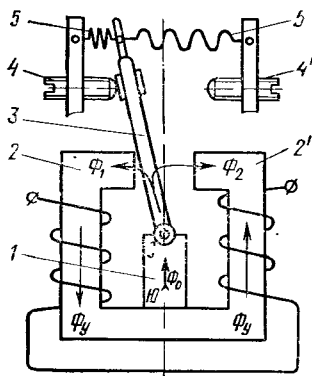


Рис. 43. Поляризованное реле

ну другого контакта (настройка контактов с «преобладанием»). Тогда при отсутствии тока замкнут всегда только один контакт.

Реле времени

Задержка по времени в переключении выходных контактов реле может происходить как после подачи сигнала на вход, так и после снятия сигнала в зависимости от исполнения реле времени. В программных реле сигнал на вход подается непрерывно, а переключения контактов определяется заданной программой. По принципу действия различают пневматические реле времени, тепловые, электронные, электромеханические и др.

Пневматические реле времени. В этих реле задержка времени при срабатывании определяется временем перетекания воздуха. В реле типа РВП (рис. 44, а) при подаче напряжения на катушку 2 сердечник 3 мгновенно втягивается, сжимая пружину 11. При этом выступ 1, нажимая на поворотный рычаг, размыкает контакт РВ-1 и замыкает РВ-2, т. е. контакты РВ-1 и РВ-2 срабатывают мгновенно, как у обычного промежуточного реле. Переключения контактов РВ-3 и РВ-4 происходят не сразу. При перемещении пластины 10 вниз под действием пружины 9 мембрана 6 прогибается, создавая в камере 4 разрежение, препятствующее перемещению мембраны. Постепенно через малое регулируемое отверстие 7 в камеру 4 входит воздух, и пластина 10, опускаясь, освобождает рычаг переключения контактов РВ-3 и РВ-4. При снятии напряжения обмотки под дейст-

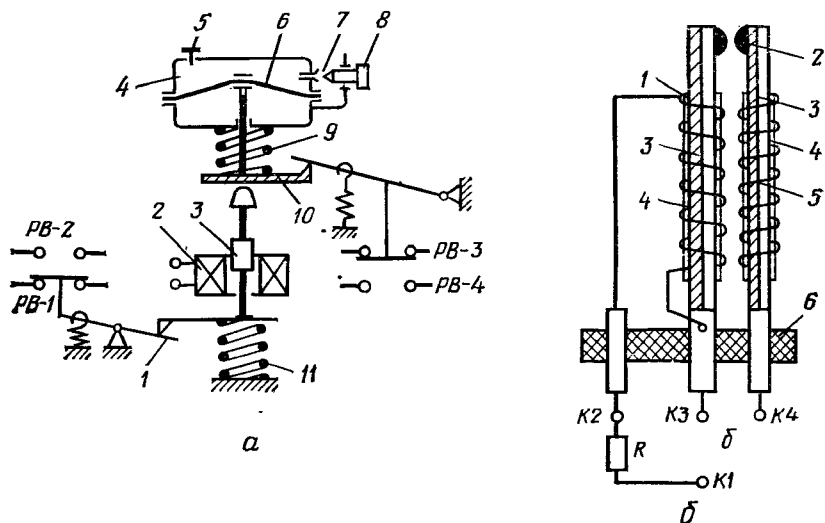


Рис. 44. Реле времени:

а — пневматическое; б — тепловое

вием пружины *11* сердечник отжимает мембрану *6* вверх и воздух из полости *4* быстро выходит через нагнетательный клапан *5*. Выдержка времени регулируется винтом *8* (который изменяет площадь дроссельного отверстия *7*) в широких пределах (от 0,4 до 180 с). Реле типа РВП выпускают на напряжения 12, 24, 36, 127, 220 и 380 В.

Тепловое реле времени типа **ТРВ-1ВМ**. При подаче напряжения на клеммы *К1* и *К3* (рис. 44, б) ток проходит по спирали *1*, которая через слой изоляции *4* намотана на биметаллическую пластину *3*. При нагревании биметаллическая пластина *3* (левая) прогибается, замыкая контакт *2* в выходной цепи (клеммы *К3* и *К4*). Для компенсации температурных погрешностей правая пластина *3* также выполнена из биметалла. Поэтому при повышении температуры окружающей среды прогибаются обе пластины и расстояние между контактами *2* не изменяется. Чтобы обе пластины имели одинаковую жесткость, на правую пластину *3* намотана ложная спираль *5* (ток через нее не проходит).

Время нагревания пластины (выдержка времени) зависит от силы тока в спирали *1* и определяется сопротивлением *R*. Например, при $R=1$ кОм выдержка времени 15 с, при 2 кОм — 30 с. Допустимый ток через контакты *2* не более 0,5 А; питающее напряжение 220 В.

Многоцепное моторное реле времени **ВС-10**. В электромеханических реле времени входное напряжение включает микродвигатель, который, вращая диски с кулачками, поочередно замыкает выходные контакты. Каждый контакт имеет установку выдержки времени. В зависимости от исполнения реле времени ВС-10 может иметь 3 или 6 выходных контактов с выдержкой времени от 2 с до 24 ч. Входное напряжение 12, 127 и 220 В.

Электронное реле времени. В электронных реле выдержка времени достигается введением конденсатора, на котором накапливается электрический заряд прежде, чем попасть на управляемый вход электронной лампы или транзистора. Для примера рассмотрим два реле времени, примененные в пультах управления компрессорами.

Реле времени в пульте УК-74 (рис. 45, а) собрано на тиристоне МТХ90 (Л19)*. Реле управления РУ одновременно с компрессором включает и реле времени. По цепи «+», РУ, R8, R10, С5, «—» заряжается конденсатор. Когда положительный потенциал на конденсаторе С5 и на сетке Л19 достигнет определенной величины, тириatron Л19 отойдет и сработает реле РВ. Контакт РВ обеспечит самопитание катушке РВ и разрядку конденсатора С5 по цепи R13, Д20, РВ, «—». Тириatron погаснет.

* Нумерация элементов на рис. 45 соответствует заводским инструкциям на пульты.

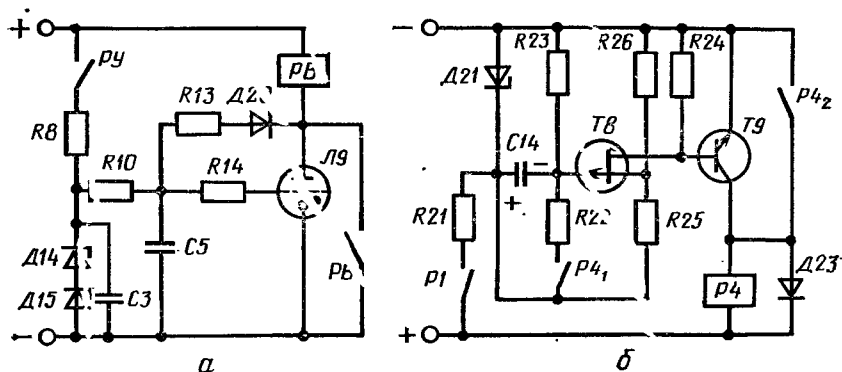


Рис. 45. Схемы электронных реле времени:
 а — в пульте УК-74; б — в пульте А80

Цепочка $R8$, $D14$, $D15$, $C3$ образует стабилизатор напряжения ($C3$ — устраняет высокочастотные колебания на входе). Время срабатывания определяется емкостью конденсатора $C5$ и величиной сопротивления $R10$. Сопротивление $R14$ ограничивает сеточный ток.

Реле времени в пульте А80 (рис. 45, б) собрано на полевом транзисторе $T8$ и транзисторе $T9$. Полевой транзистор отличается от обычного (биполярного) очень высоким входным сопротивлением, что позволяет увеличить время задержки срабатывания при сравнительно малой емкости конденсатора $C14$. Реле $P1$, включая компрессор, одновременно дает питание в схему реле времени. Через $R23$ отрицательный заряд накапливается на конденсаторе $C14$ и отпирает транзистор $T8$. Положительный заряд через $R25$ и $T8$ попадает на базу транзистора $T9$ и отпирает его. Срабатывает выходное реле $P4$. Контакт $P4_2$ обеспечивает самопитание катушке $P4$, а контакт $P4_1$ через $R22$ разряжает конденсатор. Стабилитрон $D21$ стабилизирует питающее напряжение. Диод $D23$ шунтирует катушку реле $P4$, уменьшая искрение контактов при их разрыве и защищая транзистор $T9$ от больших положительных потенциалов в пусковых режимах.

Программные реле времени

Большинство программных реле времени имеют синхронный двигатель, который через редуктор медленно вращает выходной вал с кулачковым механизмом. Кулачки через заданные промежутки времени размыкают и замыкают контакты в одной или нескольких цепях. К этому классу реле относятся синхронные импульсные прерыватели (СИП); рассмотренное выше реле времени ВС-10, если двигатель его включен на непрерывную работу, и др.

Рассмотрим программное электромеханическое реле времени типа РВТ-8/12/24 (рис. 46), предназначенное для автоматического оттаивания испарителей торгового холодильного оборудования.

Выходной вал 8 за сутки совершает один оборот. На вал насажен кулачковый механизм, состоящий из трех дисков (1, 2 и 3). Диски собирают так, чтобы была одна, две или три общие впадины. При вращении кулачка рычаг 5 периодически попадает во впадину, освобождая кнопку микропереключателя 6. Средний диск 2 в зависимости от установки может перекрывать одну, две или три впадины. Когда открыты три впадины (А, В и Г), микропереключатель включается через каждые 8 ч; при открытых впадинах А и В — через 12 ч и при одной впадине А — через 24 ч. Соответствующее положение дисков фиксируется винтом 7.

Продолжительность оттаивания определяется длиной впадины, которая регулируется установкой нижнего диска 3, фиксируемого винтом 4. Перекрывая на нужную длину одновременно все впадины, можно установить время оттаивания от 0 до 120 мин. Программное реле времени РВТ-8/12/24 может комплектоваться (по заказу) датчиком температуры типа ДТ «+», который может прекратить оттаивание, когда температура испарителя достигнет 3—7°C (т. е. иней стает раньше, чем рычаг 5 выйдет из впадины). Кроме того, такие реле времени могут поставляться с датчиками ДТ «А» для отключения электро-

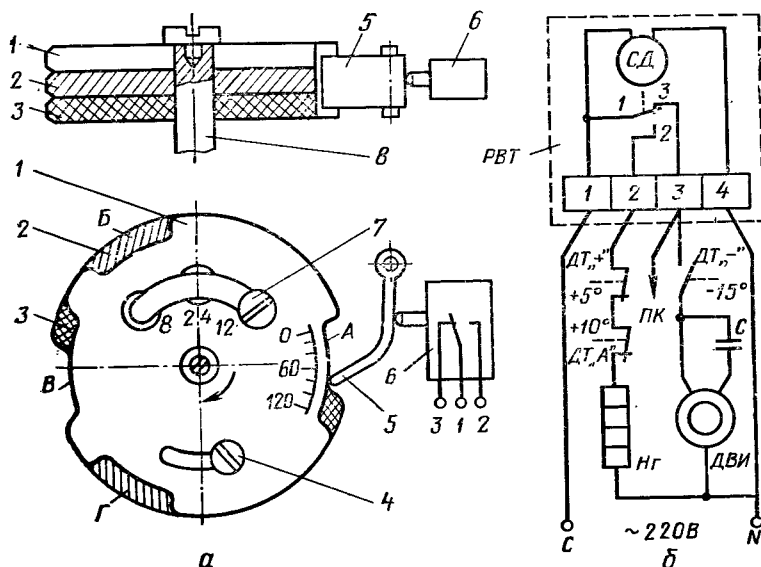


Рис. 46. Программное реле времени — температуры РВТ-8/12/24:
а — кулачковый механизм; б — электросхема включения

нагревателя при 10°C (если он не отключился датчиком $ДТ$ «+» или микровыключателем) и датчиками $ДТ$ «-» для включения вентилятора испарителя при достижении температуры -15°C и остановки его при $t_0 > -6^{\circ}\text{C}$.

Схема включения PBT с датчиками температуры при оттаивании испарителя электронагревателем H_2 показана на рис. 46, б. При переключении контакта PBT с 1—3 на 1—2 отключаются компрессор (пускателем $ПК$) и двигатель вентилятора ДВИ и включается нагреватель H_2 .

§ 12. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

В исполнительных механизмах энергия давления газа, жидкости, а также электрическая энергия преобразуются в силу, необходимую для перемещения основного регулирующего органа.

Пневматические исполнительные механизмы

Для преобразования энергии давления применяют исполнительные механизмы поршневого и мембранного типов. Их часто komponуют непосредственно с регулирующим органом (клапаном).

Исполнительный механизм поршневого типа. Этот механизм (рис. 47, а) состоит из корпуса вентиля 9, проходное сечение которого закрывается клапаном 2 под действием пружины 10. Крышка 1 служит направляющей для перемещения клапана. В верхнюю часть вентиля вставлена гильза 7, прижатая крышкой 5, в которой перемещается поршень 3. Винт 6 служит для принудительного открытия клапана.

При поступлении пара или газа по трубке А (управляющее воздействие) давление над поршнем растет, пока расход пара через отверстие 4 в днище поршня не станет равным поступлению пара. Это установившееся давление через шток 8 сжимает пружину 10 до тех пор, пока она не уравнивает силу давления. Чем больше давление А, тем больше открывается клапан.

Управляющее давление А может подаваться через регулирующей вентиль или автоматическим регулятором (пилотный вентиль) с отбором давления со стороны входа Б, или из другого сосуда с давлением выше, чем после клапана. В качестве пилотного можно использовать регуляторы прямого действия: давления, температуры, уровня, ТРВ и др. При этом если пилот двухпозиционного действия, то и клапан имеет только два устойчивых положения (открыт — закрыт). В зависимости от исполнения повышение давления над поршнем может открывать или закрывать клапан.

Конструкции поршневых ИМ могут быть самые разнообразные (см., например, рис. 37, 49, 58, 59, 82 и др.).

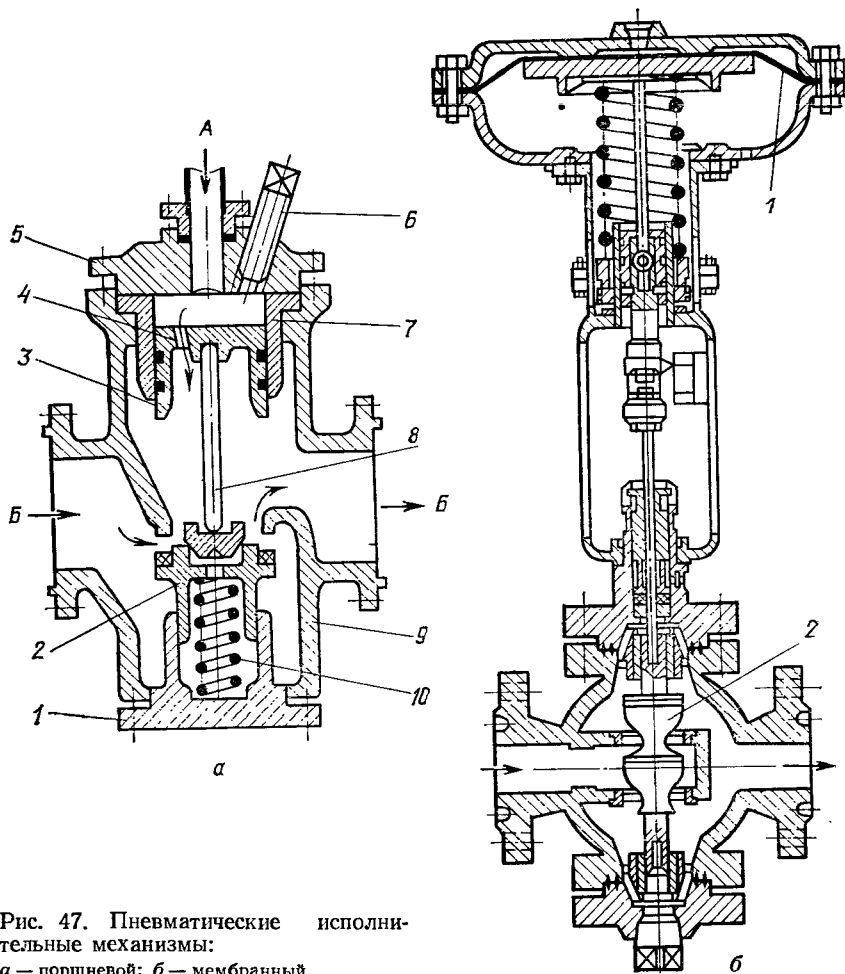


Рис. 47. Пневматические исполнительные механизмы:
 а — поршневой; б — мембранный

Мембранный исполнительный механизм (МИМ). Мембранный пневматический ИМ (рис. 47, б) в отличие от поршневого чувствительным элементом имеет гибкую резиновую мембрану 1. С повышением давления на мембрану она прогибается вниз, и, сжимая пружину, передает усилие клапану 2. В зависимости от исполнения клапан при этом может закрываться или открываться. Для больших проходных сечений с целью разгрузки клапан делают двухседельным.

Начало открытия клапана при $p_{нзб} = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а полное открытие при $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Дробная цифра в марке механизмов МИМ-200/16; 250/25; 320/40 и 400/60 указывает условный проход и ход штока (в мм).

Давление на мембрану может подаваться непосредственно из сосуда, где регулируется давление, или через пилотный вентиль, который в зависимости от изменения регулируемого параметра увеличивает подачу высокого давления на мембрану. Так как отверстия в мембране нет, должен быть предусмотрен наружный дроссель, выпускающий давление из надмембранной полости при уменьшении подачи высокого давления на мембрану.

Электромагнитные (соленоидные) вентили

Соленоидные вентили могут быть запорные, у которых при подаче напряжения на катушку электромагнита клапан открывается или закрывается, или переключающие. Последние служат для изменения направления потока жидкости или газа.

По принципу действия различают соленоидные вентили прямого действия, у которых клапан перемещается только под действием силы электромагнита, и непрямого действия, у которых для открытия и закрытия клапана используется энергия протекающей жидкости или газа (разность давлений до и после клапана). Могут быть вентили и комбинированного действия. В них используют как силу электромагнита, так и давление рабочей среды. Соленоидные вентили непрямого действия по конструкции бывают поршневого или мембранного типа. Последние оказались более надежными.

Запорные электромагнитные вентили. Наиболее просты по конструкции соленоидные вентили прямого действия (рис. 48, а). Сердечник 2 с клапаном 1, закрывающим проходное сечение, расположен внутри трубки 6 из немагнитной стали, на которую надета катушка электромагнита 4, сверху закрытая легким кожухом 5. При подаче напряжения катушка электромагнита 4, преодолевая силу разности давлений жидкости и силу упругости пружины 3, втягивает сердечник 2, который перемещается вверх. Клапан 1 из специальных сортов резины, впрессованный в сердечник, отрываясь от седла, открывает проход жидкости. При снятии напряжения пружина 3 сажает клапан на седло; давление жидкости на клапан обеспечивает плотное закрытие. Эти вентили выпускаются с диаметром условного прохода 6—10 мм. При больших диаметрах возрастает сила давления жидкости на клапан и требуются электромагниты большой мощности.

В соленоидных вентилях непрямого действия типа СВМ-25, СВМ-40 (рис. 48, б) поступающая на вход (в полость А) жидкость проходит через отверстие щелевого фильтра 2 и по продольному срезу 3 в направляющей крышки 6 поступает в надмембранную полость Б. При отсутствии напряжения разгрузочный клапан 5 закрыт и жидкость не может выйти из полости Б. Давление жидкости на мембрану 8 (в полости Б) становится равным давлению под мембрану. Под действием сжатой

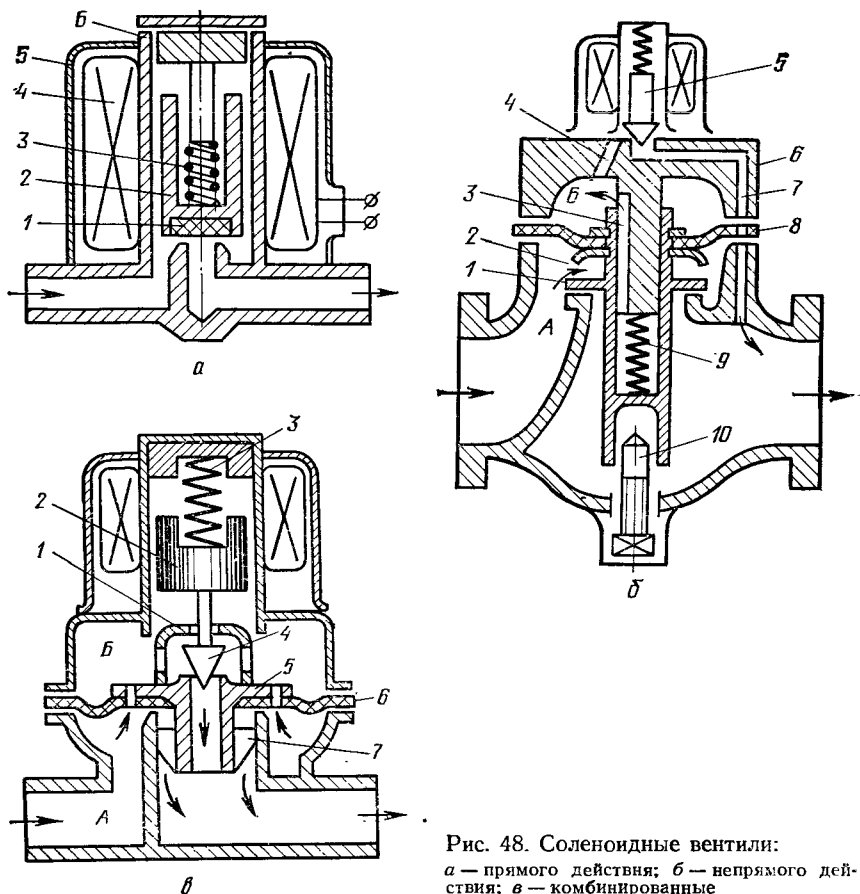


Рис. 48. Соленоидные вентили:
а — прямого действия; *б* — непрямого действия; *в* — комбинированные

пружины 9 клапан 1 опускается вниз и закрывает основной проход.

При подаче напряжения разгрузочный клапан 5 открывает отверстие в крышке 6 и жидкость из надмембранной полости Б через отверстия 4 и 7 сливается. Тогда сила давления жидкости А под мембрану 8 оказывается больше силы пружины 9, стремящейся закрыть основной клапан 1, и клапан открывается. Винт 10 служит не только для принудительного открытия клапана, но и для направления движения основного клапана 1. Давление на входе должно быть не менее $1 \cdot 10^5$ Па (избыточное).

В соленоидных вентилях комбинированного действия (рис. 48, в) при подаче напряжения катушка электромагнита втягивает сердечник 2 (вверх) с разгрузочным клапаном 4. Жидкость (или газ) уходит из надмембранной полости Б, не препятствуя открытию основного клапана 5, который поднимается

силой электромагнита (после того, как разгрузочный клапан 4 упрется в заплешико 1), и силой давления жидкости в полости А под мембрану. При отсутствии напряжения якорь 2 под действием своего веса и пружины 3 закрывает разгрузочный клапан 4 и через него — основной клапан. Жидкость, поступающая через отверстие в мембране 6 в полость В, обеспечивает дополнительное усилие для закрытия клапана 5, так как площадь давления над мембраной (в полости В) больше, чем под мембраной (в полости А). Перья 7 служат для направления движения клапана 5. Эти вентили выпускаются для жидкости (с индексом Ж) и для газа (Г). Могут иметь винт для принудительного открытия.

Соленоидные вентили устанавливаются на горизонтальном участке трубопровода в строго вертикальном положении. Перед СВ ставят фильтр, который необходимо периодически очищать. При монтаже оставляют место для удобного снятия катушки и для поворота винта принудительного открытия. Направление жидкости должно соответствовать стрелке на корпусе СВ. В соленоидных вентилях (в отличие от ручных) жидкость подается «на клапан». Перед монтажом целесообразно проверить работу СВ на стенде путем периодической подачи напряжения как при минимальном, так и при максимальном перепаде давлений.

Переключающие электромагнитные вентили. Такие вентили применяются в малых холодильных машинах и автономных кондиционерах для переключения холодильной машины в режим теплового насоса. Это позволяет использовать холодильную машину для обогрева помещения в холодное время года и периодически оттаивать испаритель. Поэтому их называют автоматическими переключателями режимов (АПР).

При переключении режима вентиль направляет сжатый в компрессоре горячий пар не в конденсатор, а в испаритель, а компрессор начинает отсасывать пары не из испарителя, а из конденсатора.

Рассмотрим подробнее принцип действия АПР (рис. 49). АПР имеет электромагнит 11 (перемещает управляющий клапан 8), поршень 13, связанный с основным клапаном 4, и самодействующие клапаны 1 и 2 на общем штоке. На схеме показано положение АПР при обычном режиме: сжатый пар через полости Г и В нагнетается в конденсатор, а отвод пара из испарителя идет через полость Б в компрессор. В полостях Б, А, Д и Е — давление всасывания; в полостях В и Г — давление нагнетания. Клапан 2 разностью давлений $p_B - p_B$ прижат влево, а клапан 4 — вправо. При подаче напряжения на катушку электромагнита 11 сердечник, сжимая пружину 10, перемещает поджимаемый пружиной 7 управляющий клапан 8 вправо. Трубка 9 закрывается, а трубка 6 открывается, и давление нагнетания по трубке 12 подается на поршень 13. Шток 5 начинает сжимать пружину 3, и при определенном усилии ос-

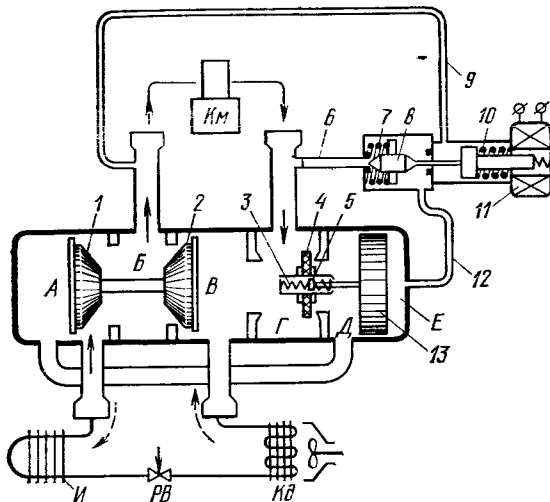


Рис. 49. Автоматический переключатель режимов АПР

новной клапан оторвется от седла. Освободившись от воздействия разности давлений $p_{г}-p_{д}$, клапан 4 под действием сжатой пружины 3 резко переместится влево и перекроет полость В. Сжатый пар попадет в полость Д и далее по обводной трубе в полость А. Зазор между клапаном 1 и цилиндрическим корпусом небольшой, поэтому давление сжатия p_A возрастает и становится больше давления конденсации p_B . За счет разности давлений p_A-p_B клапаны 1 и 2 перемещаются вправо и сжатый пар из полости А пойдет в испаритель, а пар из конденсатора через полости В и Б будет отсасываться компрессором (этот режим показан пунктирными стрелками).

Автоматические переключатели АПР-15, АПР-25 и АПР-32 (цифра указывает диаметр условного прохода на линии всасывания в мм) предназначены для работы на R12 и R22. Разность между давлением нагнетания и всасывания, обеспечивающая переключение клапана, должна быть не менее $2,5 \cdot 10^5$ Па. Напряжение 220 В.

Электромоторные вентили

Для крупных холодильных установок и для систем кондиционирования воздуха заводы поставляют запорные вентили и задвижки комплектно с электроприводом, который имеет редуктор, снижающий частоту вращения выходного вала и увеличивающий крутящий момент.

Выпускают однооборотные двигатели (типа МЭО, МЭК) и многооборотные (МЭМ). Выходной вал у них может иметь

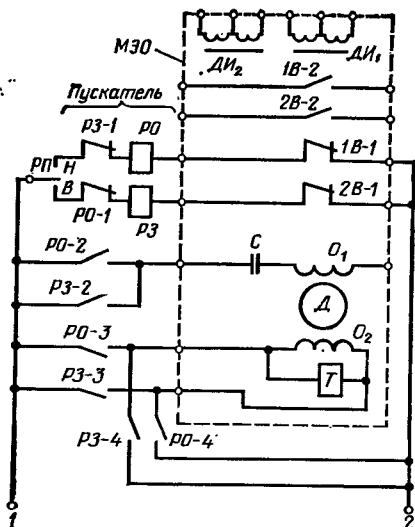


Рис. 50. Электрическая схема включения исполнительного механизма МЗО

Концевые выключатели двигателей служат для отключения их в крайних положениях клапана и для подключения другого двигателя после полного открытия вентиля первым двигателем.

Рассмотрим принцип действия двигателя типа МЗО (рис. 50). Он имеет две параллельные обмотки, одна из которых для сдвига фаз включена последовательно с конденсатором. Реверсивное вращение создается переключением фаз, питающих вторую обмотку. Для резкой остановки после отключения питания двигатель имеет электромагнитный тормоз. При включении электромагнит освобождает тормоз. Концевые выключатели 1В и 2В имеют переключающие контакты.

Для реверсивного пуска использованы два промежуточных реле: РО — для открытия клапана и РЗ — для закрытия. При снижении регулируемого параметра регулирующей прибор РП замыкает контакт Н и включает реле РО, которое контактом РО-2 дает питание обмотке O_1 двигателя (через конденсатор С), а контактами РО-3 и РО-4 подключает обмотку O_2 и электромагнит тормоза Т к фазам 1 и 2. При этом контакт РО-1 обрывает цепь реле РЗ во избежание одновременного включения РО и РЗ, что привело бы к короткому замыканию (по цепи: фаза 1, РО-3, РЗ-4, фаза 2 или РЗ-3, РО-4).

Если параметр находится в заданных пределах (разомкнуты контакты Н и В реле РП), двигатель стоит. При замыкании контакта В включается реле закрытия РЗ, направление тока через обмотку O_2 меняется и двигатель вращается в обратную

устройство для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное.

Двигатели комплектуют реверсивными пускателями, которые обеспечивают изменение направления вращения изменением фаз на обмотках. Все шире внедряются бесконтактные пускатели. Выходные клеммы у них подключены непосредственно к обмоткам двигателя. Появление напряжения на одних клеммах и исчезновение на других также обеспечивают реверс переменной фаз.

Электродвигатели имеют реостат обратной связи, позволяющий осуществить пропорциональное регулирование, следующую схему и дистанционное указание положения вала.

сторону. Контакты концевых выключателей *1В-1* и *2В-1* отключают реле *РО* и *РЗ* и останавливают двигатель в крайних положениях вала. Индуктивные датчики *ДИ₁* и *ДИ₂* позволяют передать во внешние цепи сигнал положения регулирующего органа и могут быть использованы для обратной связи при пропорциональном регулировании. Вторые контакты концевых выключателей *1В-2* и *2В-2* также могут быть использованы во внешней цепи (например, для подключения второго двигателя, когда данный двигатель полностью открыл задвижку).

У двигателей МЭО-4 и МЭО-10 время одного оборота 40 или 100 с (по заказу). Цифры 4 и 10 указывают номинальный момент двигателя на выходном валу (в кгс·м). Напряжение 220 В. У двигателей МЭК-10 К время одного оборота 120 или 360 с; у МЭК-25 К 40 или 120 с.

Для бесконтактного управления выпускают двигатели БИМ-2,5/120 и БИМ-25/100 (в знаменателе время 1 оборота).

У многооборотных двигателей (МЭМ-4, МЭМ-10) полный ход выходного вала равен 10; 25 или 63 об. Время полного хода — 25, 63, 160 или 400 с. Напряжение 220/380 В.

Более мощные электроприводы кроме концевых выключателей имеют одностороннюю или двустороннюю муфту крутящего момента, которая отключает двигатель, когда усилие открытия или закрытия клапана превышает определенную величину. Схема включения двигателя МЭМ с бесконтактным пускателем ПБР-3 приведена в гл. 10 (см. рис. 138).

§ 13. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

Всякое отклонение регулируемого параметра, вызванное внешним воздействием на объект, можно компенсировать подводом в объект вещества или энергии, т. е. регулирующим воздействием. Регулирующие органы являются как бы переменными сопротивлениями на линии регулирующего воздействия.

Регулирующие органы *РО* могут быть включены в линию последовательно (рис. 51, а) или параллельно (рис. 51, б). Открытие *РО* при последовательном включении увеличивает регулирующее воздействие, при параллельном приводит к тому, что поток жидкости, газа (или энергии) уходит в обводной канал, а подача в объект через постоянное сопротивление уменьшается.

Перемещение регулирующего органа может быть плавным или позиционным. При плавном регулировании он может занять любое промежуточное положение между полным открытием и закрытием, при позиционном — только несколько строго фиксированных положений, в частности при двухпозиционном — два положения: «Открыто» или «Закрыто».

Если регулирующее воздействие представляет собой электрический ток (например, нагрев помещения электроспиралью), то регулирующим органом может служить реостат (плавное регулирование) или электрические контакты выключателя

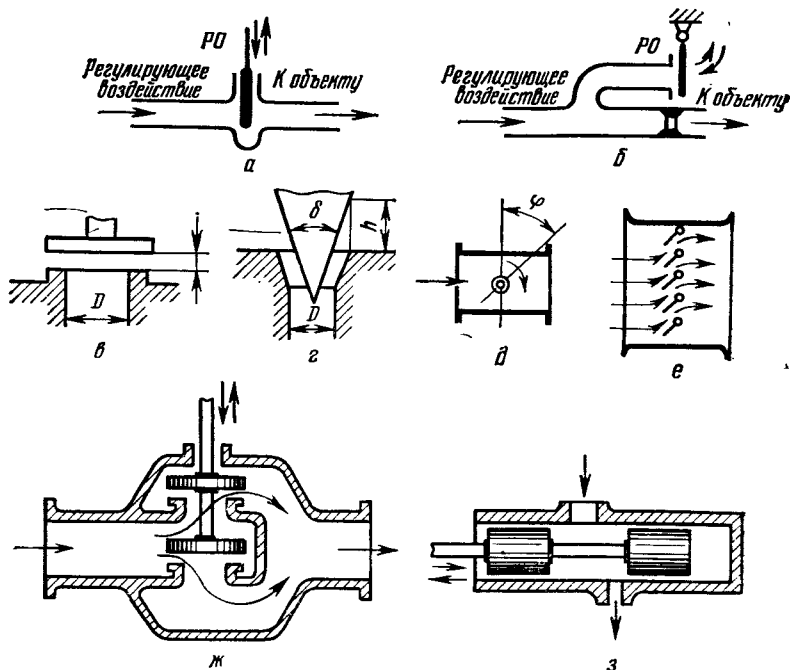


Рис. 51. Схема включения и конструкции регулирующих органов:
а — последовательное; *б* — параллельное; типы конструкций; *в* — тарельчатый клапан; *г* — конический клапан; *д* — заслонка; *е* — створчатые заслонки (жалюзи);
ж — разгрузочный тарельчатый клапан; *з* — разгрузочный золотниковый клапан

(позиционное). Здесь мы рассмотрим особенности регулирующих органов, осуществляющих изменение подачи в объект жидкости или газа (их можно рассматривать как элементы, преобразующие механическое перемещение в изменение расхода).

Расход жидкости или газа через отверстие (в кг/с)

$$M = \epsilon \alpha f \sqrt{2\rho \Delta p},$$

где ϵ — поправка на уменьшение плотности при расширении в отверстии: для жидкостей $\epsilon = 1$, для газов при $\Delta p/p_1 > 0,52$ значение $\epsilon \approx 0,75$; при $\Delta p/p_1 < 0,52$ значение $\epsilon = 1 - 0,46 \Delta p/p_1$; α — коэффициент расхода (коэффициент местного сопротивления); в регулирующих ventилях для R12 принимают $\alpha \approx 0,6$; для аммиака $\alpha \approx 0,35$; f — площадь проходного отверстия, м²; ρ — плотность газа или жидкости перед отверстием, кг/м³; Δp — разность давлений до и после отверстия; $\Delta p = p_1 - p_2$, Па.

Регулируемая площадь проходного сечения f определяется перемещением клапана (высотой подъема h). В зависимости от конструкции высота подъема по разному влияет на проходное сечение f . Для тарельчатого клапана (рис. 51, *в*) $f = \pi Dh$. Максимальная высота подъема, при которой площадь кольцевого отверстия становится равной площади канала ($\pi D^2/4$), составляет $1/4 D$.

Слишком высокая чувствительность этих клапанов не позволяет осуществить тонкую регулировку. Для более плавного регулирования применяют конические клапаны (рис. 51, *з*). Чувствительность их (увеличение площади проходного сечения на единицу перемещения клапана) значительно меньше, чем у тарельчатых:

$$f = \pi (D - 0,5h \sin \delta) h \sin (\delta/2).$$

Поворотные заслонки (рис. 51, *д*) очень просты в изготовлении, но они не обеспечивают плотного закрытия. Кроме того, при значительной разности давлений создается большое усилие, действующее на заслонку. Поэтому их применяют для регулирования расхода газа в каналах небольших диаметров. Площадь проходного сечения заслонки зависит от угла поворота:

$$f = f_0 (1 - \cos \varphi),$$

где f_0 — полное проходное сечение при открытой заслонке.

При больших площадях проходного сечения применяют створчатые заслонки — жалюзи (рис. 51, *е*). Они уменьшают пропорционально числу лопастей вращающий момент силы давления, стремящийся закрыть заслонку.

Золотниковый клапан (рис. 51, *з*) при движении открывает отверстие, вырезанное в стенке цилиндра. Различные конфигурации отверстия позволяют осуществить требуемую зависимость между проходным сечением и перемещением поршня.

При большом перепаде давлений и больших проходных сечениях применяют разгрузочные клапаны (рис. 51, *ж, з*). Давление на входе у них не влияет на усилие, требуемое для перемещения клапана.

Глава 3

ПРИБОРЫ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ

§ 14. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ. МАНОМЕТРЫ

Элементы преобразования давления. Изменение давления обычно преобразуют в изменение высоты столба жидкости, перемещение упругих элементов, электрический потенциал и др.

В открытой U-образной трубке (рис. 52, *а*) уровень жидкости H показывает разность между давлением в сосуде p и атмосферным давлением p_a :

$$H = (p - p_a) / \rho g,$$

где ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения.

При постоянном давлении p_a изменение уровня ΔH пропорционально изменению давления Δp , т. е. $\Delta H = K \Delta p$, где коэф-

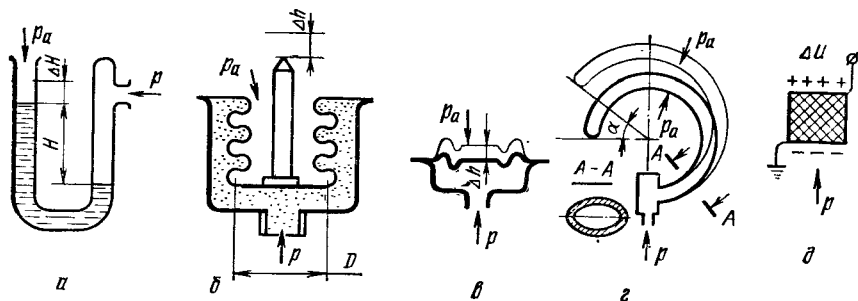


Рис. 52. Преобразователь изменения давления:

а — U-образная трубка; б — сильфон; в — мембрана; г — трубчатая пружина; д — пьезокристалл

эффициент $K=1/\rho g$. Если с левой стороны установить шкалу, то U-образная трубка превращается в жидкостный манометр.

Для измерения сравнительно больших давлений более компактны и удобны упругие элементы.

Сильфон (рис. 52, б) представляет собой гофрированную трубку, с одной стороны закрытую доньшком. Если $p_a \approx \text{const}$, перемещение доньшка $\Delta h = K\Delta p$, где K — коэффициент, который зависит от диаметра сильфона D , толщины стенки, числа гофров и упругости материала. Упругость сильфона ($1/K$) очень мала, поэтому небольшое изменение давления вызывает большие перемещения. Обычно сильфоны применяют в сочетании с пружинами, упругость которых в основном и уравнивает силу давления, равную произведению давления на площадь доньшка ($\pi D^2/4$).

Когда не требуется больших перемещений, применяют обычно гофрированные **мембраны** (рис. 52, в). Они компактней и дешевле сильфонов. Как и у сильфонов, $\Delta h = K\Delta p$, но значение K значительно меньше. Наряду с мембранами пропорционального действия применяют также двухпозиционные («хлопающие») мембраны. Они имеют выпуклую форму и при переходе через среднее положение резко меняют форму на вогнутую. Мембраны, как и сильфоны, изготавливают из сплавов цветных металлов (для фреонов) или из нержавеющей стали (для аммиака). Применяют мембраны из специальных сортов резины или синтетических материалов.

Трубчатая пружина (трубка Бурдона) представляет собой изогнутую по дуге тонкостенную трубку овального или эллиптического сечения (рис. 52, г). Один конец ее запаян, а в другой подается давление. С увеличением давления трубка разгибается, при этом угол поворота конца трубки $\Delta\alpha$ пропорционален изменению давления.

Все рассмотренные элементы воспринимают разность давлений ($p - p_a$). Если вместо атмосферного давления (например, в U-образную трубку) подавать давление из другого сосуда

(p_1), то элемент превращается в преобразователь разности давлений ($p - p_1$).

Пьезоэлектрический датчик (рис. 52, д) преобразует изменение давления в электрический заряд: на противоположных гранях специальных пьезокристаллов при сжатии их образуется разность потенциалов, пропорциональная изменению давления. Она может быть подана на вход усилителя для дальнейшего преобразования. Эти датчики служат для регистрации быстрых изменений давления. Статическое давление они не показывают, так как при установившемся давлении заряд постепенно уходит даже при большом сопротивлении на входе усилителя.

Манометры. Прибор для измерения давления — манометр — представляет собой компоновку преобразователя давления в перемещение с передаточным механизмом, стрелкой и шкалой.

В холодильной технике чаще всего применяют трубчато-пружинные манометры (рис. 53, а). Стрелка манометра показывает нуль, когда измеряемое давление равно атмосферному. При повышении давления трубка 1 разогнется и займет новое положение (показано пунктиром). Тяга 2 повернет зубчатый сектор 3 вокруг оси против часовой стрелки, а маленькая шестеренка 4 (трубка), на которой укреплена стрелка манометра, повернется по часовой стрелке, показывая давление по шкале. Для устранения свободного хода (люфта) в зубчатом зацеплении трубки с сектором имеется упругая спиральная пружинка 5 (волосок). Внутренний конец волоска крепится к оси трубки, а внешний — к неподвижной опоре.

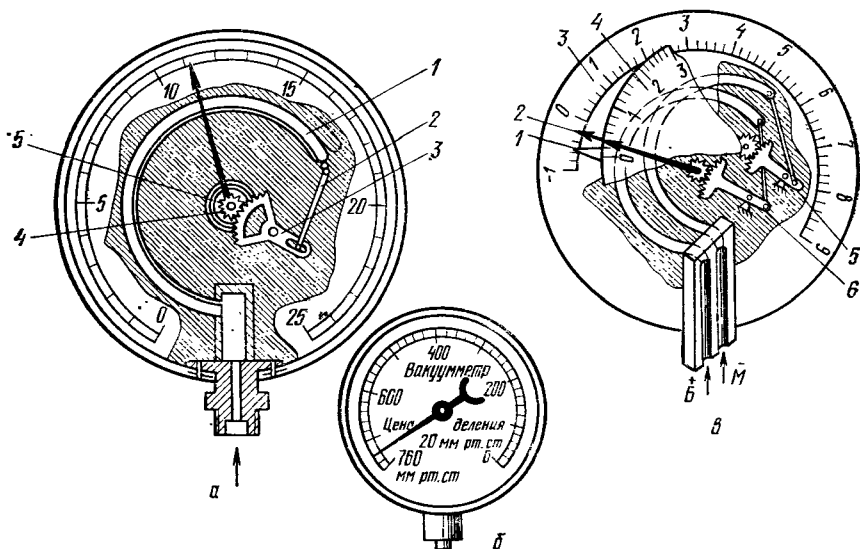


Рис. 53. Приборы для измерения давлений:

а — трубчато-пружинный манометр; б — вакуумметр; в — дифференциальный мановакуумметр

Манометр показывает разность между давлением в сосуде $p_{абс}$ (абсолютное) и давлением атмосферы p_a . Поэтому давление по манометру называют избыточным:

$$p_{изб} = p_{абс} - p_a.$$

Значение p_a определяется по барометру (прибор, измеряющий абсолютное давление). Зная p_a и $p_{изб}$ (по манометру), находим $p_{абс}$.

Если давление в сосуде $p_{абс}$ ниже атмосферного (его называют остаточным давлением), то разность $p_{абс} - p_a$ становится отрицательной (ее называют разрежением) и стрелка от нуля поворачивается влево. Манометры, имеющие шкалу влево от нуля, называются мановакуумметрами.

Для более точных измерений разрежения применяют вакуумметры (рис. 53, б). Остаточное давление при этом

$$p_{абс} = p_a - p_{изб},$$

где $p_{изб}$ — замеренное разрежение (влево от нуля).

Для измерения разности давлений в холодильных машинах выпускают манометры дифференциальные двухстрелочные (типа МДП4-СМ-Т). Бóльшее давление B (рис. 53, в) через трубчатую пружину, тягу и сектор $б$ поворачивает стрелку 2 . Меньшее давление M через свою трубчатую пружину и сектор 5 вращает подвижную шкалу 4 , которая, как и стрелка 2 , своим указателем 1 показывает давление по неподвижной шкале 3 . Разность давления $B - M$ читается на подвижной шкале по отклонению стрелки 2 от указателя 1 . Эти манометры удобны, например, для определения разности давлений в масляной системе и паров аммиака или фреона в картере компрессора.

Некоторые марки наиболее употребительных в холодильной технике манометров и мановакуумметров указаны в табл. 1.

Класс точности этих приборов 1,5. Кроме шкалы давлений они имеют температурную шкалу, которая показывает температуру насыщенного пара при соответствующих давлениях.

Записывающие манометры выпускают на базе показывающих манометров. Вместо шкалы они имеют круговую (дисковую) диаграмму, которая приводится во вращение синхронным электродвигателем (тип МТС-711) или часовым механизмом

Таблица 1

Марка	Хладагент	Диапазон измерений, кгс/см ²
ОБМВ1-1006ф	R12	-1-0-15
ОБМВ1-1006ф	R22, R13	-1-0-24
АМВУ1-160	Аммиак	-1-0-15
АМУ1-160	>	0-25
МДП4-СМ-Т	R12, аммиак	-1-0-9

(МТС-712). Время одного оборота диаграммы 8 или 24 ч. Аналогичную конструкцию имеют самопишущие мановакуумметры МВТС-711 и МВТС-712 со шкалой —1—0—5 или —1—0—15 кгс/см².

§ 15. РЕЛЕ ДАВЛЕНИЙ

Электроконтактные манометры (ЭКМ). Реле давления этого типа представляют собой манометр с двумя передвижными электрическими контактами (рис. 54, а). При повышении давления контакт стрелки С замыкает верхний контакт В. При снижении давления на величину дифференциала ΔX_{0B} (см. рис. 24) контакт В размыкается (оба контакта разомкнуты). При дальнейшем снижении давления замыкается нижний контакт Н. В некоторых модификациях контакты Н и В включаются поочередно при повышении или понижении давления. ЭКМ — трехпозиционное реле — можно использовать и как двухпозиционное: замыкание контакта В включает исполнительный механизм, а замыкание Н — останавливает. Это позволяет в широких пределах менять общий дифференциал.

Низкая разрывная мощность контактов (10 В·А) не позволяет включать ЭКМ непосредственно в цепь катушки магнитных пускателей. Поэтому их включают через промежуточное реле по импульсным схемам, исключающим работу контактов при размыкании. В схеме, показанной на рис. 54, б, при повышении давления контакт В включает реле 1Р, которое дает команду исполнительному механизму (на схеме не показан) и одновременно замыкает свои контакты 1Р-1 и 1Р-2. Контакт 1Р-1 шунтирует контакт В, поэтому при размыкании контакта В

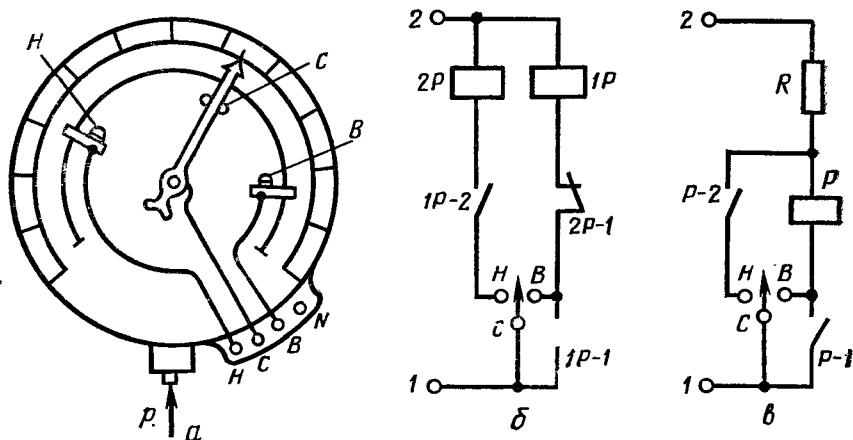


Рис. 54. Электроконтактный манометр (а) и схемы исключения работы контактов на размыкание: с двумя реле (б) и одним реле (в)

цепь реле $1P$ не прерывается: ток идет по цепи $1, 1P-1, 2P-1, 1P, 2$, и контакт B не пригорает. При снижении давления замыкается контакт H и срабатывает реле $2P$, которое контактом $2P-1$ отключает исполнительное реле $1P$, а реле $1P$, в свою очередь, контактом $1P-2$ обрывает цепь питания $2P$. Поэтому при размыкании контакта H тока в цепи $1, H, 1P-2, 2P, 2$ уже нет.

Защиту контактов при размыкании можно осуществить и без дополнительного реле ($2P$), как показано на рис. 54, в. При замыкании контакта B срабатывает исполнительное реле P , которое одновременно контактом $P-1$ становится на самопитание, а контактом $P-2$ подготавливает себе шунтирующую цепь. В момент размыкания контакта B реле P питается через свой контакт $P-1$. При замыкании контакта H ток проходит по шунтирующей цепи $1, H, P-2, R, 2$. Поэтому ток, проходящий через катушку реле P , резко падает, и оно отключается; размыкая контакты $P-2$ и $P-1$. При размыкании контакта H в шунтирующей цепи тока уже нет.

Одноблочные реле давления. Эти реле бывают двух типов: низкого давления $РД_n$ и высокого давления $РД_v$. В $РД_n$ контакты при повышении давления замыкаются, а в $РД_v$ — размыкаются. Реле $РД_n$ используют для включения и остановки компрессора, чтобы обеспечить заданное давление в испарителе, а также для защиты машины от работы на очень низком давлении; $РД_v$ служит для отключения компрессора при чрезмерно высоком давлении нагнетания.

Типовая конструкция реле низкого давления показана на рис. 55. При повышении давления на доньшко сильфона 20 шток 19 поворачивает рычаг 17 , преодолевая силу упругости сжатой пружины 8 . Когда рычаг 17 упрется в верхний выступ вилки 22 , давлению придется преодолеть еще силу упругости растянутой пружины 23 . Рычаг 9 под воздействием пружины 18 , навитой на ось O_3 , прижат к винту 16 и вращается вместе с рычагом 17 вокруг оси O_1 . Когда ось O_4 на конце рычага 9 перейдет за линию O_5-O_6 , пружина переключателя 12 обеспечит резкое замыкание контактов 14 и 15 .

При понижении давления на сильфон пружины 8 и 23 , преодолевая давление пружины 21 и оставшегося давления, поворачивают рычаги 17 и 9 в обратном направлении. Когда вилка рычага 22 дойдет до упора в корпусе 1 , верхний конец вилки перестает воздействовать на рычаг 17 , и размыкание контактов обеспечивает только пружина 8 .

Регулировка давления выключения осуществляется винтом 6 , который, перемещая гайку 7 по прорези в шкале 4 , изменяет натяжение пружины 8 . При снижении давления выключения на столько же снижается давление включения, т. е. величина дифференциала ($p_{вкл}-p_{выкл}$) остается постоянной.

Дифференциал регулируется путем изменения давления включения винтом 2 , который, перемещая гайку 3 , изменяет на-

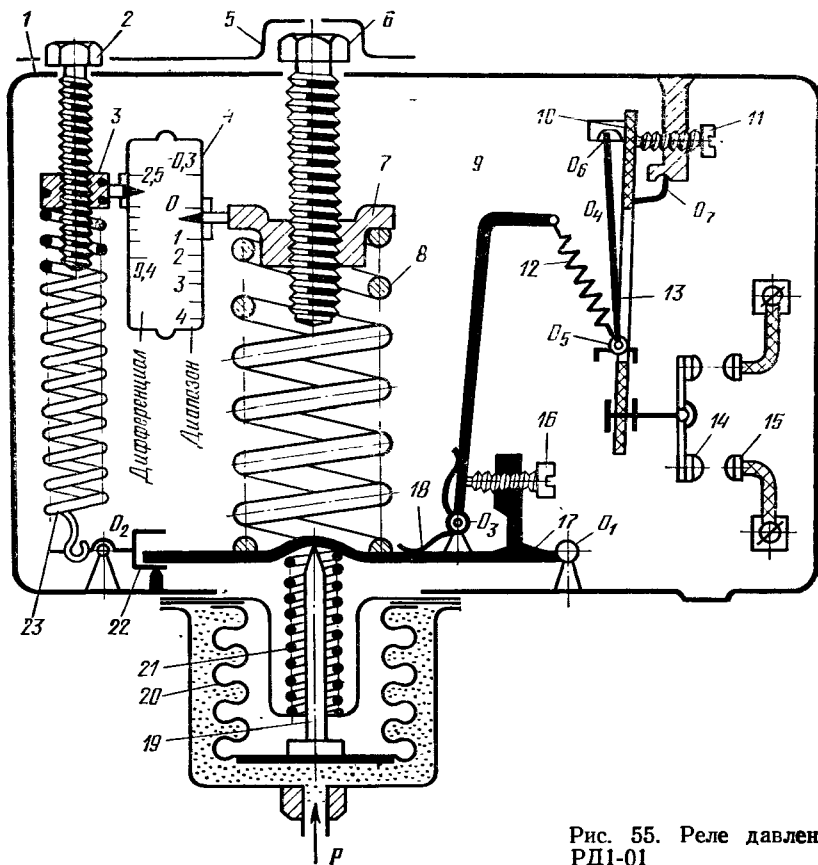


Рис. 55. Реле давления РД1-01

тяжение пружины 23. Пластина 5 фиксирует положение винтов после регулировки.

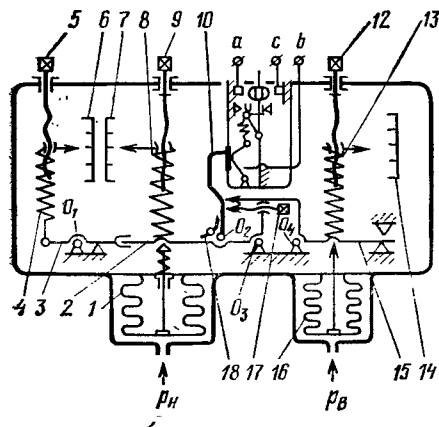
В случае несовпадения давления выключения по шкале с фактическим (по манометру) юстировочным винтом 16 меняют угол между рычагами 17 и 9. Для подгонки дифференциала юстировочным винтом 11 поворачивают рычаг 13 относительно оси O_6 в стойке 10, изменяя зазор между контактами 14 и 15. Юстировочные винты используют только при сборке приборов и затем пломбируют.

Техническая характеристика одноблочных реле приведена в табл. 2. Реле с буквой А в марке прибора предназначены для аммиачных машин, остальные — для фреоновых. Приборы исполнения ОМ категории 5 (ОМ5) по ГОСТ 15150—69 предназначены для помещений класса В 16, стационарных, транспортных и судовых установок.

Двухблочные реле давлений. В этих приборах реле низкого и высокого давлений сконпонованы в одном корпусе, воздей-

Одноблочные реле давления	Диапазон настройки давлений ($p_{изб}$), 10^5 Па		Нормальное положение контактов (при $p=0$)
	срабатывания	дифференциала	
Низкого давления			РД _н
РД-1-01	-0,3 ÷ +4	0,4—2,5	
РД-1-ОМ5-01	-0,3 ÷ +4	0,4—2,5	
РД-1-ОМ5-01А	-0,7 ÷ +4	0,4—2,5	
РД-1-ОМ5-02	1—10	1—6	
РД-1-ОМ5-04	-0,9 ÷ +2,5	0,4—1	
Высокого давления			РД _в
РД-2-03	7—19	2—5	
РД-2-ОМ5-02	1—10	1	
РД-2-ОМ5-03	7—19	2	
РД-2-ОМ5-05	10—30	3	
РД-2-ОМ5-05А	10—30	3	

ствуя на общий электрический контакт (рис. 56). Механизм РД_н аналогичен РД-1-01 (см. рис. 55): при повышении низкого давления p_n шток сильфона 1, преодолевая усилия пружин 8 и 4, поворачивает рычаг 2 и рычаг 10, нажимая на кнопку микропереключателя 11, включает контакты a и b , через которые обычно включают катушку пускателя компрессора. Детали 1—10, 17 и 18 аналогичны соответствующим деталям реле РД-1-01.



При повышении высокого давления p_v (например, давления нагнетания в компрессоре) доннышко сильфона 16, преодолевая силу упругости пружины 13, поворачивает рычаг 15 вокруг оси O_4 , и носик рычага отводит рычаг 10 от контакта микропереключателя, размыкая контакт в цепи $a-b$. При снижении давления p_v на величину дифференциала пружина 18 поворачивает рычаг 10, и он снова замыкает контакт цепи.

Рис. 56. Двухблочное реле давления Д220

Установка заданной вели-

Таблица 3

Двухблочные реле давлений	Блок низкого давления РД _н		Блок высокого давления РД _в	
	Давления избыточные, 10 ⁵ Па			
	Диапазон размыкания	Дифференциал регулируемый	Диапазон размыкания	Дифференциал нерегулируемый
Д220-11	-0,3 ÷ +4	0,4—2,5	7—19	2
Д220-12	-0,2 ÷ +7	0,4—2,5	8—25	2,5
Д220 Р-11	-0,7 ÷ +4	0,4—2,5	7—19	3
Д220 А-12	-0,9 ÷ +1,5	0,3—1	0,5—10	2
Д220 А-13	-0,7 ÷ +4	0,4—2,5	8—30	3
Д220 АР-12	-0,9 ÷ +1,5	0,3—1	0,5—10	2
Д220 АР-13	-0,7 ÷ +4	0,4—2,5	8—30	3

чины выключения p_v производится винтом 12. Гайка 13, сжимающая пружину, одновременно указывает по шкале 14 установленное давление.

Техническая характеристика приборов типа Д220 дана в табл. 3. Приборы с буквой Р имеют исполнение ОМ5 и для судовых установок. Остальные исполнения УЗ (пригодны для помещений класса В1б).

Реле разности давлений. В холодильных машинах реле разности давлений нашли широкое применение для защиты компрессоров в случае нарушения работы масляного насоса. Когда разность давлений на нагнетательной стороне насоса и всасывающей стороне (давление в картере) становится меньше допустимого значения (1,5—2·10⁵ Па), реле размыкает электрические контакты и останавливает компрессор. Их называют еще реле контроля смазки (РКС).

Реле типа РКС (рис. 57, а) имеют два сильфона 1 и 8, воздействующие на общий рычаг 2. В нижний сильфон 1 (плюсовой) подается более высокое давление, чем в верхний 8 (минусовой). Когда разность этих давлений становится выше силы сжатой пружины 3, рычаг 2 поворачивается вокруг оси O_1 по часовой стрелке. В этом же направлении вращается и рычаг 9, соединенный с ним шарнирно под определенным углом. Угол между рычагами фиксируется винтом 12 и пружиной 13. Рычаг 9 нажимает на рычаг переключателя 11, перебрасывая перекидную пружину 10 вправо. При этом замкнется контакт в цепи $b-a$ (контакт $b-c$ разомкнется).

Заданная разность давлений регулируется вращением винта 7. Когда гайка 4 опускается, сжимающая пружину 3, разность давлений увеличивается, значение ее указывается стрелкой 5 на шкале 6.

Техническая характеристика реле типа РКС приведена в табл. 4.

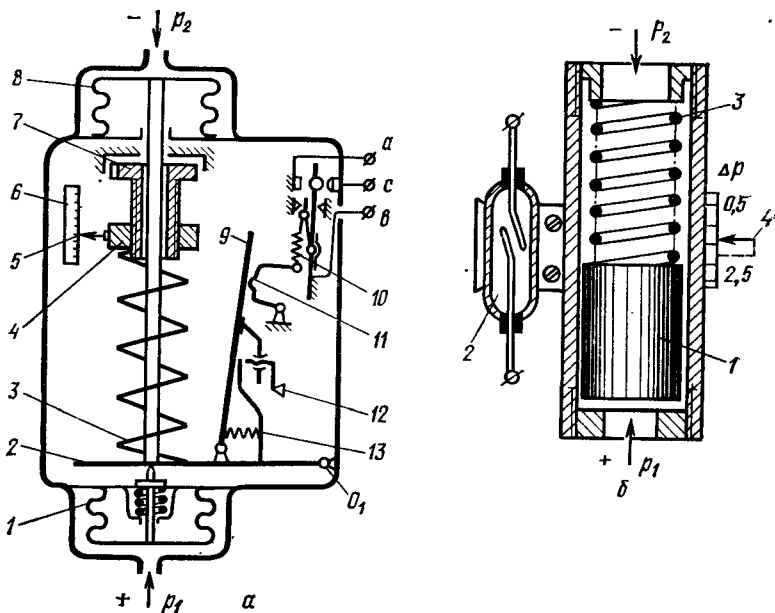


Рис. 57. Реле разности давлений:
 а — типа РКС; б — РКС-ГКА-01 (на герконе)

Реле РКС-1 имеют обыкновенное исполнение, остальные — ОМ5. Реле для аммиака — с буквой А, остальные — для фреонов.

Реле типа РКС-ГКА-01 (рис. 57, б) имеет герметичный магнитоуправляемый контакт 2 (геркон). С увеличением разности давлений $p_2 - p_1$ магнит 1 отжимает пружину 3 и контакты геркона замыкаются (см. § 8). Геркон хомутиком крепится к кор-

Таблица 4

Реле разности давлений	Диапазон настройки ($p_{изб}$), 10^5 Па		Нормальное положение контактов (при $\Delta p = 0$)
	Разности давлений срабатыва- ния	Дифферен- циал нерегу- лируемый	
РКС-1	0,2—1,8	0,3	
РКС-1-ОМ5-01	0,2—2,5	0,5	
РКС-1-ОМ5-01А	0,2—2,5	0,6	
РКС-1-ОМ5-02А	0,5—4	0,4	
РКС-1-ОМ5-03	0,5—4	0,7	
РКС-1-ОМ5-03А	0,6—6	1,0	

пуску так, чтобы стрелка 4 указывала по шкале заданную разность давлений.

Для устранения искры при размыкании контакта параллельно катушке реле или пускателя подключают цепь, состоящую из резистора (1—2 кОМ) и конденсатора на 1 мкФ. Дифференциал не более $0,6 \cdot 10^5$ Па. Пригодны для помещений класса В 1б.

§ 16. РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ

Изменение давления в объекте, подаваемого на вход регулятора, вызывает перемещение клапана, что соответственно изменяет регулирующее воздействие (подвод или отвод газа или жидкости, оказывающей влияние на давление кипения или конденсации). С увеличением давления клапан может открываться (регулятор давления «до себя») или закрываться (регулятор давления «после себя»). Регуляторы «до себя» применяют для поддержания в испарителе постоянного давления, устанавливая их на выходе из испарителя; для поддержания давления конденсации путем изменения подачи воды на конденсатор. Регуляторы «после себя» иногда используют для ограничения давления всасывания во избежание перегрузки электродвигателя (регулятор ставят перед компрессором). Регуляторы с большим проходным сечением выполняют непрямого действия. Перемещение клапана регулятора может быть плавным (ПРД) или двухпозиционным (ДРД). Последние широкого применения не получили.

Регуляторы давления прямого действия. Принцип действия различных регуляторов давления был рассмотрен в гл. 1, § 2. Здесь же остановимся лишь на особенностях конструкции некоторых из них.

Регулятор давления конденсации (рис. 58, а) при повышении давления p_k увеличивает подачу охлаждающей воды. Поэтому его часто называют водорегулирующим вентилем (ВРВ). С увеличением давления p_k доньшко сильфона 1 через шток сжимает пружину 5 и открывает клапан 3. Мембрана 2 защищает от коррозии сильфон, а в случае нарушения его герметичности не допускает попадания хладагента в водяную линию. Мембрана 4 предохраняет от коррозии пружину. Гайкой 6 регулируют диапазон начала открытия клапана от 5 до $18 \cdot 10^5$ Па. Диапазон пропорциональности (нерегулируемый) $(2 \div 4) 10^5$ Па. Статическую характеристику см. на рис. 19.

Максимальная пропускная способность при перепаде давлений 10^5 Па зависит от диаметра проходного отверстия:

Условный диаметр, мм	10	15	20	25	32	40	50
Массовый расход воды, т/ч	0,65	1,6	2,5	4,1	6,7	10,3	16,6

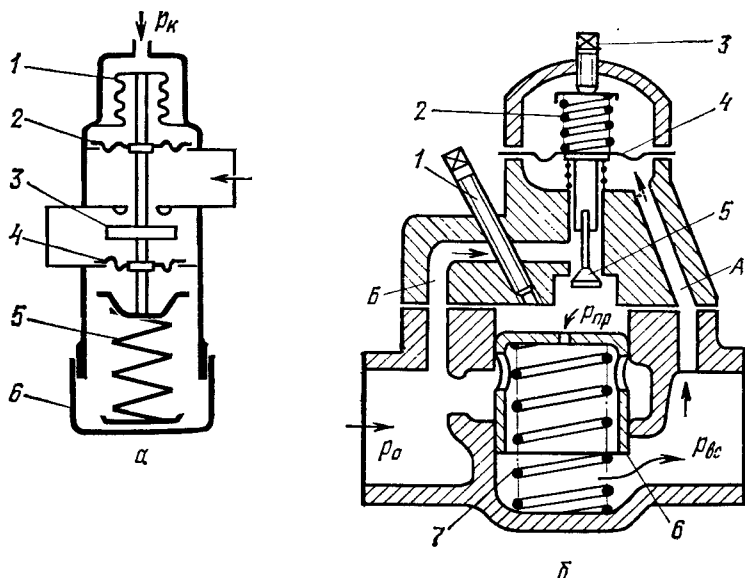


Рис. 58. Регуляторы давления:

а — конденсации (ВРВ прямого действия); б — всасывания (непрямого действия, типа АДД-40М со встроенным пилотным ventилем)

Для условных диаметров 65, 80 и 100 мм применяют регуляторы непрямого действия, имеющие расход воды при тех же условиях соответственно 50, 80 и 120 т/ч.

Регуляторы давления непрямого действия. Принцип действия регулятора давления непрямого действия рассмотрим на примере регулятора давления всасывания типа АДД-40М (рис. 58, б). При повышении давления всасывания $p_{вс}$ пар по каналу А поступает под мембрану 4. Прогибаясь вверх, мембрана сжимает пружину 2 и прикрывает разгрузочный (вспомогательный) клапан 5. Пар выйдет через центральное отверстие в поршне 6, давление $p_{пр}$ над ним уменьшится, и под действием пружины 7 он переместится вверх, уменьшая проход пара через боковые отверстия. С уменьшением $p_{вс}$ пружина 2 приоткроет клапан 5 и давление p_0 по каналу Б поступит на поршень, отжимая его вниз.

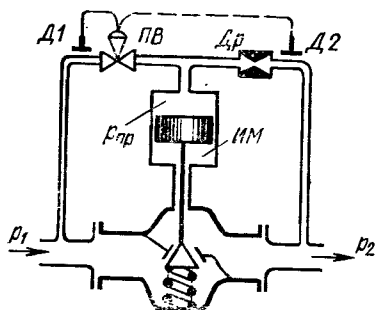


Рис. 59. Схема включения регуляторов давления с пилотным ventилем (ПВ)

Винт 1 позволяет принудительно отжать поршень, т. е. открыть клапан. Винтом 3 регулируют начало открытия от 0,3 до

2·10⁵ Па. Диапазон пропорциональности 0,2·10⁵ Па (см. рис. 19); хладагент R12.

Схема включения регуляторов давления непрямого действия с вынесенным пилотным вентилем (ПВ) показана на рис. 59.

При регулировании давления «до себя» с повышением p_1 клапан пилотного вентиля ПВ (регулятор давления прямого действия) открывается, увеличивая подачу пара на поршень исполнительного механизма ИМ (см. рис. 47, а). Давление $p_{пр}$ возрастает, пока расход пара через дроссель D_r не станет равным поступлению пара через пилотный вентиль. Поршень немного сожмет пружину, и расход пара через основной клапан станет больше, обеспечивая требуемое значение давления p_1 (в пределах статической ошибки). Если в поршне ИМ имеется дроссельное отверстие, то наружный дроссель D_r не требуется.

Для поддержания заданного давления «после себя» (p_2) отбор давления производят датчиком Д2 (показано пунктиром). Но с повышением p_2 клапан ПВ должен не открываться, а закрываться. Регулирование заданного давления производится винтом натяжения пружины на пилотном вентиле.

Глава 4

ПРИБОРЫ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

§ 17. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ

В различных физических явлениях изменение температуры однозначно связано с изменением других параметров. В приборах, используемых в холодильной технике, применяют: 1) термоэлементы расширения, в которых изменение температуры преобразуется в расширении твердых тел и жидкостей; 2) манометрические термосистемы, действие которых основано на зависимости давления от температуры при постоянном объеме и 3) преобразователи изменений температуры в электрические величины (сопротивление или ЭДС).

Термоэлементы расширения

Дилатометрические термоэлементы. Действие их основано на тепловом расширении твердых тел. Простейший дилатометрический элемент (рис. 60, а) состоит из двух стержней: внутреннего 1 длиной l_1 и наружного 2 длиной l_2 , имеющего форму трубки. Оба стержня жестко укреплены на общем донышке 3. Коэффициент линейного расширения одного из них (обычно наружного) в 10—20 раз больше (активный элемент), чем другого. Его делают из меди, алюминия, латуни, стали, никеля и др. Для пассивного стержня обычно применяют инвар (64% Fe+36% Ni) или керамику.

При изменении температуры на Δt градусов удлинение наружного стержня $x_2 = \alpha_{t_2} l_2 \Delta t$. Однако донышко, укрепленное на внутреннем стержне, опустится на величину $x_1 = \alpha_{t_1} l_1 \Delta t$. Таким образом, перемещение верхнего конца наружного стержня $\Delta X = X_2 - X_1$. Следовательно,

$$\Delta x = x_2 - x_1 = (\alpha_{t_2} l_2 - \alpha_{t_1} l_1) \Delta t, \text{ или } \Delta x = K \Delta t,$$

где K — разность в скобках — коэффициент чувствительности измерительного элемента.

Разность коэффициентов линейного расширения зависит от выбранных материалов. Так, для латуни $\alpha_t = (18 \div 20) \cdot 10^{-6}$ на 1°C , а для инвара $1,8 \cdot 10^{-6}$ на 1°C .

Приведенное уравнение отражает только статическую зависимость между перемещением свободного конца стержня Δx и изменением его температуры. При ступенчатом изменении наружной температуры термоэлемент примет новое установившееся значение лишь через некоторое время. Инерционность элементов играет существенную роль в автоматических системах. Можно показать, что переходная характеристика термоэлемента описывается уравнением инерционного звена [см. формулу (1.19) и рис. 13, в], у которого постоянная времени $T = mc/\alpha F$, где m — масса, c — удельная теплоемкость, α — коэффициент теплоотдачи и F — площадь поверхности термоэлемента.

Для жидкой окружающей среды $\alpha = 1000 \div 2000$ Вт/(м²·°C) и постоянная времени сравнительно мала (0,1—20 с). При соприкосновении с воздухом или другим газом $\alpha = 20 \div 40$ Вт/(м²·°C) и значение T достигает 1—10 мин. Для понижения инерционности увеличивают поверхность термоэлемента, одновременно уменьшая его массу.

Жидкостные термоэлементы. Принцип действия их такой же, как и dilatометрических термоэлементов. Пассивным элементом жидкостного термоэлемента является стеклянная трубка, активным — жидкость, например ртуть, этиловый спирт, пентан и др.

Биметаллические термоэлементы. В отличие от dilatометрических у биметаллических термоэлементов пластины с разными коэффициентами линейного расширения сварены между собой (рис. 60, б). Поэтому при изменении температуры пластина изгибается. Изменение угла

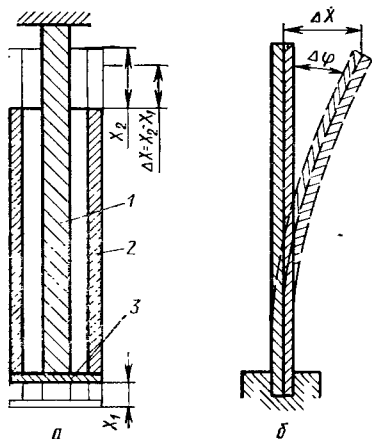


Рис. 60. Расширительные термоэлементы:

а — dilatометрический; б — биметаллический

отклонения пропорционально изменению температуры биметалла ($\Delta\varphi = K\Delta t/h$). Соответствующее перемещение конца пластины Δx (при малых углах)

$$\Delta x = 0,75Kl\Delta t/h,$$

где K — коэффициент, определяемый выбором пары металлов (для инвара — латуни $K=19 \cdot 10^{-6}$ мм/°С; для инвара — никеля $K=13 \cdot 10^{-6}$ мм/°С); l — длина пластины, мм; h — толщина пластины, определяющая ее жесткость, мм.

Чтобы сократить габариты при большой длине l , биметаллические элементы часто изготавливают в виде спирали.

Манометрические термосистемы

Манометрическая термосистема представляет собой упругий преобразователь давления (см. рис. 52), заполненный газом или жидкостью и герметично закрытый. С повышением температуры давление в замкнутой системе растет. Для дистанционной передачи термобаллончик 1 (рис. 61) соединяют с преобразователем давления (сильфон 3) капиллярной трубкой 2 длиной 2—4 м.

Таким образом, манометрическая термосистема состоит из двух элементов: в термоэлементе $\Delta p \approx K_1 \Delta t$, в преобразователе давления перемещение $\Delta x \approx K_2 \Delta p$. Общее уравнение статики манометрической термосистемы

$$\Delta x = K_1 K_2 \Delta t = K \Delta t,$$

где K_1 — коэффициент пропорциональности термоэлемента, Па/°С; K_2 — преобразователя давления, мм/Па; K — общий для всей системы, мм/°С. Значения коэффициентов K_1 и K_2 зависят от наполнителя системы.

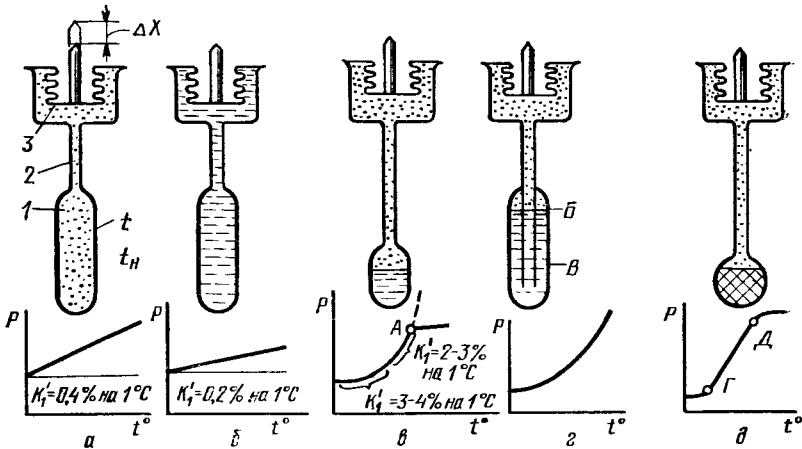


Рис. 61. Манометрические термосистемы:

а — газовая; б — жидкостная; в — конденсационная с ограниченным заполнением жидкостью; г — то же, с избыточным заполнением жидкостью; д — газовая с твердым адсорбентом

Время одного оборота диаграммы 8 или 24 ч. Аналогичную конструкцию имеют самопишущие мановакуумметры МВТС-711 и МВТС-712 со шкалой —1 —0 — 5 или —1 —0 — 15 кгс/см².

Реле давления

Электроконтактные манометры (ЭКМ). Реле этого типа (рис. 54, а) представляет собой показывающий манометр с двумя передвигющимися электрическими контактами. При повышении давления контакт стрелки *С* замыкает верхний контакт *В*. При понижении давления на величину дифференциала (примерно 0,1 кгс/см²) контакт *В* размыкается; минимальная величина дифференциала определяется силой магнита,

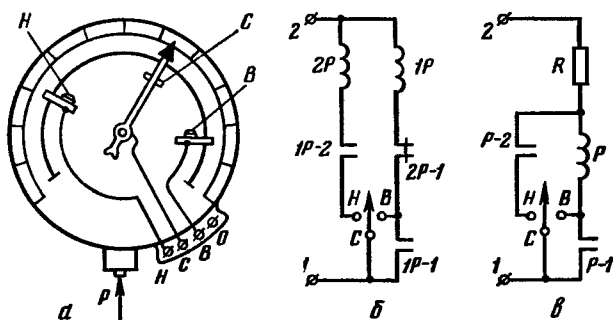


Рис. 54. Электроконтактный манометр (а) и схемы защиты контактов при размыкании: с двумя реле (б) и одним реле (в).

который установлен на подвижном контакте для резкого размыкания. При дальнейшем снижении давления замыкается нижний контакт *Н*. В некоторых модификациях контакты *Н* и *В* включаются поочередно при повышении или при понижении давления.

Провода от предельных контактов и от стрелки выведены на клемную панель, на которой имеется еще клемма для заземления корпуса прибора.

В зависимости от электрической схемы включения электроконтактный манометр можно использовать как двухпозиционное или трехпозиционное реле давления. При двухпозиционном включении обычно используют оба подвижных контакта: при замыкании контакта *В* включается исполнительное устройство, а при замыкании контакта *Н* оно отключается. Такая схема позволяет регулировать дифференциал изменением положения контактов *В* и *Н* в диапазоне почти всей шкалы.

Низкая разрывная мощность контактов (10 В·А) не позволяет включать ЭКМ непосредственно в цепь катушки магнитных пускателей. Поэтому их включают через промежуточное реле по схемам, исключающим работу контактов при размыкании. В схеме, показанной на рис. 54, б, при повышении давления контакт *В* включает реле *1P*, которое дает команду исполнительному механизму (на схеме не пока-

зан) и одновременно замыкает свои контакты $1P-1$ и $1P-2$. Контакт $1P-1$ шунтирует контакт B , поэтому при размыкании контакта B цепь реле $1P$ не прерывается: ток идет по цепи $1 - 1P-1 - 2P-1 - 1P - 2$, и контакт B не пригорает. При снижении давления на величину общего дифференциала замыкается контакт H и срабатывает реле $2P$, которое контактом $2P-1$ отключает исполнительное реле $1P$, а реле $1P$ в свою очередь контактом $1P-2$ обрывает цепь питания $2P$. Поэтому при размыкании контакта H тока в цепи $1 - H - 1P-2 - 2P - 2$ уже нет.

Защиту контактов при размыкании можно осуществить и без дополнительного реле ($2P$), как показано на рис. 54, в. При замыкании контакта B срабатывает исполнительное реле P , которое одновременно контактом $P-1$ становится на самопитание, а контактом $P-2$ подготавливает себе шунтирующую цепь. В момент размыкания контакт B реле P питается через свой контакт $P-1$. При замыкании контакта H ток проходит по шунтирующей цепи $1 - H - P-2 - R - 2$. Поэтому ток, проходящий через катушку реле P , резко падает, и оно отключается, размыкая контакты $P-2$ и $P-1$. При размыкании контакта H в шунтирующей цепи тока уже нет.

Еще одна схема разгрузки контактов (импульсная) будет показана на примере работы реле РД-61 (см. рис. 56, б).

Одноблочные реле давления. Эти реле выпускаются двух типов: низкого давления ($РД_н$), у которых контакты размыкаются при понижении давления, и высокого давления ($РД_в$) с размыканием контактов при повышении давления. $РД_н$ обычно используются в малых холодильных машинах для поддержания заданного давления в испарителе и соответственно требуемой температуры в шкафу или камере. В машинах средней и большой холодопроизводительности эти реле служат для защиты от пониженного давления. $РД_в$ используются для защиты от высокого давления (отключают компрессор при опасном давлении).

Реле низкого давления типа РД-1Б-01 (рис. 55, а) состоит из следующих основных узлов: чувствительного элемента (сильфон 20), задающего устройства (пружина 8 и винт 6), элемента сравнения (рычаг 22), системы рычагов и регулирующего органа (электрические контакты 14). Имеется узел настройки дифференциала (винт 2 и пружина 23). С повышением давления контакты замыкаются.

Рассмотрим подробнее работу прибора. Известно, что у цилиндрических пружин сжатие (или растяжение) пропорционально нагрузке (произведению давления на площадь сильфона). Если пружина уже предварительно сжата, то дополнительного сжатия не происходит, пока усилие не станет больше силы предварительного сжатия. На рис. 55, б это участки p_8 (для пружины 8) и p_{23} (для пружины 23). Угол поворота φ рычага 22 пропорционален сжатию пружины 8.

В начальном состоянии основная пружина 8 сжата. Предварительное натяжение ее p_8 (рис. 55, б) больше, чем суммарная сила вспомогательной пружины 21 и давления p на донышко сильфона 20. Поэтому рычаг 17 опущен вниз и, нажимая левым концом на вилку рычага 22, упирается в выступ корпуса 1. С рычагом 17 шарнирно соединен

рычаг 9, который под воздействием пружины 18, навитой на ось O_3 , прижат к винту 16. Пружина 12 переключателя растянута, и составляющая силы в точке O_5 поворачивает рычаг 13 вокруг оси O_6 влево. Вилка рычага 13 вращает рычаг 10 вокруг оси O_7 по часовой стрелке

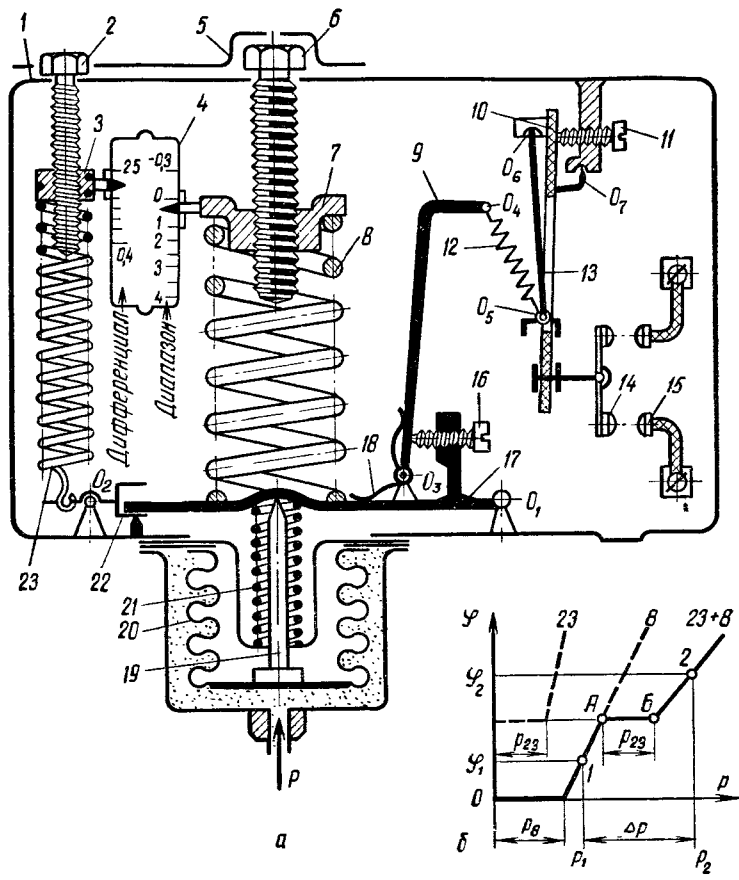


Рис. 55. Реле давления РД-1Б-01:
 а — схема; б — характеристика пружин,

до упора в винт 11, размыкая контакты 14 и 15. Пружина дифференциала 23 растянута, и вилка рычага 22, упираясь в выступ, не воздействует на рычаг 17.

При повышении давления на входе после преодоления силы предварительного натяжения p_8 пружины 8 штук 19 начнет сжимать пружину 8, поворачивая рычаг 17 на угол ϕ . При давлении p_A (точка А на рис. 55, б) рычаг 17 упрется в верхний выступ вилки 22 и движение прекратится, пока давление не возрастет до величины p_B , преодолев

силу предварительного натяжения пружины дифференциала 23. Дальнейшее возрастание давления преодолевает суммарную силу сжатой пружины 8 и растянутой пружины 23. При давлении p_2 ось O_4 на конце рычага 9 переходит за линию $O_5 - O_6$ и пружина переключателя 12 обеспечит резкое замыкание контактов 14 и 15.

При понижении давления на входе пружины 8 и 23, преодолевая усилие пружины 21 и оставшегося давления, поворачивают рычаги 17 и 9 в обратном направлении. Когда вилка рычага 22 дойдет до упора, верхний выступ вилки перестает воздействовать на рычаг 17. Сила p становится больше силы сжатой пружины 8. Снижение давления от p_B до p_A не вызывает поворота рычага 17. Далее работает только пружина 8. При снижении давления от p_A до p_1 рычаг 17 отойдет от верхнего выступа вилки 22 и, повернувшись до положения φ_1 , отведет ось O_4 левее линии $O_5 - O_6$ и разомкнет контакты.

Таким образом, на размыкание контактов воздействует только пружина 8, а на замыкание — пружины 8 и 23. С уменьшением натяжения пружины 8 вращением винта 6 снижается давление выключения p_1 , но настолько же снижается и давление включения p_2 , т. е. величина дифференциала $\Delta p = p_2 - p_1$ не изменяется.

Изменение дифференциала осуществляется натяжением пружины 23 винтом дифференциала 2 за счет давления включения p_2 . При этом выключение p_1 не изменяется.

При вращении винтов дифференциала 2 и диапазона 6 гайки 3 и 7, имеющие выступы с прорезями, направляющей для которых служит шкала 4, перемещаются вверх или вниз, указывая стрелками значение дифференциала и давление выключения. Пластина 5 фиксирует положение винтов после регулировки.

В случае несовпадения значений давления выключателя, указанного на шкале, с фактическим (по манометру) используют юстировочный винт 16, которым изменяют угол между рычагами 17 и 9. При совпадении указанных давлений винт 16 закрепляют и пломбируют. Обычно это делают на заводе или при ремонте прибора. Аналогично винтом 11 изменяют начальный зазор между контактами 14 и 15, т. е. величину дифференциала, пока она не совпадет со значением, указанным на шкале. Этот винт тоже пломбируют.

Техническая характеристика аналогичных по конструкции выпускаемых одноблочных реле приведена в табл. 3. Реле типа РД-1Б и РД-2Б имеют брызгозащитное исполнение. Реле РД-1ВМ-01 и РД-2ВМ-03, — взрывозащищенные и защищенные от агрессивной среды (категории ВВ и ВЗГ), могут применяться на аммиачных установках, на угольных и сланцевых шахтах. Реле РД-3К (корабельное) имеет водозащитное исполнение; контактная группа выполнена на базе микропереключателя. Остальные — реле общего назначения. Конструкция РД-5 значительно проще, так как у него нерегулируемый дифференциал.

Для точного поддержания давления в пределах $p_{изб} = 0,1 \div 3$ кгс/см² с минимальным дифференциалом $0,01 \div 0,02$ кгс/см² предназначено импульсное реле давления РД-61 (рис. 56).

При повышении давления p доньшко 11 сильфона 10 через гайку 9 нажимает на втулку 8. Пружина 3 сжимается и перемещает влево гайку 2, резьбовую втулку 6 и гайку дифференциала 5, которая дополнительно сжимает пружину дифференциала 4. При этом рычаг импульсного контакта ИК, вращаясь вокруг оси O_3 , разрывает контакт K_4 и замыкает контакт K_3 .

При понижении давления сила пружин 3 и 4 перемещает гайку 9 вправо, разрывая контакт K_3 , но когда резьбовая гайка 6 упрется в выступ корпуса 7, пружина 4 прекратит воздействие на перемещение контакта ИК. Дальнейшее перемещение гайки 9 вправо и замыкание контакта K_4 осуществляется лишь пружиной диапазона 3.

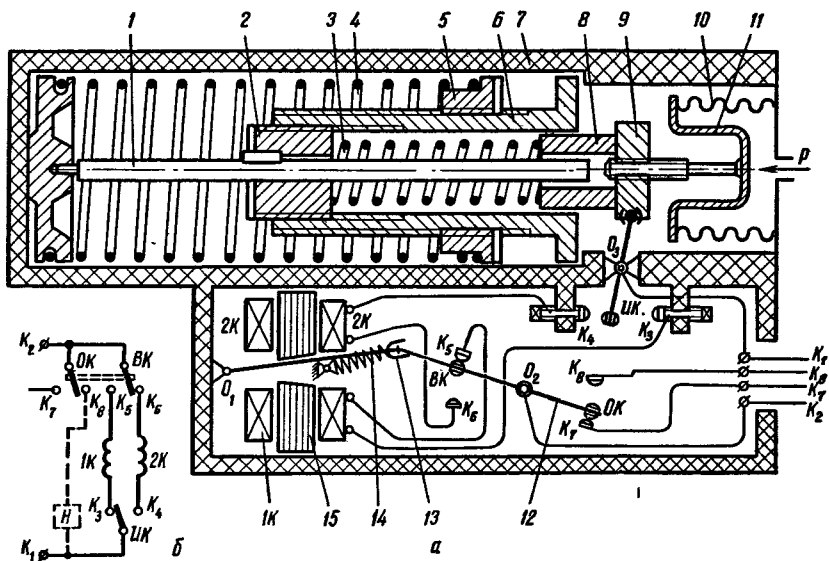


Рис. 56. Импульсное реле давления РД-61:

а — схема конструкции; б — принципиальная электрическая схема.

При замыкании контакта K_4 мгновенный ток пройдет через катушку 2К электромагнитного переключателя по цепи $K_1 — K_4 — K_6 — K_2$ (рис. 56, б). Верхний электромагнит 15 притянет якорь 13, и текстолитовая вилка якоря 13 электромагнита повернет рычаг 12 с подвижными контактами вокруг оси O_2 по часовой стрелке. Вспомогательный контакт ВК разомкнет K_6 , обесточив катушку 2К, и замкнет K_5 , подготовив к работе катушку 1К. Одновременно с переключением вспомогательных контактов ВК произойдет и переключение основных контактов (разомкнется K_8). Для отключения компрессора при понижении давления нагрузка Н (катушка пускателя) подключается к клеммам K_1 и K_8 .

Передняя пружина 14 увеличивает резкость размыкания контактов ВК и ОК и фиксирует якорь электромагнита после переключения

контактов в новом положении при обесточенных катушках 1К и 2К. Таким образом, катушки 1К и 2К работают лишь доли секунды при переключении контактов ИК и остальное время обесточены. Ток через контакты ИК в момент их размыкания не проходит, поэтому для них не требуется механизм резкого размыкания, что и позволяет до минимума снизить дифференциал.

Диапазон давлений отключения нагрузки регулируется гайкой 2 (при снятой крышке прибора), которая, скользя по шпонке направляющей 1, изменяет натяжение пружины 3. Дифференциал увеличивается гайкой 5, сжимающей пружину 4.

Таблица 3

Одноблочные реле давлений	Диапазон давлений размыкания $P_{изб}$, кгс/см ²	Дифференциал, кгс/см ²	Максимально допустимое давление $P_{изб}$, кгс/см ²	Контролируемая среда **
РД-1Б-01	—0,3÷4	0,4—2,5	16	Ф
РД-2Б-02*	1÷7	1—2,5	18	Ф
РД-2Б-03*	7÷19	2—5	25	Ф
РД-1ВМ-01	—0,3÷4	0,4—2,5	16	А
РД-2ВМ-03*	7÷19	2—5	25	А
РД-3К	—0,2÷—1	0,2—0,6	10	Ф
РД-5*	12÷17	2,5	20	Ф
РД-12	—0,4÷2,5	0,4—1,6	16	Ф
То же	2÷8	0,75—2,75	18	Ф
»	2÷12	1,5—4,5	20	Ф
»	5÷20	2—7	25	Ф

* Реле высокого давления.

** Ф — фреоны, воздух, вода, масло; А — аммиак.

Двухблочные реле давления. Эти реле представляют собой сочетание реле низкого давления (РДн) и реле высокого давления (РДв), заключенных в одном корпусе; оба реле воздействуют на один электрический контакт.

Одно из первых двухблочных реле давлений, широко применяемое до настоящего времени— бесшкальное реле типа РД-1 (рис. 57). Его применяют в малых фреоновых машинах.

Реле низкого давления соединено со всасывающим вентилем компрессора. Пар фреона через отверстие в штуцере поступает внутрь кожуха 1 и омывает наружную поверхность сильфона 2. Этот пар сжимает сильфон. Доньшко сильфона перемещается вправо, и шток 4 передает усилие на двуплечий рычаг 5. В этом же направлении действует сжатая пружина 3. Рычаг 5, преодолевая усилие пружины 7, поворачивается по часовой стрелке вокруг оси O_1 и тяга 6, шарнирно укрепленная на длинном плече рычага, опускается. На верхнем конце тяги имеется загнутый зуб, который заходит в прямоугольный паз рамки 8. Когда тяга перемещается вниз, зуб упирается в пластину дифференциала 9 и вся рамка вместе с токонесущей пластиной 11,

тянутой перекидной пружины будет стремиться повернуть ударник относительно своей опоры O_5 уже не против, а по часовой стрелке. Своим выступом ударник толкает текстолитовую планку, укрепленную на конце токонесущей пластины 11, и разрывает электрическую цепь. При срабатывании РД_в токонесущая пластина поворачивается, не вместе с рамкой, как это происходило при выключении контактов РД_н, а относительно неподвижной теперь рамки. При этом опускается только плоская пружина 10.

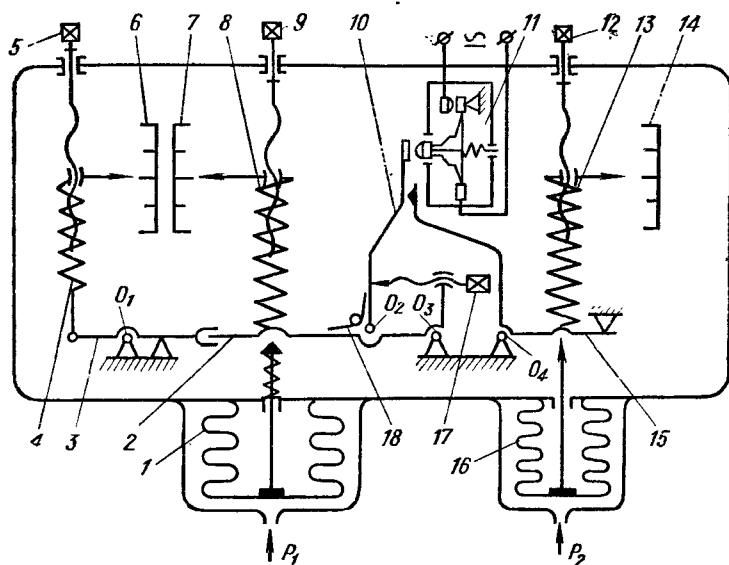


Рис. 58. Реле давления РД-3-01.

Регулирование давления срабатывания РД_в производится изменением силы сжатия пружины гайкой В.

Реле давления РД-3-01 (рис. 58) объединяет, как и РД-1, реле низкого и высокого давления, но имеет ряд преимуществ: 1) наличие шкал, показывающих установленное давление выключения и значение дифференциала РД_н (шкалы 6 и 7) и установленное давление выключения РД_в (шкала 14); 2) более широкий диапазон регулирования; 3) безопасность регулирования дифференциала; 4) наличие пылезащищенного корпуса; 5) универсальность (для Ф-12 и Ф-22).

Механизм РД_н по конструкции и принципу действия аналогичен РД-1Б-01. При повышении давления p_1 в испарителе сильфон 1 сжимается и, преодолевая усилие пружины 8, поворачивает рычаг 2 вокруг оси O_3 по часовой стрелке. Когда левый конец рычага 2 коснется верхнего выступа вилки рычага 3, движение рычагов приостановится, пока сила давления p_1 не станет достаточной, чтобы преодолеть совместное усилие пружин 8 и 4. При дальнейшем повышении давления p_1

рычаг 2 поворачивается, пока укрепленный на нем пружиной 18 и винтом 17 рычаг 10 не замкнет электрический контакт микропереключателя 11. При понижении давления p_1 усилие пружин 4 и 8 поворачивает рычаги 2 и 10 против часовой стрелки. Когда рычаг 3 упрется в выступ-ограничитель, рычаг 2 отойдет от верхнего выступа вилки рычага 3. Таким образом, пружина 4 на давление размыкания контактов влияния не оказывает.

Если во время работы компрессора давление нагнетания p_2 стало выше установленного, то сильфон 16 сожмется и рычаг 15, преодолев усилие пружины 13, повернется вокруг оси O_4 и верхним выступом нажмет на рычаг 10. Последний, преодолев усилие пружинки 18, повернется вокруг оси O_2 влево и разомкнет контакты микропереключателя.

Регулирование диапазона и дифференциала $РД_n$ осуществляется соответственно винтами 9 и 5 путем натяжения пружин 8 и 4. Диапазон $РД_v$ регулируется винтом 12. Положение винта 17 устанавливают на заводе и пломбируют. Правильная установка его обеспечивает соответствие между фактическим давлением и давлением выключения $РД_n$, которое указывает стрелка на шкале 7.

Характеристики двухблочных реле давлений приведены в табл. 4.

Таблица 4

Двухблочные реле давлений	Блок низкого давления $РД_n$			Блок высокого давления $РД_v$		
	давление размыкания $p_{взб}$ регулируемое, кгс/см ²	дифференциал регулируемый, кгс/см ²	предельно допустимое давление $p_{взб}$, кгс/см ²	давление размыкания $p_{взб}$ регулируемое, кгс/см ²	дифференциал нерегулируемый, кгс/см ²	предельно допустимое давление $p_{взб}$, кгс/см ²
РД-1	-0,25 ÷ +3,8	0,4—2,5	—	6—12	2,5	—
РД-3-01	-0,3 ÷ +4	0,3—2,5	12	7—19	2	21
РД-3-02	-0,2 ÷ +7	0,5—2,5	16	(6—12)*	2,5	(15)*
РД-3М-04	-0,7 ÷ +4	0,4—2,5	16	7—19	3	25
РД-4А-01	-0,7 ÷ +4	0,4—2,5	16	6—19	2,5	21
РД-4А-02	-0,9 ÷ 0	0,15—0,6	16	0,5—10	1,4	21

* По требованию заказчика.

Реле РД-4А-01 и РД-4А-02 предназначены для аммиачных установок. Сильфоны у них изготовлены из нержавеющей стали, не поддающейся воздействию аммиака. Схема работы их аналогична реле РД-3-01. Исполнение приборов взрывобезопасное. При нарушении герметичности сильфона аммиак благодаря разделяющей мембране не попадает внутрь прибора, где возможна искра при размыкании контактов, а через небольшое отверстие из камеры сильфона выходит в атмосферу.

Реле разности давлений. В холодильных машинах реле разности давлений нашли широкое применение для защиты компрессоров в

случае нарушения работы масляного насоса. Когда разность давлений на нагнетательной стороне насоса и всасывающей стороне (давление в картере) становится меньше допустимого значения ($0,8-2 \text{ кгс/см}^2$), реле размыкает электрические контакты и останавливает компрессор. Их называют еще реле контроля смазки (РКС).

Реле типа РКС (рис. 59) имеют два сильфона 1 и 8, воздействующие на общий рычаг 2. В нижний сильфон 1 (плюсовой) подается более высокое давление, чем в верхний 8 (минусовой). Когда разность этих давлений становится выше силы сжатой пружины 3, рычаг 2 поворачивается вокруг оси O_1 по часовой стрелке. В этом же направлении вращается и рычаг 9, соединенный с ним шарнирно под определенным углом. Угол между рычагами фиксируется винтом 15 и пружиной 16. Поворот рычага 9 вызывает перемещение конца пружины 10 вправо. Когда конец пружины пересечет ось переключающего поводка 12, составляющая сила растянутой пружины начнет вращать поводок вокруг шарнира O_2 против часовой стрелки. Поводок, увлекая за собой контактную планку 13, вызывает резкое замыкание контактов 14.

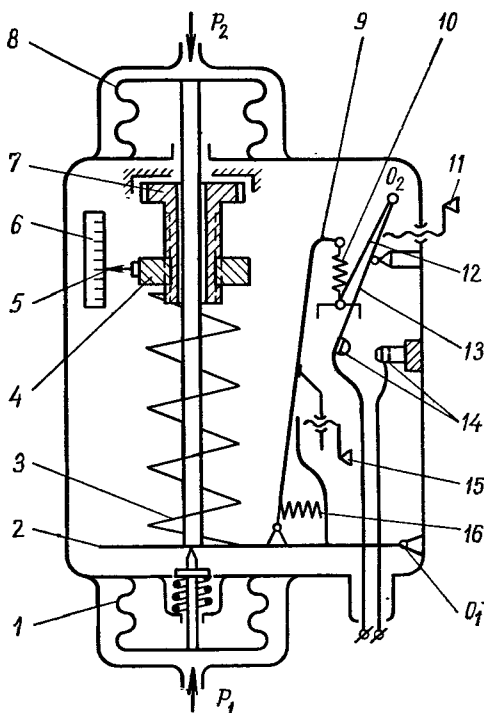


Рис. 59. Реле разности давлений типа РКС.

Заданная разность давлений регулируется вращением винта 7. Когда гайка 4 опускается, сжимая пружину 3, разность давлений увеличивается, значение ее указывается стрелкой 5 на шкале 6.

Дифференциал — не регулируемый. Требуемое значение его устанавливается при сборке винтом 11.

Когда разность давлений становится меньше заданной, контакты размыкаются, с увеличением этой разности на величину дифференциала контакты замыкаются.

Технические характеристики реле типа РКС приведены в табл. 5. Реле РКС-1Б имеют брызгозащищенное исполнение, РКС-1А — для помещений класса В1б, РКС-1ВМ — взрывобезопасное исполнение. Эти реле могут быть использованы и для контроля за водяными, рассольными и аммиачными насосами, останавливая их при недостаточ-

Таблица 5

Реле разности давлений	Диапазон настройки разности давлений, кгс/см ²	Дифференциал, кгс/см ²	Предельно допустимое давление, кгс/см ²		Рабочая среда
			в сильфонных блоках	разность давлений	
РКС-1Б	0,2—1,8	0,3	12	6	Фреон
РКС-1А-01	0,2—1,8	0,4	16	16	Аммиак
РКС-1А-02	0,5—3,5	0,4	16	16	»
РКС-1ВМ	0,2—1,8	0,35—1,2 (регулируемый)	16	6	Фреон, аммиак

ной разности давлений. Разрывная мощность контактов при напряжении 220 В у всех реле равна 300 В·А.

Монтаж реле давлений. В малых фреоновых машинах реле давлений обычно монтируют на агрегате. В средних и крупных — реле, как правило, выносят на щит управления, так как из-за вибрации возможно случайное срабатывание контактов. Реле низкого давления соединяют со всасывающей стороной. На малых машинах монтажную трубку при этом присоединяют к тройнику всасывающего вентиля. Когда ventиль закрыт, на тройник поступает давление из картера. Такое соединение конструктивно целесообразно, однако при вакуумировании компрессора (при закрытом всасывающем ventиле) требуется принудительное замыкание контактов реле.

В машинах средней производительности, в которых всасывающий ventиль не имеет тройника, отбор давления производят обычно перед всасывающим ventилем (ближе к испарителю) для удобства вакуумирования.

Реле высокого давления обязательно присоединяют между нагнетательным ventилем и компрессором, чтобы при пуске с закрытым нагнетательным ventилем РД_в отключило бы компрессор. Схема присоединения реле давлений приведена в главе V.

Регуляторы давления

В регуляторах давления изменение регулируемого давления обычно преобразуется в перемещение клапана. Изменение расхода газа или жидкости прямо или косвенно влияет на регулируемое давление.

Перемещение клапана в регуляторах может быть плавным или двухпозиционным. В соответствии с этим различают плавные регуляторы давления (ПРД) и двухпозиционные (ДРД). Наибольшее распространение получили плавные регуляторы давления. Принцип действия ПРД различных типов (пропорциональных, астатических, изодромных и с предварением) рассмотрен в главе I (см. рис. 19—22). Регуляторы ДРД (типа ДРД-10 и ДРД-15) широкого применения пока не получили и здесь не рассматриваются.

В зависимости от взаимного расположения клапана и емкости, в которой регулируется давление, различают три группы регуляторов: регуляторы давления «до себя»; регуляторы давления «после себя»; косвенные регуляторы давления.

Регуляторы давления «до себя» поддерживают постоянное давление до клапана. При повышении давления расход увеличивается, что приводит к снижению давления. Эти приборы иногда устанавливают на выходе из испарителя, чтобы обеспечить заданное давление и соответственно температуру кипения (см. рис. 25).

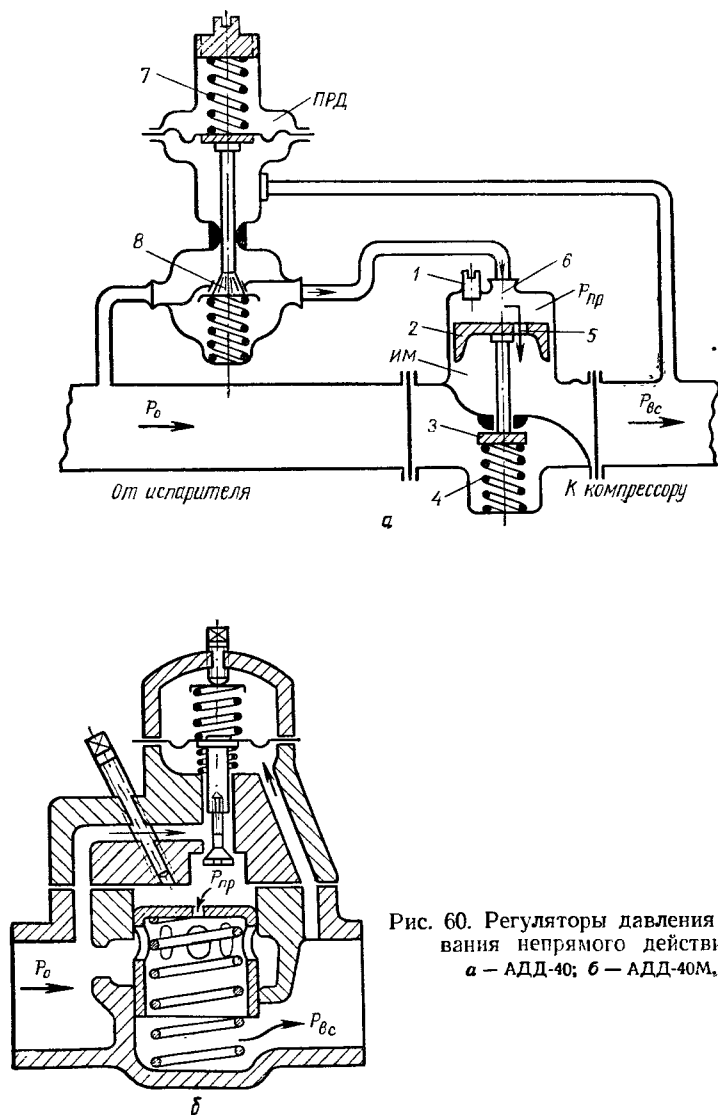


Рис. 60. Регуляторы давления всасывания непрямого действия:
а — АДД-40; б — АДД-40М.

Регуляторы давления «после себя» поддерживают заданное давление после клапана. Их используют с целью: а) ограничить повышение давления всасывания для защиты электродвигателя компрессора от перегрузки; прибор устанавливают на всасывающей линии перед компрессором; б) предохранить компрессор от резкого понижения давления в картере, что может привести к вспениванию и выбросу масла из компрессора; для осуществления этой функции прибор устанавливают на байпасной линии, соединяющей сторону нагнетания и всасывания; в) регулировать заполнение испарителя холодильным агентом (барорегулирующий вентиль).

Из косвенных регуляторов давления наибольшее применение получили регуляторы давления конденсации (водорегулирующие вентили ВРВ). При повышении давления конденсации они увеличивают подачу воды в конденсатор, поддерживая заданное давление конденсации.

Рассмотрим принцип действия автоматического регулятора давления «после себя» непрямого действия (рис. 60, а). Регулятор типа АДД-40 (автоматический дроссель давления) состоит из первичного («пилотного», «управляющего») вентиля ПРД, представляющего собой пропорциональный регулятор «после себя», и исполнительного механизма ИМ.

Регулятор АДД-40 обычно используют, чтобы поддерживать требуемое давление перед компрессором $p_{вс}$ во избежание перегрузки во время пуска.

При повышении давления всасывания мембрана ПРД отожмет верхнюю пружину 7, клапан 8 прикроется и количество пара, поступающего через штуцер 6 на поршень исполнительного механизма, уменьшится. Давление над поршнем определяется количеством пара, поступающего от управляющего регулятора, и расходом пара через постоянное дроссельное отверстие 5 в поршне 2. При уменьшении подачи давление над поршнем падает и под действием пружины 4 клапан 3 закрывается. Винт 1 позволяет принудительно отжать поршень и клапан на 8 мм.

В регуляторе АДД-40М (рис. 60, б) в отличие от АДД-40 пилотный вентиль и исполнительный механизм собраны в одном корпусе, что уменьшает запаздывание. Принцип действия АДД-40М не отличается от АДД-40 и ясен из рисунка. Клапан исполнительного механизма — золотникового типа, т. е. представляет собой поршень с отверстиями, которые в зависимости от положения поршня в большей или меньшей мере совпадают с основным каналом.

Техническая характеристика выпускаемых у нас пропорциональных регуляторов давления приведена в табл. 6.

Схема регулятора давления конденсации (водорегулирующего вентиля ВР) показана на рис. 61. При повышении давления p_n в конденсаторе доньшко сильфона 1 опускается вниз и клапан 3 открывается, преодолевая усилие пружины 5. С увеличением прохода воды давление в конденсаторе падает до заданной величины. Мембрана 2 исключает попадание фреона в водяную магистраль в случае нарушения герметичности сильфона. Мембрана 4 предохраняет пружину от поа-

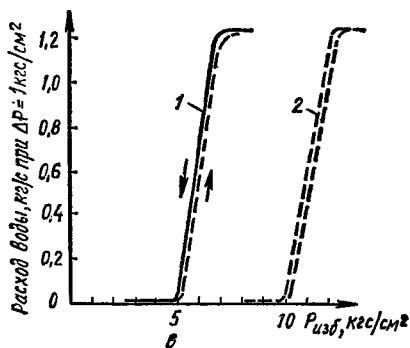
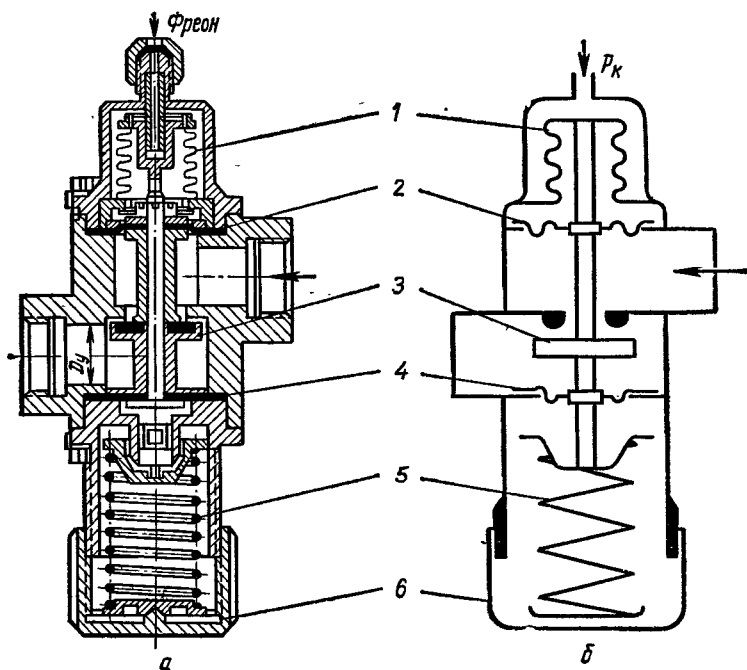


Рис. 61. Водорегулирующий вентиль типа ВР1
 а — конструкция; б — схема; в — статическая характеристика ВРР-62002 с $D_y=25$ мм при
 ослабленной пружине (1), при сжатой пружине (2).

Регулятор давления	Регулированные давления	Диаметр условного прохода, мм	Диапазон настройки средних поддерживаемых давлений * $P_{изб}$, кгс/см ²	Диапазон пропорциональности, кгс/см ²	Пропускная способность по Ф-12 (при $\Delta p=0,2$ н $P_{вк} = 1$ кгс/см ²), кг/ч
АДДК-15	«До себя»	15	0,5—3,5	0,3	78
АДД-20	» »	20	0,9—3,3	—	125
АДД-40М	«После себя»	40	0,35—2	0,2	500

* С точностью $\pm 0,1$ кгс/см².

дания воды и быстрой коррозии. Гайка 6 регулирует натяжение пружины, т. е. величину начала открытия клапана.

Диапазон начала открытия клапана регулируется от 5 до 10 кгс/см² (изб) для ВР, работающих на фреоне-12, и от 8 до 16 кгс/см² — на аммиаке и фреоне-22. Диапазон пропорциональности — 2 кгс/см². Гистерезис не более 0,3 кгс/см².

Пропускная способность $K_{V_{\max}}$ при перепаде давлений 1 кгс/см²:

Условный диаметр, мм	10	15	20	25	32	40	50
Расход воды, т/ч	0,63	1,6	2,5	4	6,3	10	16

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ, ЗАПИСИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Термометры показывающие и записывающие

Для измерения температуры на холодильных установках применяют жидкостные термометры, dilatометрические, манометрические термометры, термометры сопротивления и термоэлектрические термометры. В главе II были рассмотрены чувствительные элементы, преобразующие изменение температуры в другие параметры. Кроме этих элементов термометры имеют еще шкалу или комплектуются вторичным прибором для измерения электрических величин, причем шкала последних также градуируется в единицах температуры.

Жидкостные термометры. Эти термометры, как наиболее простые и дешевые, находят в холодильной технике широкое применение. Техническая характеристика наиболее употребительных жидкостных термометров приведена в табл. 7.

При выборе термометра необходимо обращать внимание на диапазон шкалы и цену деления. Нижний предел измерения у ртутных термометров ограничен точкой замерзания ртути (-39°C). Для измерения более низких температур применяют спиртовые или толуоловые термометры. Точность измерения определяется ценой

Термометры	Тип	Диапазон шкалы, °С	Цена деления, °С
АН ₁	Ртутный, технический, прямой	0÷50	0,5
АН ₂	То же	—35÷50	0,5 и 1
АН ₃	» »	0÷100	1
АН ₄	» »	0÷150	1 и 2
АН ₅	» »	0÷200	2
Б-IV №1	Ртутный, лабораторный	—30÷20	0,1
Б-III №1	То же	—30÷20	0,2
Б-IV №2	» »	0÷50	0,1
ТЛ-15	Толуоловый	—100÷20	1
Метеорологический	Спиртовой, низкоградусный	—65÷25	0,5

деления термометра. Для эксплуатационных измерений подходят термометры с ценой деления 0,5—1°С. Однако для измерения небольшой разности температур (например, при нагреве воды в конденсаторе, охлаждении рассола в испарителе) требуются термометры с ценой деления 0,1—0,2°С, так как при нагреве воды, например на 4°С, ошибка измерения в 1° на входе в конденсатор и 1° на выходе из него даст относительную погрешность измерения 2:4=50%.

При заказе термометров надо указать полное его обозначение и номер стандарта. Например: «термометр А№2-0,5-220-160, ГОСТ 2823—59». Буква А означает «прямой» (изогнутые термометры для холодильных установок почти не применяются), № 2 — диапазон шкалы (от —35 до 50°С), 0,5 — цена деления, 220 — длина шкалы, 160 — длина погружаемой части (удобна также длина 80 и 100 мм).

Для измерения температуры в шкафах и прилавках на предприятиях общественного питания ртутными термометрами пользоваться не следует, так как попадание ртути в пищевые продукты может вызвать отравление. И вообще стеклянные термометры требуют очень осторожного обращения с ними.

Дилатометрические термометры. В дилатометрических термометрах тепловое расширение твердых тел преобразуется в перемещение стрелки, показывающей на шкале измеряемую температуру. Однако коэффициент линейного расширения твердых тел меньше, чем жидкостей. Поэтому точность измерения у дилатометрических термометров ниже. Кроме того, конструктивно они сложнее, чем жидкостные.

Дилатометрические термометры удобно применять для измерения температуры в шкафах и прилавках, где не требуется высокая точность измерения ($\pm 1^\circ\text{C}$) и применение жидкостных термометров нежелательно.

Для автоматической записи температуры в охлаждаемом объекте и наружной температуры воздуха на малых установках применяют метеорологический термограф М-16 с биметаллическим чувствительным элементом (рис. 62, а). Часто его дополняют устройством для регистрации цикличности работы компрессора (термограф — циклограф).

Термограф состоит из барабана 2, который приводится в движение часовым механизмом с суточным или недельным заводом, биметаллической пластины 3, укрепленной на кронштейне 6, и стрелки 3, ось которой рычагом 5 соединена с подвижным концом пластины 8. Все узлы собраны в пластмассовом корпусе 10 и закрыты крышкой 1 с тремя стеклянными сторонами. Сменное перо на стрелке заполняется специальными густыми чернилами; на барабане укрепляется лента.

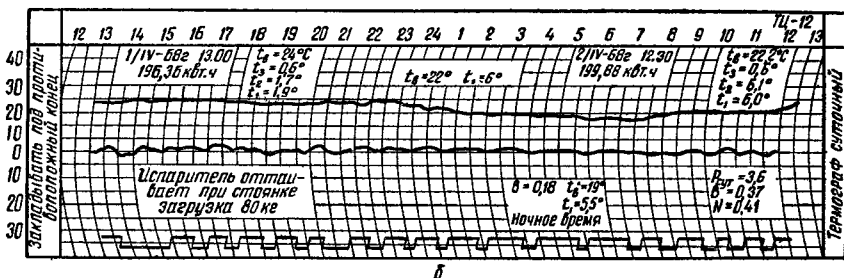
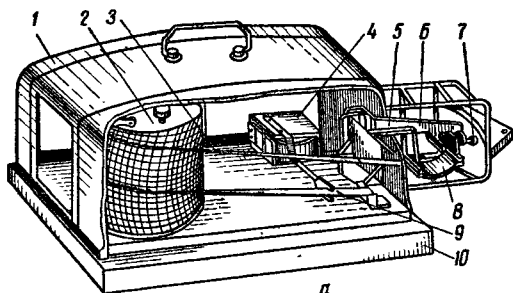


Рис. 62. Термограф-циклограф:
а — общий вид; б — термограмма.

Через 15—20 мин после подключения на ленте появляется горизонтальная линия (термограмма). Если запись по термограмме расходится с фактической измеряемой температурой, то, вращая винт 7, перемещают перо, пока не достигнут совпадения действительной и записываемой температур.

Для снятия циклограммы (рис. 62, б) на ремонтно-монтажных комбинатах в термограф М-16 встраивают катушку 4 (от реле МКУ-48), сердечник которой опускает или поднимает стрелку циклографа 9. При обработке результатов записи на термограмму-циклограмму иногда наносят еще температуру окружающей среды (верхняя кривая), записывают показания электросчетчика и делают другие необходимые пометки.

Пределы показаний термографа М-16 от -35 до $+45^{\circ}\text{C}$; основная погрешность измерения $\pm 1^{\circ}\text{C}$; габариты $140 \times 340 \times 200$ мм.

Манометрические термометры. Простейший манометрический термометр представляет собой манометр, к входу которого припаяна ка-

пиллярная трубка с термобаллоном, наполненным газом, жидкостью или твердым адсорбентом (см. рис. 38). Шкала градуируется в °С. Газовые манометрические термометры заполняются азотом при давлении 10—35 кгс/см² и имеют равномерную шкалу (0—300 или 0—400°С). Конденсационные манометрические термометры заполняются жидкостью с низкой температурой кипения: углекислотой (шкала от —60 до 0°С), фреоном-12 (от —20 до +40°С), хлорметилом (0—150°С) и бензолом (100—250°С). Шкалы у них неравномерные, сильно сжатые вначале. Показывающие термометры этого типа (ТПГ) имеют класс точности 1 и 1,5. Они могут иметь электроконтакты для сигнализации. Их удобно использовать в торговом холодильном оборудовании, чтобы контролировать температуру в шкафах, не открывая дверцы. В самопишущих термометрах ТПГ круговая диаграмма приводится в движение синхронным электродвигателем либо часовым механизмом.

Термометры сопротивления. Термометром сопротивления называют прибор, преобразующий изменения температуры в соответствующие изменения электрического сопротивления. Он состоит из чувствительного элемента — металлического или полупроводникового терморезистора (см. рис. 40) с защитной и присоединительной арматурой и вторичного прибора, который преобразует изменение сопротивления в перемещение стрелки. Вторичный прибор включает в себя электрическую схему для преобразования изменения сопротивления в изменение силы тока или напряжения (см. рис. 34) и устройство для преобразования активных электрических величин в перемещение стрелки (см. рис. 35 и 36).

Наибольшее распространение получили медные и платиновые термометры сопротивления (ТСМ и ТСП). Основные параметры их приведены в табл. 8.

Таблица 8

Термометры сопротив- ления	Номинальное сопро- тивление при 0°С, Ом	Обозначение градуировки	Диапазон измерения, °С	
			от	до
ТСП	10	Гр. 20	0	650
»	46	» 21	—200	500
»	100	» 22	—200	500
ТСМ	53	» 23	—50	180
»	100	» 24	—50	180

Термометры сопротивления градуируются при сопротивлении подводящих проводов 5 или 10 Ом. Если при измерении температуры фактическое сопротивление проводов меньше градуировочного, то вводят дополнительное сопротивление; при большой длине проводки, чтобы сопротивление не превысило градуировочного, применяют провода увеличенного сечения.

Термометры сопротивлений отличаются большой точностью (до 0,1°С) и стабильностью показаний. Динамические свойства их опре-

деляются постоянной времени. У термометров с большой тепловой инерцией (типа БИ) она не превышает 4 мин, со средней тепловой инерцией (СИ) 80 с и малой (МИ) — 9 с. Сравнительно большая их инерционность мешает уловить быстрые изменения температуры. Габариты термометров сопротивления не позволяют использовать их для измерения температуры в труднодоступных местах.

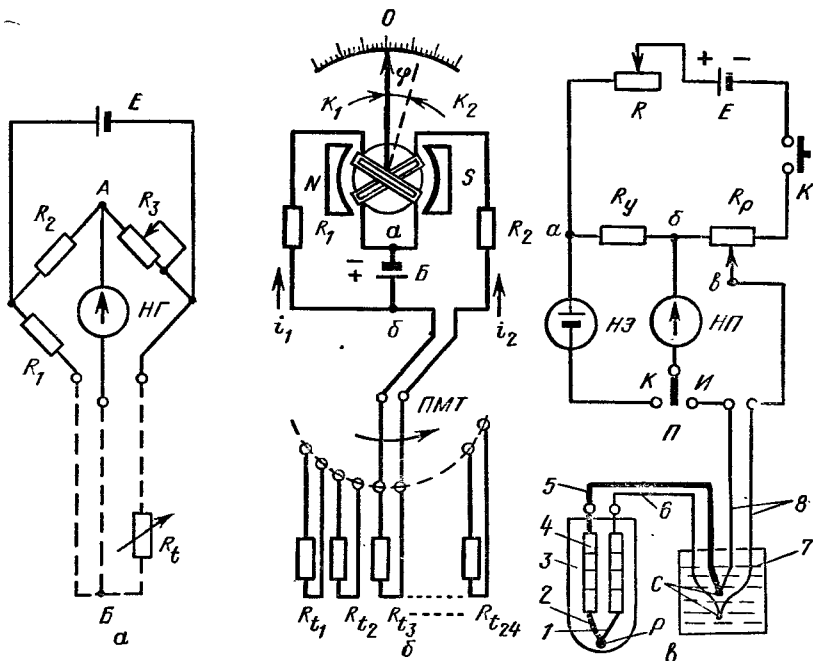


Рис. 63. Электрические термометры:
 а — трехпроводная схема уравновешенного измерительного моста; б — логометр; в — термоэлектрический термометр.

Полупроводниковые термометры сопротивления — термисторы — по сравнению с медными и платиновыми термометрами сопротивления имеют ряд преимуществ: 1) более высокую чувствительность, что позволяет упростить схему вторичного прибора; 2) меньшую инерционность (постоянная времени у них 0,1—50 с); 3) компактность; 4) большое начальное сопротивление (несколько тысяч Ом), что позволяет увеличить сопротивление соединительных проводов более чем в 5 раз (для проводки применяют телефонный кабель диаметром 0,5 мм). Область применения термисторов непрерывно расширяется.

Недостаток термисторов — неустойчивость номинальных значений их сопротивлений, поэтому погрешность измерений составляет не менее $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Для устранения погрешностей, связанных с изменением общего сопротивления вследствие изменения температуры в подводящих про-

водах, термометры сопротивления подключают к вторичному прибору по так называемой трехпроводной схеме (рис. 63, а). В этой схеме изменение температуры вызывает одновременное изменение сопротивления двух подводящих проводов, находящихся в соседних плечах моста, что не отражается на точности измерений. Для большей точности измерений лучше применять показанную на рис. 63, а схему равновесного моста, работающего по компенсационному методу. При изменении температуры и соответственно сопротивления R_1 стрелка нуль-гальванометра $НГ$ отклоняется от нуля. Переменным сопротивлением R_3 добиваются, чтобы стрелка снова вернулась на нуль (нулевое положение фиксируется значительно точнее, чем другие положения на шкале). Рукоятка R_3 связана со стрелкой шкалы вторичного прибора.

Для дистанционного измерения температуры в нескольких камерах применяют многоточечные переключатели (ПМТ), которые позволяют поочередно подключать термометры сопротивлений, установленные в камерах, к одному вторичному прибору. На рис. 63, б показана схема подключения 24 термометров сопротивления ко вторичному прибору — логометру. Ток, создаваемый батареей B , в точке b разветвляется; часть i_1 проходит через сопротивление R_1 и катушку логометра K_1 , а другая часть i_2 идет через термометр сопротивления одной из камер (например, R_{12}), сопротивление R_2 и другую катушку логометра — K_2 . С возрастанием отношения токов $i_1 : i_2$ угол поворота стрелки φ увеличивается (см. рис. 35, в).

Термоэлектрические термометры. Чувствительным элементом термоэлектрического термометра является термопара (см. рис. 40, з). Термо-э.д. с., создаваемая термопарой, зависит почти пропорционально от разности температур спаев и от материалов выбранной пары.

Зависимость термо-э.д.с. от температуры рабочего спая, если температура второго спая (свободного) равна $0^\circ C$, дана в табл. 9.

Таблица 9

Термопара	Термо-э. д. с. термопар (в мВ) при температуре, $^\circ C$				
	-200	-100	0	100	200
Медь-константан	-5,54	-3,35	0	4,28	9,29
Хромель-алюмель	-5,75	-3,49	0	4,10	8,13
Железо-константан	-8,27	-4,82	0	5,40	11,0

Промышленные термопары имеют длину от 0,2 до 3,2 м. Рабочий конец термопары P (рис. 63, в) обычно соединяют сваркой. Электроды термопары 1 и 2 изолируют фарфоровыми бусами или соломкой 4. Для защиты от химического воздействия и механических повреждений термопару помещают в металлический чехол 3.

Инерционность термопар зависит от диаметра термоэлектродов и от защитной арматуры. По инерционности технические термопары

делятся на три группы: БИ (время нагрева* 2,5—8 мин), СИ (1,5—2,5 мин), МИ (менее 1,5 мин).

При измерении свободные концы термопары *C* помещают в термостат 7, где поддерживается температура 0°C. Для удлинения термопары к ней подсоединяют компенсационные провода 5 и 6, термоэлектрические свойства которых такие же или близки соответственно термоэлектродам 1 и 2. От свободных концов *C* подсоединение к вторичному прибору осуществляют медными проводами 8.

В качестве вторичного прибора применяют милливольтметры или потенциометры. Милливольтметры магнитоэлектрической системы, как показывающие и самопишущие, так и сигнализирующие (трехпозиционные), в комплекте с термопарой (термометрический комплект) имеют класс точности 1—1,5.

Для более точных измерений применяют потенциометры, работающие по компенсационному методу. На рис. 63, в представлена схема простейшего переносного потенциометра типа ПП. Источником питания служит сухой элемент *E*, выходное напряжение которого регулируется сопротивлением *R*. При замыкании контакта *K* (контроль) переключателя *П* сопротивление *R* подбирают так, чтобы потеря напряжения от батареи *E* на сопротивлении *R_y* была равна э. д. с. нормального элемента *НЭ* (1,018 В). При этом стрелка нуль-прибора *НП* останется на нуле. При замыкании контакта *И* (измерение) через *НП* пройдет ток, создаваемый термопарой. Для измерения термоэ. д. с. термопары необходимо ползунком реохорда *R_p* создать такой ток в цепи *E — a — б — К*, чтобы падение напряжения на участке реохорда *б — в* было равно и противоположно по знаку термоэ. д. с. термопары. Это точно фиксируется установкой на нуль стрелки *НП*. Положение ползунка реохорда на шкале показывает измеряемую температуру.

Класс точности контрольных потенциометров типа ПП-63 равен 0,05, что позволяет измерять температуру при индивидуальной тарировке термопар с погрешностью не более $\pm 0,1^\circ$ С. При измерении температур в нескольких точках (с многоточечным переключателем) и пользованием общим тарировочным графиком погрешность составляет $\pm 0,5^\circ$ С. В этом случае используют технические потенциометры класса 0,5.

Электронный самопишущий уравновешенный мост ЭМП-209М2. Этот прибор применяют на крупных холодильниках для одновременной записи температур в нескольких камерах. Мост ЭМП-209М2 (рис. 64) может иметь до 24 термометров сопротивления (*R_{t1}*, *R_{t2}* и т. д.), которые поочередно переключателем *П* подключаются к измерительному мосту *М*. Переключатель приводит в действие синхронным двигателем *СД*, который одновременно вращает барабан с ленточной диаграммой *ЛД*, прижимает каретку *К* через окрашенную ленту к диаграмме и поворачивает колесико с цифрами, дающее отпечаток на диаграмме номера измеряемой точки.

* Время нагрева примерно равно трем постоянным времени.

Равновесие моста (равенство напряжений в точках *a* и *б*) возможно только при условии $R_1 R_3 = R_1 R_2$. Сопротивления R_1 и R_2 подбирают так, чтобы при среднем (по шкале) значении температуры (и соответствующем сопротивлении R_1) движок реохорда R_3 находился в среднем положении. Тогда изменение температуры и R_1 приводит к нарушению равновесия, на вход усилителя подается напряжение $U_a - U_b$ и реверсивный двигатель РД, обмотки которого являются выходной нагрузкой усилителя, начинает вращаться, передавая

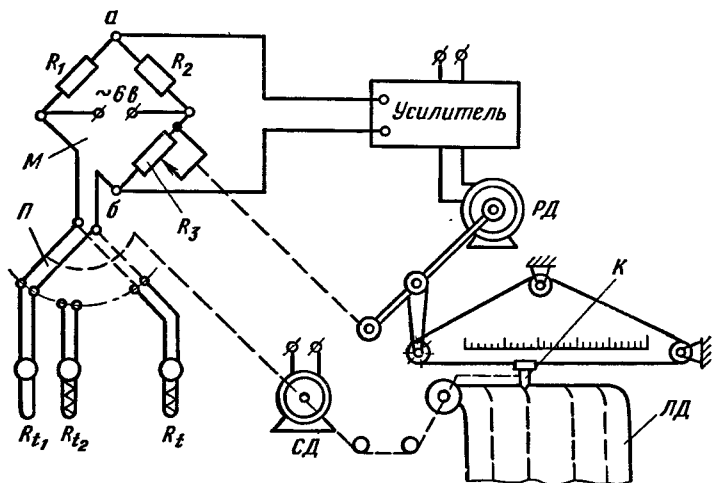


Рис. 64. Упрощенная схема самопишущего уравновешенного моста ЭМП-209М2.

движение через систему шестерен и гибкий трос каретке *К*. Одновременно двигатель перемещает движок реохорда R_3 пока мост снова не придет в равновесие. Подаваемое на усилитель напряжение станет равным нулю, двигатель остановится и каретка *К* займет положение, соответствующее измеряемой температуре.

Для позиционного регулирования температуры в одной из точек приборы типа ЭМП-209М2 могут снабжаться тремя ртутными контактами и задающим устройством, которое позволяет регулировать дифференциал в пределах 1—20% диапазона показаний моста.

Реверсивный двигатель РД может не только перемещать каретку для записи температуры, но и приводить в действие любой другой исполнительный механизм, регулирующий температуру в объекте. Прибор в этом случае превратится в астатический регулятор температуры.

В настоящее время выпускается много различных модификаций электронных мостов типа ЭМП. Комплекуются они платиновыми термометрами сопротивления (градуировки 21 и 22). Они имеют шкалы: $-200 \div -70^\circ \text{C}$; $-120 \div +30^\circ \text{C}$; $-100 \div +50^\circ \text{C}$ и $-90 \div +50^\circ \text{C}$. Число точек измерения — 1, 3, 6, 12 и 24. Погрешность изме-

рения $\pm 0,5\%$ от диапазона измерений. Ширина ленты для записи 275 мм. Габариты $507 \times 483 \times 387$. Масса 50 кг.

Аналогичные малогабаритные мосты МСР-1 и МСР-2 имеют ширину ленты 160 мм и дополнительный регулирующий контакт. Габариты $300 \times 400 \times 287$ мм. Масса около 20 кг. Эти мосты выпускают и в искробезопасном исполнении, пригодные для взрывоопасных помещений (модель ЭМП-109ИМЗ).

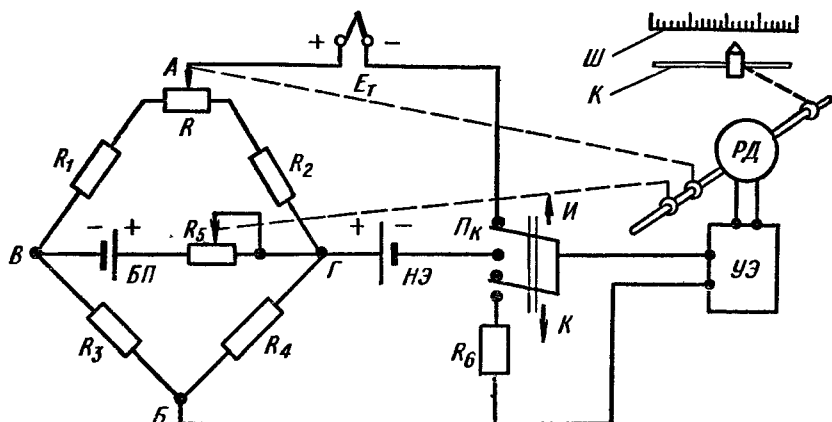


Рис. 65. Измерительная схема одноточечного потенциометра ЭПП-09М2.

Электронные мосты типа ЭМР-209 РМЗ имеют 6 или 12 точек регулирования. Выходные реле (двух- или трехпозиционные) поочередно подключаются к опрашиваемой точке и фиксируются после срабатывания до момента следующего опроса. Эти мосты имеют встроенный задатчик отдельно на каждую точку регулирования. Мосты ЭМР-РДМЗ имеют дистанционное задающее устройство на 6 или 12 точек. Они также выпускаются в искробезопасном исполнении (ЭМР-109РДИМЗ).

Электронный потенциометр ЭПП-09М2. Электронные автоматические потенциометры служат для измерения температуры при помощи термопар, а также могут быть использованы для измерения и регулирования других параметров, если чувствительный элемент преобразует этот параметр в э. д. с., величина которой близка по значению э. д. с., создаваемой термопарой. Схема прибора показана на рис. 65.

Мост питается от источника постоянного тока (батарея БП). Сопротивления плеч моста подобраны так, что разность потенциалов в точках А и В (при заданной средней температуре в объекте) равна э. д. с. термопары E_T , но направлена в обратную сторону. При изменении температуры э. д. с. термопары будет больше (или меньше) потенциала U_{AB} . Этот сигнал рассогласования ($E_T - U_{AB}$) подается на электронный усилитель УЭ, который приводит во вращение реверсивный двигатель РД. Двигатель перемещает каретку К по шкале

и движок реостата R . Когда новое значение потенциала $U_{ав}$ станет равным новому значению E_T , двигатель остановится и каретка с указателем покажет по шкале значение измеряемой температуры (э. д.с.).

Для проверки силы тока, проходящего через плечи моста, переключатель P_K автоматически через определенные интервалы времени опускается вниз (K — контроль). Падение напряжения на сопротивлении R_4 должно быть равно э. д. с. нормального элемента (батарея $HЭ$). Если батарея питания не дает требуемой силы тока, падение напряжения $U_{БГ}$ будет меньше, чем $U_{HЭ}$. Это отклонение через усилитель вызовет вращение двигателя, и подключенный к нему на время контроля движок реостата изменит сопротивление R_5 , пока сила тока не примет заданного значения. После этого переключатель P_K переключается на измерение (I).

Величина рассогласования при контроле может быть значительно больше э. д. с. термопары при измерении. Для уменьшения напряжения, подаваемого на вход усилителя при контроле, добавлено сопротивление R_6 (делитель напряжения).

Приборы выпускают в различных модификациях, которые могут работать с чувствительными элементами, создающими э.д.с. 0—20; 0—50; 0—100; $-10 \div +10$ и $-100 \div +100$ мВ. Соответственно термопары могут обеспечить диапазоны температур: $-50 \div +50$; $-50 \div +100$; $-50 \div +150$; 0—100 и далее до 1000—1800° С.

Остальные показатели такие же, как и у электронных мостов типа ЭМП.

Реле температуры

Ртутно-стеклянные реле типа ТК. Реле типа ТК (термометр контактный) представляет собой ртутный термометр, в капиллярной трубке которого впаяны проволочные контакты (рис. 66). Нижний контакт (нулевой) всегда касается ртути, верхние (рабочие) — только при соответствующем повышении температуры. Выпускается несколько модификаций этих реле.

Реле ТК-1 и ТК-4 не имеют шкалы. Рабочие контакты впаявают в места шкалы, которые соответствуют заданным температурам замыкания. Реле ТК-1 и ТК-2 имеют по одному рабочему контакту, ТК-3 и ТК-4 — по два (рис. 66а, б). Допускается увеличение температуры выше верхней расчетной на 30° С. Реле ТК-1 и ТК-3 имеют прямую нижнюю часть, ТК-2 и ТК-4 — изогнутую под углом 90°.

У реле ТК-1—ТК-4 диапазон температуры размыкания $-5 \div +70$ или 0—100° С, дифференциал (нерегулируемый) 0,2° С, погрешность 1 или 2% от диапазона. Разрывная мощность контактов 2В·А. Диаметр корпуса 5 мм. Масса 0,1—0,2 кг. Длина $L = 50 \div 80$ мм для шкалы $-5 \div +70$ ° С и 90—130 (с интервалом 10 мм) — для шкалы 0—100° С. Длина нижней части l моделей ТК-2 и ТК-4 — соответственно 50—100 и 50—300 мм.

Реле ТК-5 в отличие от указанных выше имеет шкалу. Число рабочих контактов — от одного до трех. Нижняя часть может быть прямая или изогнутая под углом 135 и 90°. Диапазон температуры раз-

мыкания (в °С): 0—50; 0—100; 0—200; 0—300 и 80—180. Цена деления (соответственно): 1; 0,5 или 1; 2; 5 и 1° С.

Дифференциал равен 0,2° С (нерегулируемый). Разрывная мощность контактов 2 В·А, допустимое напряжение 6 В. Диаметр ножки 9 мм, длина—85, 130, 180, 230, 380, 430 и 530 мм.

Реле ТК-6 и ТК-8 (рис. 66, в) имеют передвижной рабочий контакт. При вращении магнита 1 головка 2 винта 3 поворачивается (следует за магнитом 1) и овальная гайка 4 перемещается внутри

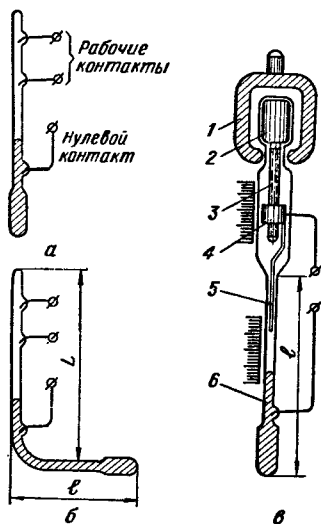


Рис. 66. Ртутно-стеклянные контактные термометры:

а — с постоянными контактами бесшкальные ТК-3; б — то же, марки ТК-4; в — с магнитным перемещением контакта марки ТК-6.

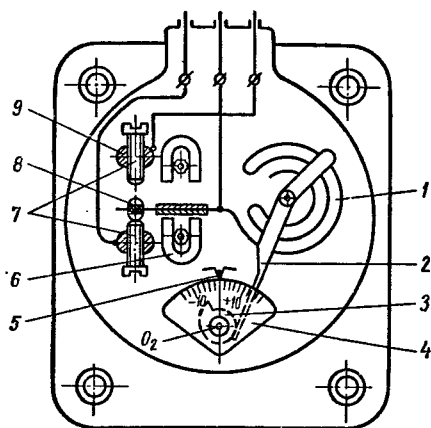


Рис. 67. Реле температуры типа ДТКБ.

овальной трубки вверх или вниз. На этой гайке укреплена вольфрамовая проволока 5, нижний конец которой устанавливается на требуемой высоте. При повышении температуры ртуть 6 достигает проволоки 5 и замыкает цепь нулевого и рабочего контакта. В отличие от ТК-6 в модели ТК-8 магнит имеет защитный кожух.

Приборы имеют две шкалы: нижняя служит для измерения температуры, а верхняя для настройки на заданную температуру. Приборы выпускаются с диапазоном 0—50, 0—100, 50—150, 100—200 и 200—300° С. У первого диапазона цена деления 1° С, у других 2° С. Допустимая погрешность равна цене деления. Другие показатели характеристики такие же, как и у модели ТК-5.

Основное преимущество ртутно-стеклянных контактных термометров — простота конструкции и малый дифференциал (0,2° С). Применение их ограничено по следующим причинам: 1) приборы с ниж-

ним рабочим контактом на минусовые температуры не выпускаются; 2) необходимость установки промежуточного реле из-за малой разрывной мощности контактов; 3) потребность в трансформаторе из-за низкого допустимого напряжения.

Реле температуры биметаллические типы ДТКБ. Чувствительным элементом реле ДТКБ служит спиральная биметаллическая пластина 1 (рис. 67). При повышении температуры конец пластины с подвижным контактом 8 перемещается вверх, замыкая верхний контактный винт 7. В некоторых моделях имеется второй контактный винт 7, который замыкается при понижении температуры. Постоянные магниты 6 обеспечивают резкость размыкания контактов.

Регулировка прибора на заданную температуру включения достигается поворотом оси O_2 , на которой имеется съемная рукоятка. Кулачок 3 поворачивает при этом рычаг 2. Это вызывает поворот всей спиральной пластины и изменение расстояния между контактами. При увеличении расстояния между контактным винтом 7 (верхним) и контактом 8 потребуется более высокая температура для их замыкания. На оси O_2 укреплена подвижная шкала 4. Деление шкалы, оказавшееся против неподвижной стрелки 5, показывает настройку температуры выключения.

Дифференциал прибора зависит от силы притяжения биметаллической пластины к магниту. Это усилие регулируется изменением зазора между магнитом и пластиной, который имеется при замкнутом положении контактов. При повороте винта 7 в стойке 9 (соответственно верхнего или нижнего) по направлению к контакту 8 зазор между контактами уменьшится, а между магнитом и пластиной увеличится, что вызывает уменьшение дифференциала. Для уменьшения дифференциала можно также отодвинуть магнит от пластины и укрепить его гайкой в новом положении.

Диапазон регулирования средней температуры по шкале у моделей ДТКБ-42 — ДТКБ-47 соответственно равен $-30 \div 0$; $-10 \div +10$; $10 - 30$; $15 - 25$; $20 - 50$ и $0 - 30^\circ \text{C}$, у ДТКБ-54 — от 0 до 10° ; у ДТКБ-56 — от 25 до 35°C . Соответственно такие же диапазоны имеют реле ДТКБ модификации 48—53, 57 и 56, но замыкание контактов у них происходит при понижении температуры. Цена делений у приборов со шкалой 10 и 20°C равна 1° , у приборов со шкалой 30° она равна 2°C .

Дифференциал регулируется от 2 до 8°C . Разрывная мощность контактов при 220 В равна 50 В·А. Эти реле надежно работают в сравнительно сухих помещениях.

Манометрические реле температуры. Приборы этого типа обычно выпускаются на базе одноблочных реле давлений. Для этого сильфонную коробку соединяют капиллярной трубкой с термобаллоном, заполненным легкокипящей жидкостью или газом с твердым адсорбентом (см. рис. 38). С повышением температуры давление в замкнутой системе (термобаллон—трубка — сильфон) растет и передается на рычажный механизм реле.

Электроконтактный термометр типа ЭКТ выпускается на базе электроконтактных манометров (см. рис. 54).

Чувствительным элементом у них является термобаллон, заполненный жидкостью (у ЭКТ-1) или газом (у ЭКТ-2) и соединенный капиллярной трубкой с трубчатой пружинной манометра. ЭКТ, как и ЭКМ, представляет собой трехпозиционное реле. Статическая характеристика его дана на рис. 24.

Диапазон температур размыкания зависит от наполнителя: с углекислотой от -60 до 0°C ; с фреоном-12 от -20 до 40°C ; с хлорметилом $0-60$ и $0-100$; с бензолом $50-150$, $60-200$ и $100-250$; с газообразным азотом $0-300$ и $0-400^{\circ}\text{C}$. Общий дифференциал регулируется в пределах шкалы. Частный дифференциал равен $0,5^{\circ}\text{C}$. Основная погрешность $2,5\%$ от диапазона. Разрывная мощность контактов $10\text{ В}\cdot\text{А}$. Длина капилляра от $1,6$ до 10 м .

Реле температуры типа ТР имеет несколько модификаций. Конструкция реле ТР-1 и ТР-1Б аналогична реле давления РД-1Б. У реле температуры ТР-2Б в отличие от ТР-1Б повышение температуры приводит к размыканию контактов. Реле этого типа выпускаются также во взрывобезопасном исполнении (ТР-1ВМ) и в морском исполнении (ТР-5М). Реле ТР-5М имеет переключающийся контакт с тремя выводными клеммами. Термобаллон его может быть гладким (для жидкой среды) или оребренным (для воздуха). Тип термобаллона надо указывать при заказе прибора.

Реле ТР-2А-06ТМ предназначено для отключения фреоновых и аммиачных компрессоров при опасном повышении температуры нагнетания. Может применяться во взрывоопасных помещениях класса В-16. Имеет морское и тропическое исполнение.

Техническая характеристика указанных типов реле приведена в табл. 6.

Таблица 10

Реле температуры	Диапазон настройки, $^{\circ}\text{C}$	Дифференциал, $^{\circ}\text{C}$		
		минимальный (не более)		максимальный (не менее)
		на верхней точке диапазона	на нижней точке диапазона	
ТР-1Б-01, ТР-2Б-01, ТР-5М-01	$-35 \div -5$	1,8	2,8	6
ТР-1-02Х, ТР-1Б-02, ТР-2Б-02, ТР-5М-02, ТР-1ВМ-02	$-20 \div +10$	1,8	2,8	6
ТР-1Б-03, ТР-2Б-03, ТР-5М-03	$5-35$	2,5	2,5	6
ТР-1ВМ-03	$5-35$	2,5	2,5	8
ТР-1Б-04, ТР-2Б-04	$30-60$	2,2	2,8	6
ТР-2А-06ТМ	$60-160$	15	(нерегулируемый)	

Основная погрешность реле при 20°C равна 1°C (у ТР-2А она равна 5°C). Непостоянство срабатывания не более $0,3^{\circ}\text{C}$ (у ТР-2А—

не более 2°C). Длина капиллярной трубки $3 \pm 0,2$ м. У реле с диапазоном от -35 до $+10^{\circ}\text{C}$ (с индексом 01 и 02) система заполнена фреоном-12; реле с диапазоном от $+5$ и до 160°C (с индексом 0,3, 04 и 06) имеют адсорбционный наполнитель.

Разрывная мощность контактов при переменном напряжении 220 В равна 300 В·А.

При монтаже реле с парожидкостным наполнителем корпус прибора должен всегда находиться при температуре, превышающей температуры измеряемой среды более чем на 5°C , иначе возможна конденсация пара в сильфоне и термобаллон перестанет реагировать на изменение температуры. Поэтому не следует корпус реле устанавливать в холодильных камерах.

Реле температуры АРТ-2 предназначено для домашних холодильников. Схема его показана на рис. 68, а.

При повышении температуры капиллярной трубки 1 (она заменяет термобаллон) доньшко сильфона 2 перемещается вверх, преодолевая усилие пружины 16. Выступ на доньшке сильфона поворачивает рычаг 4; тяга 5 поднимается и, нажимая на винт дифференциала 7, поворачивает рычаг 6 вокруг оси O_1 против часовой стрелки. Когда конец O_3 плоской пружины 13 перейдет за линию O_2-O_4 , пружина 13 опрокинется вправо и конец ее O_4 , опускаясь, поведет за собой рычаг 14 вокруг оси O_2 , пока подвижные контакты 15 не замкнут электрическую цепь. Схема изменения усилий перекидной пружины 13 была показана на рис. 33, в.

При понижении температуры пружина 16 отожмет вниз доньшко сильфона и под действием пружины 3 тяга 5 опустит рычаг 6 вниз. Когда ось O_3 опустится ниже линии O_2-O_4 , контакты под действием пружины 13 резко разомкнутся.

Дифференциал прибора регулируется только при изготовлении. Винт 7 устанавливают так, чтобы свободный ход зуба тяги 5 обес-

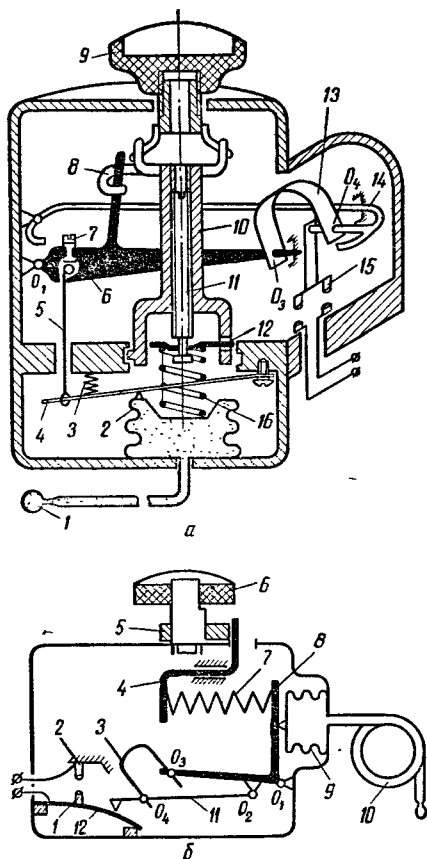


Рис. 68 Конструктивная схема реле температуры для домашних холодильников:

а — АРТ-2; б — ТРХ-1.

печивал требуемый дифференциал (обычно 7—8° С), и затем пломбируют (головку винта закрашивают).

Температуру выключения (и соответственно включения) регулируют изменением натяжения пружины 16. При повороте рукоятки 9 нижний зуб штока 10 скользит по винтообразному срезу и шток перемещается вверх или вниз через шайбу с выступом 12, воздействующую на пружину 16. При повороте рукоятки 9 по часовой стрелке на один оборот (из положения «Выкл» в положение «Холод») температура выключения понижается примерно на 8°С (от —8 до —16° С). При необходимости дополнительно понизить температуру выключения надо снять рукоятку 9 и повернуть отверткой (диаметром 2 мм) винт диапазона 11 против часовой стрелки.

При повороте рукоятки в положение «Выкл.» зуб 8 отводит выступ рычага 6 вправо, обеспечивая принудительное размыкание контактов.

Длина капиллярной трубки примерно 50 см. Ее крепят к испарителю, а сам прибор — на лицевой панели холодильника.

Аналогично работает реле температуры ТРХ (рис. 68, б). При нагревании капиллярной трубки 10 давление фреона-12 в сильфоне 9 возрастает и рычаг 8, преодолевая усилие пружины 7, отводит ось O_3 перекидной пружины 3 ниже линии $O_4 - O_2$. При этом рычаг 11 резко поднимается вверх до упора и освободившаяся пружинящая пластинка 12 с подвижным контактом 1 соединит его с контактом 2. Регулировка заданной температуры осуществляется поворотом рукоятки 6. Кулачок 5 при этом отжимает пластину 4, которая по прорезам в корпусе перемещается вправо, поджимая пружину 7. При максимальном натяжении пружины кулачок фиксирует принудительное замыкание контактов.

Диапазоны регулирования температуры выключения реле ТРХ-1 от —18 до —8° С; у ТРХ-2 и ТРХ-3 соответственно —15 ÷ —7° С и —27 ÷ —12° С. Дифференциал (нерегулируемый) примерно 7—10° С. Точность настройки $\pm 1,25^\circ\text{C}$. Разрывная мощность контактов 500 В · А. Вес прибора менее 100 г. Прибор массового изготовления. После сборки заливается пластмассой и не ремонтируется.

Полупроводниковые реле температуры типа ПТР. Эти реле состоят из мостовой схемы, в одном из плеч которой имеется полупроводниковое термосопротивление (термистор), усилителя и двух-или трехпозиционного выходного реле.

В двух позиционном реле ПТР-2 (рис. 69) измерительный мост питается переменным напряжением 6 В. Задающее переменное сопротивление выбрано так, чтобы при среднем его значении и заданной температуре мост находился бы в равновесии ($R_1 R_3 = R_1 R_2$). При повышении температуры сопротивление R_1 падает и равновесие нарушается, на вход усилителя $Ус$ подается сигнал. Усиленный сигнал подается на фазочувствительный усилитель $ФУс$ (см. рис. 49). При повышении температуры фаза подаваемого сигнала совпадает с фазой, питающей $ФУс$, сигнал усиливается, подается на триггер T (см. рис. 51, д) и выходное реле P , включенное в цепь триггера, при температуре $t_{ср}$ срабатывает. Выходные контакты реле $P-1$ и

$P-2$ размыкают или замыкают внешнюю цепь, а контакт $P-3$, разомкнувшись, подключает к R_1 дополнительное сопротивление R_d . Если $R_d = 0$ (движок в нижнем положении), то температура отпущения реле $t_{отп}$ ненамного ниже $t_{ср}$, т. е. дифференциал минимальный. Когда $R_d \neq 0$ мост при размыкании $P-3$ перенастраивается, т. е. равновесие моста наступает при более низкой температуре, что соответствует увеличению дифференциала.

Приборы ПТР-2 выпускают в двух вариантах: в варианте *А* реле срабатывает при повышении температуры, в варианте *Б* — при понижении. В варианте *Б* в отличие от *А* изменяется фаза напряжения, питающего мост, и контакт $P-3$, шунтирующий R_d , является замыкающим. Величина $t_{ср}$ в обоих вариантах практически одинаковая (она и указывается на шкале).

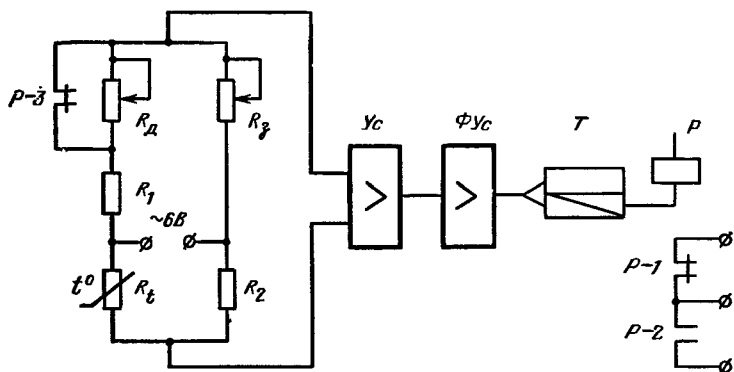


Рис. 69. Упрощенная схема полупроводникового реле температуры ПТР-2.

Диапазон регулирования температуры срабатывания ПТР-2-02 от -30 до -5°C ; ПТР-2-03 от -15 до $+15$; ПТР-2-04 — от 5 до 35 и ПТР-2-05 от 30 до 60°C . Основная погрешность $\pm 1^\circ\text{C}$. Дифференциал регулируется от $0,5$ до 5°C .

В трехпозиционном реле ПТР-3 (рис. 70) имеются два выходных реле. Если температура находится в заданных пределах, то оба реле отпущены и контакты $1P-2$ и $2P-2$ замыкают цепь «Норма». При повышении температуры до $t_{ср}$ срабатывает реле $1P$ и контакт $1P-1$ замыкает цепь «Выше», к которой обычно подключают исполнительный механизм, обеспечивающий снижение температуры. При снижении температуры на частный дифференциал Δt_v реле $1P$ отпускает («Норма»). При дальнейшем снижении температуры до $t_{ср}$, т. е. на общий дифференциал, срабатывает реле $2P$. Статическая характеристика трехпозиционного реле была показана на рис. 24, б.

Устройство ПТР-3 незначительно отличается от ПТР-2. При отклонении температуры от заданной, определяемой сопротивлением R_3 ,

на выходе моста появляется переменное напряжение U_m (рис. 70, б). Когда амплитуда его превысит значение постоянного напряжения (точка 1), которое запирало транзистор усилителя $Ус$ и определялось уставкой сопротивления R_d , на входе в усилитель будет подано напряжение $U_{вх} = U_m - U_0$. После усиления сигнал подается на фазочувствительный усилитель $ФУс$. Коллекторная цепь усилителя имеет две ветви, которые питаются однополупериодными импульсами от разных диодов, смещенными на 180° . Поэтому при повышении температуры разбаланс моста по фазе совпадает с первой ветвью и сигнал подается на первый триггер $1Т$. При понижении температуры амплитуда U_m падает, затем меняет знак, т. е. смещается по фазе на 180° ,

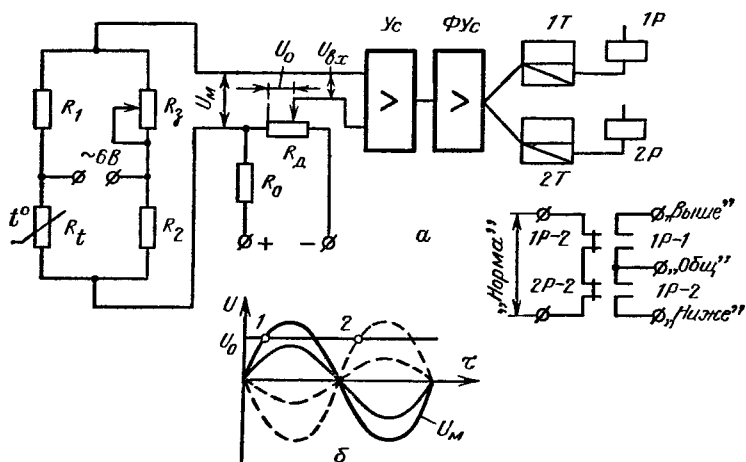


Рис. 70. Полупроводниковое трехпозиционное реле температуры ПТР-3:
а — упрощенная схема; б — схема изменения напряжения на входе в усилитель ПТР-3.

и в точке 2 снова отпирает входной усилитель, но попадает уже на вторую ветвь $ФУс$, и срабатывают второй триггер $2Т$ и $2Р$.

Величина общего дифференциала регулируется сопротивлением R_d от $0,5$ до 5°С . Диапазоны регулирования средней задаваемой температуры у реле ПТР-3-02—ПТР-3-05 такие же, как у ПТР-2-02—ПТР-2-05.

Реле разности температур ПТРД-2 имеет незначительное отличие от ПТР-2 (см. рис. 69). Вместо термистора изменение температуры воспринимают два платиновых термометра сопротивления (градуировка 22), включенные в два соседних плеча измерительного моста. Напряжение разбаланса на выходе из моста у термометров сопротивления меньше, чем у термисторов. Поэтому усилитель имеет не одну, а четыре ступени, собранные на транзисторах. Далее сигнал через фазочувствительный усилитель попадает на триггер и срабатывает выходное реле. Реле срабатывает при увеличении разности температур $t_1 - t_2$ и отпускает при уменьшении этой разности на вели-

чину дифференциала. В приборе есть переключатель, изменяющий сигнал срабатывания ($t_1 - t_2$) на обратный ($t_2 - t_1$). При этом меняются роли термометров.

Диапазон настроек разности температур срабатывания ПТРД-2 от 0 до 5°C с ценой деления шкалы 1° С. Дифференциал регулируется от 0,2 до 1,5° С. Расстояние от датчика до прибора — до 50 м.

Многоточечные реле температуры АМУР. Крупные холодильные установки обслуживают часто по несколько десятков камер. Установка реле температуры на каждую камеру усложняет автоматизацию. В этих случаях целесообразно использовать одно многоточечное реле температуры, например типа АМУР (автоматическая машина управления и регулирования, рис. 71).

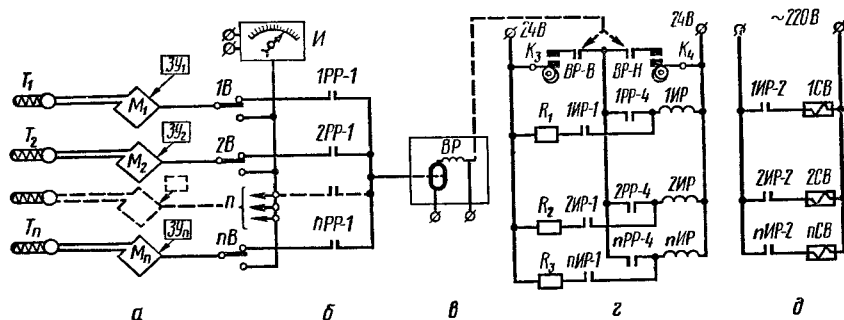


Рис. 71. Схема многоточечного реле температуры АМУР:

а — измерительное устройство температуры в камере; *б* — контакты распределительных реле для поочередного подключения датчиков к усилителю; *в* — усилитель; *з* — цепь включения исполнительных реле; *д* — подключение соленоидных вентиляей.

Число чувствительных элементов в этом приборе (термометры сопротивления T_1, T_2, \dots, T_n) соответствует числу мест измерения (но не более 80). Столько же имеется исполнительных реле ($1ИР, 2ИР, \dots, nИР$) каждое из которых может включать свой исполнительный механизм (например, соленоидный вентиль $1СВ, 2СВ, \dots, nСВ$, открывающий подачу холодильного агента в соответствующую камеру). Прибор имеет один усилитель, одно измерительное устройство ($И$) и релейный распределитель (на рис. 71 не показан). Если вместо машины АМУР установить 80 реле температуры (например, ПТР-2), то схема будет иметь 80 усилительных блоков вместо одного. Усилительное устройство — наиболее сложный узел прибора. Возможность использования одного усилительного блока достигается путем поочередного подключения к нему соответствующих термометров сопротивления и исполнительных механизмов при помощи обтекающего устройства (релейного распределителя).

Рассмотрим подробнее работу прибора. Каждый термометр сопротивления (например, T_1) включен в мостовую схему M_1 , имеющую задающее устройство $3У_1$ (регулируемое сопротивление). С выхода моста сигнал отклонения через выключатель $1В$ и контакт распреде-

лительного реле *IPP-1* подается на вход усилителя (1-й каскад — магнитный усилитель, 2-й и 3-й — на электронных лампах). Выходное реле усилителя *BP* — поляризованное: если измеряемая температура выше заданной, оно замыкает свой контакт *BP-B*, если ниже заданной — контакт *BP-H*.

На схеме эти контакты находятся в цепи включения исполнительных реле. Когда в релейном распределителе включено реле *IPP*, то одновременно с подключением термометра сопротивления T_1 к усилителю (через контакты *IPP-1*) замыкается и контакт *IPP-4*, соединяющий выход усилителя с исполнительным реле *IIP*. В этот же период кулачки импульсного механизма замыкают контакты K_3 и K_4 . Если температура выше заданной, то через замкнутые контакты *BP-B* катушка реле *IIP* получает питание, а контакты его *IIP-1* питают катушку *IIP* и после размыкания контакта K_3 , шунтируя их по цепи R_1 —*IIP-1*—*IIP*.

Через определенный период времени (например, 15 мин), когда поочередно включатся все 80 распределительных реле и снова будет под током *IPP*, температура может оказаться ниже заданной. Тогда в момент замыкания контактов K_3 и K_4 будут замкнуты контакты *BP-H*, шунтирующие катушку *IIP*. Ток пойдет по цепи R_1 —*IIP-1*—*IPP-4*—*BP-H*— K_4 . Катушка *IIP* разомкнет свои контакты *IIP-1* и следующие 15 мин будет обесточена. Исполнительный механизм отключится контактами *IIP-2*. В релейном распределителе АМУР-80 для подготовительного включения всех 80 реле *PP* использован принцип подготовки цепи: когда включается реле *IPP*, контакты его замыкаются и подготавливают цепь для включения *2PP* и т. д.

Иногда в многоточечных реле используют простой возвращающийся переключатель, который поочередно замыкает распределительные реле.

Для измерения температуры в любой точке достаточно повернуть соответствующий выключатель (*1B*, *2B* и т. д.), т. е. подсоединить термометр сопротивления к измерительному прибору.

Техническая характеристика реле типа АМУР

Число точек регулирования	40, 50, 60, 70, 80
Число фиксированных уставок задатчика	18
Диапазон уставок задатчиков, °С	от — 200 до + 650*
Погрешность срабатывания выходных контактов, % от диапазона уставок	±1,5
Дифференциал, °С	0,3**
Погрешность измерений, % от диапазона измерений	±2
Период обегания всех точек, мин	15±2
Питание от сети переменного напряжения, В	220
Потребляемая мощность, В·А	500
Габаритные размеры шкафа (при открытых задних дверях)	2100×800×1350
Масса, кг	760

* Определяется выбором термометров сопротивления и их градуировкой. Требуемый диапазон указывается при заказе.

** Дифференциал можно регулировать в пределах диапазона, если два чувствительных элемента установить в одной точке, используя один из них для отключения, а другой для включения исполнительного механизма. Точки № 9, 10, 19, 20 и т. д. имеют увеличенный дифференциал: 2—3°С.

Регуляторы температуры непрерывного действия

Регуляторы температуры манометрического типа. Они по конструкции и принципу действия аналогичны пропорциональным регуляторам давления. Чувствительным элементом служит термобаллон, заполненный жидкостью, газом или твердым адсорбентом (см. рис. 38). С повышением температуры давление в нем растет и по капиллярной трубке передается на сильфон или мембрану, которая, преодолевая усилие пружины, изменяет расход жидкости или пара через клапан.

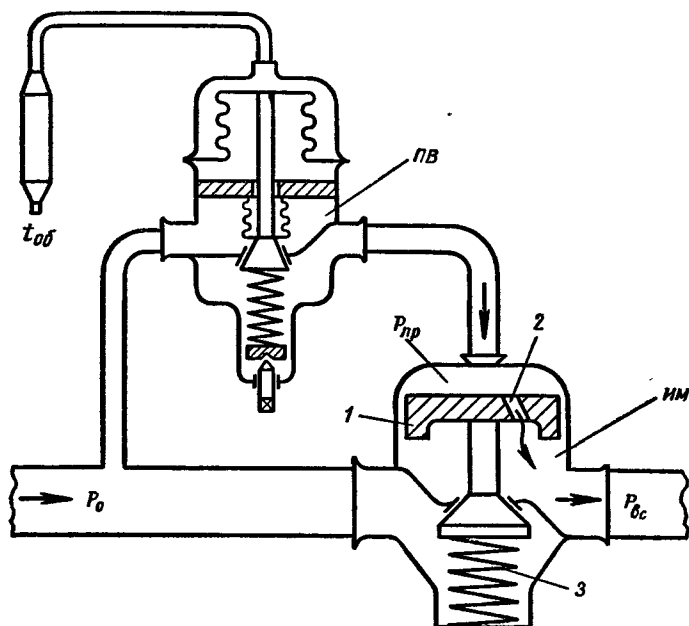


Рис. 72. Пропорциональный регулятор температуры непрямого действия.

Пропорциональные регуляторы температуры ПРТ (рис. 72) применяют, например, для регулирования температуры в камере дросселированием пара на выходе из испарителя. При диаметрах трубопроводов свыше 20—25 мм более удобны (компактны) регуляторы непрямого действия. Схема такого регулятора показана на рис. 72. Он состоит из пилотного вентиля $ПВ$ (первичного регулятора) и исполнительного механизма $ИМ$ типа АДД-40 (см. рис. 60, а). При повышении $t_{\text{об}}$ вентиль $ПВ$ увеличивает подачу пара на поршень $ИМ$. Поступление пара на поршень 1 становится большим, чем расход через отверстие 2, и давление $p_{\text{пр}}$ растет, пока расход через отверстие не увеличится до значения притока пара. С увеличением $p_{\text{пр}}$ клапан отожмет пружину 3, увеличив проход для отвода пара компрессо-

ром. Давление в испарителе p_0 и соответственно t_0 станут ниже, что увеличит отвод тепла испарителем.

В качестве пилотного регулятора может быть использован терморегулирующий вентиль ТРВ с внешним выравниванием (см. рис. 77). Штуцер ТРВ, к которому подводится уравнивательная трубка, должен быть заглушен.

Полупроводниковый регулятор температуры ПТР-П. Это регулятор непрямого действия. Он состоит (рис. 73, а) из первичного прибора ПП, аналогичного трехпозиционному реле ПТР-З (см. рис. 70),

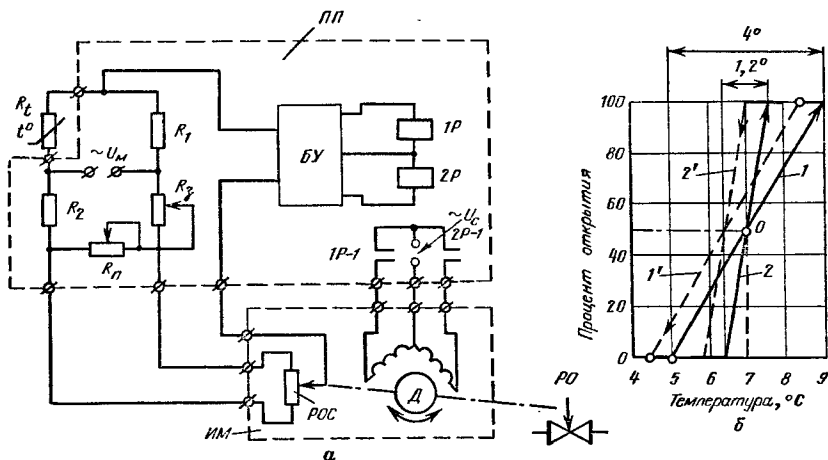


Рис. 73. Пропорциональный регулятор температуры ПТР-П:
а — упрощенная схема; б — статическая характеристика,

и исполнительного механизма ИМ, представляющего собой реверсивный двигатель Д с реостатом обратной связи РОС (см. рис. 51). Реостат РОС подключается к клеммам ПП параллельно R_n так, что при нижнем положении движка реостата R_n и РОС оказываются в правом плече реостата (вместе с R_3), а при верхнем положении движка — в левом плече (вместе с R_2). При среднем положении движка РОС и средней температуре диапазона (задаваемой R_3) мост находится в равновесии.

При повышении температуры сигнал разбаланса моста подается на блок усилителей БУ, который, как и ПТР-З, состоит из простого усилителя, фазочувствительного и двух триггеров. Выходное реле 1P контактом 1P-1 включает одну из обмоток двигателя Д. Вал двигателя открывает клапан РО и одновременно перемещает движок РОС, пока не наступит равновесие моста. Реле 1P отпустит, и контакт 1P-1 остановит двигатель. Если температура становится ниже заданной, то срабатывает реле 2P и двигатель вращается в обратную сторону, закрывая клапан РО.

Сопротивление R_n позволяет регулировать диапазон пропорциональности от 1,2 до 4°C. Соответствующее изменение статической ха-

характеристики показано на рис. 73, б. Характеристика показана для средней температуры (7°C).

Диапазон регулирования средней температуры (сопротивлением R_3) у моделей ПТР-П-02 — ПТР-П-05 соответственно равен: $-30 \div -5$; $-10 \div +15$; $5 - 35$ и $30 - 60^{\circ}\text{C}$.

Из характеристики видно, что прибор имеет гистерезис (зону нечувствительности): при повышении температуры открытие клапана идет по прямой 1 или 2, а при снижении температуры характеристика смещается на пунктирные прямые 1' и 2'. Величина гистерезиса не более $0,6^{\circ}\text{C}$.

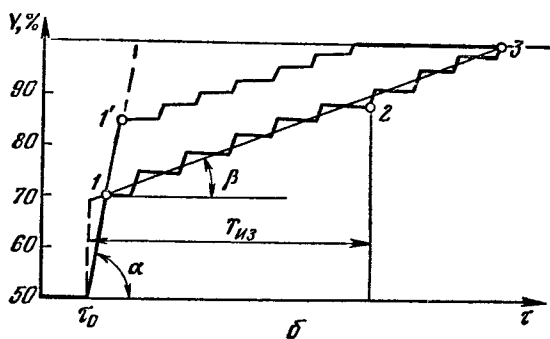
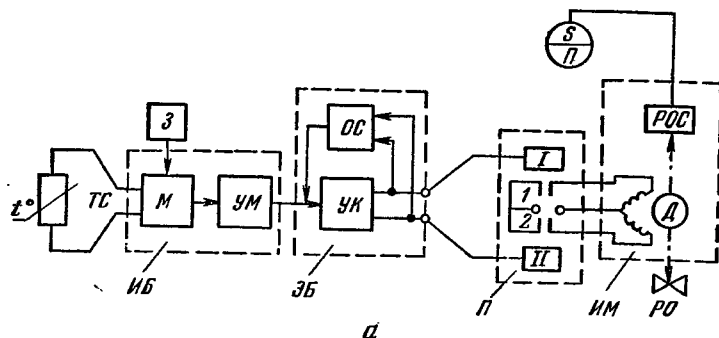


Рис. 74. Пропорционально-интегральный регулятор температуры РПИБ:
а — упрощенная схема; б — переходная характеристика.

Пропорционально-интегральный регулятор РПИБ. В регуляторе объединены измерительный блок ИБ (рис. 74) и электронный блок ЭБ, составляющие сам прибор (РПИБ), и исполнительный механизм ИМ (реверсивный двигатель Д) с магнитным пускателем П. В схему измерительного моста М подключается термометр сопротивления ТС и задатчик З, позволяющий дистанционно устанавливать заданную температуру. После усилителя моста УМ с выпрямителем сигнал рассогласования подается в электронный блок, который имеет усиленный каскад УК и обратную связь ОС.

Усилительный каскад улавливает величину и знак рассогласования: при повышении температуры выходной сигнал с ЭБ подается на катушку I пускателя Π и двигатель вращает PO , снижая температуру.

При наличии двигателя с реостатом обратной связи POC последний используется для регистрации показаний положения PO на показывающем приборе. Для создания плавного регулирования этот реостат не нужен, так как обратная связь, имеющаяся в самом приборе, обеспечивает в достаточном приближении работу по закону ПИ-регулирования.

В цепи обратной связи есть инерционное звено (цепочка переменного сопротивления и конденсатора). За время поворота двигателя на определенный угол конденсатор в цепи обратной связи насыщается и на входе в усилитель $УК$ сумма напряжений разбаланса моста и обратной связи станет равной нулю, двигатель остановится (точка I на рис. 74, б). После того как конденсатор в цепи OC частично разрядится, сигнал разбаланса опять станет достаточным, чтобы (после усиления) включить пускатель. Таким образом, двигатель небольшими импульсами будет продолжать открывать клапан PO (процесс $I-3$), пока полностью его не откроет (точка 3). При этом концевой выключатель (на схеме не показан) остановит двигатель (см. рис. 94).

Показанная на рис. 74, б переходная характеристика регулятора предполагает, что возникшее отклонение температуры (в момент τ_0) далее не изменяется. В действительном процессе регулирования открытие клапана PO приводит к уменьшению рассогласования и величина открытия клапана ($У$) может установиться где-то между точками $I-3$ либо изменяться в зависимости от дальнейших возмущений. Из графика видно, что действительная переходная характеристика регулятора отличается от идеальной (показана пунктиром), так как клапан открывается не мгновенно, а с определенной скоростью ($t_{га}$) и далее при работе импульсами («в пульсирующем режиме») ломаная линия лишь усредненно соответствует прямой $I-3$.

Регулировка, имеющаяся в цепи обратной связи, позволяет изменять динамические показатели переходного процесса. К основным регулируемым параметрам относятся: скорость связи и время изодрома.

Скорость связи (переменное сопротивление в цепи OC) определяет степень влияния обратной связи, что меняет пропорциональную составляющую ПИ-регулирования. С увеличением сопротивления, что соответствует уменьшению скорости связи, заряд на конденсаторе накапливается медленнее и двигатель остановится не в точке I , а в точке I' . Если точка I' окажется близкой к 100% (полное открытие PO), то процесс регулирования будет автоколебательным, так как регулятор станет трехпозиционным. Таким образом, скорость связи всегда должна быть больше скорости открытия клапана. Однако увеличение скорости связи ухудшает процесс регулирования: точка I' окажется ниже, т. е. двигатель почти сразу начнет вращать PO с малой скоростью, соответствующей $t_{г\beta}$.

Время изодрома $T_{из}$, называемое также временем удвоения, характеризует скорость открытия клапана на пульсирующем участке ($t_{г\beta}$). Для объектов с частым изменением температуры ско-

рость ($t_{г\beta}$) надо уменьшать (а $T_{из}$ — увеличивать), иначе регулирование превратится в трехпозиционное.

К дополнительным регулировкам относят «длительность импульсов» и «демпфер». Уменьшение длительности импульсов улучшает качество регулирования, приближая его к идеальному. Однако при длительности включения меньше 15 мс пускатель не успевает четко сработать. Демпфер позволяет уменьшить частоту срабатывания регуляторов, что важно при частых изменениях регулируемой температуры, так как частые включения пускателя (более 4—6 в мин) снижают его надежность.

Диапазон регулируемых температур РПИБ определяется градуировкой термометра сопротивления ТСМ-Х (гр. 21, 22, 23, 24); диапазон изменения времени изодрома от 2,5 до 1000 с. Габаритные размеры 300 × 175 × 342 мм; масса около 15 кг.

РЕГУЛЯТОРЫ ПЕРЕГРЕВА (ТРВ)

Для регулирования заполнения испарителя холодильным агентом широко применяют пропорциональные регуляторы перегрева, называемые обычно терморегулирующими вентилями (ТРВ).

Под перегревом пара на выходе из испарителя θ понимают разность между температурой перегретого пара (на выходе из испарителя) и температурой насыщенного пара

$$\theta = t_{\text{вых}} - t_0,$$

где $t_{\text{вых}}$ — температура перегретого пара;

t_0 — температура насыщенного пара, т. е. температура кипения, определяемая по давлению пара на выходе из испарителя.

Таким образом, ТРВ воспринимает не любую разность температур, а только перегрев пара. С уменьшением заполнения испарителя перегрев на выходе θ возрастает и ТРВ автоматически увеличивает подачу холодильного агента.

ТРВ бывают прямого и непрямого действия. Давление из испарителя, определяющее t_0 , может подаваться к ТРВ со стороны входа в испаритель и со стороны выхода. Соответственно различают ТРВ с внутренним выравниванием и внешним.

ТРВ с внутренним выравниванием. ТРВ (рис. 75,а) воспринимает разность между температурой термобаллона T_6 (чувствительный элемент), преобразуя ее в давление, и давлением после клапана 5 (давление «после себя»). Эта разность давлений воспринимается мембраной 7, которая одновременно является вторым чувствительным элементом и элементом сравнения. При повышении разности давлений (соответствующей перегреву пара) мембрана 7 прогибается вниз и через толкатель 6 сжимает пружину 3 (задающее устройство), пропорционально открывая клапан 5 (регулирующий орган).

Для уяснения принципа действия ТРВ рассмотрим его работу совместно с испарителем. Жидкий холодильный агент (например, фреон-12) из ресивера поступает в ТРВ. При проходе через кольцевое сечение между седлом и клапаном 5 фреон дросселируется и его давление резко

падает от p_k до p_0 , которое поддерживается компрессором в испарителе. При дросселировании до давления p_0 (точка А) часть жидкого фреона превращается в пар. Далее парожидкостная смесь проходит по трубкам испарителя и в результате теплопритока концентрация пара по-

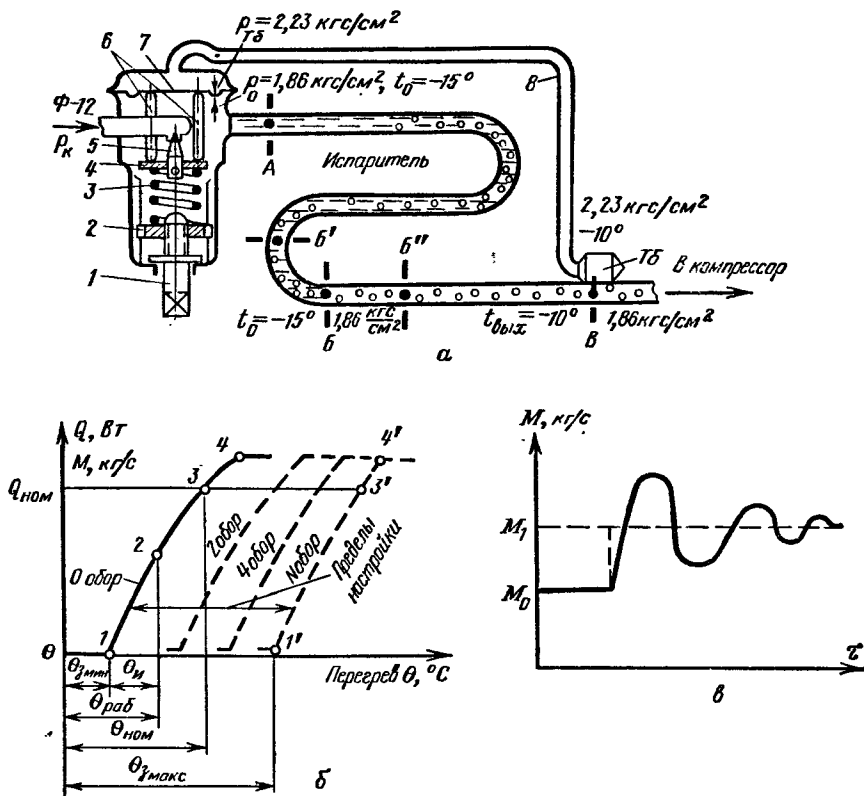


Рис. 75. Терморегулирующий вентиль:

а — схема работы; б — статическая характеристика; в — переходная характеристика.

степенно увеличивается. В какой-то точке В вся жидкость превратится в насыщенный пар с температурой t_0 . На участке В—В пар перегревается до $t_{\text{вых}}$. Пренебрегая сопротивлением в испарителе, можно считать, что давление пара на выходе такое же, как и на входе (например, $p_{\text{абс}} = 1,86 \text{ кгс/см}^2$). Тогда температура кипения на участке А—Б также постоянная (-15°C). На выходе из испарителя (точка В) укреплен термобаллон Т6, заполненный жидким фреоном-12. При повышении его температуры давление насыщенного пара в нем p_{T6} возрастает и по капиллярной трубке 8 передается на мембрану 7. При температуре пара на выходе из испарителя -10°C абсолютное давление в термобаллоне $p_{T6} = 2,23 \text{ кгс/см}^2$.

Таким образом, перегреву пара на 5°C (от -15 до -10°C) соответствует разность давлений $0,37 \text{ кгс/см}^2$:

$$\theta = t_{\text{вых}} - t_0 = -10 - (-15) = 5;$$

$$\Delta p = p_{\text{тб}} - p_0 = 2,23 - 1,86 = 0,37.$$

Под действием этой разности давлений мембрана 7 прогибается вниз и через толкатели 6 нажимает на иглодержатель 4, открывая клапан 5 до тех пор, пока усилие сжатой пружины 3 не уравновесит давление на мембрану.

Заданное начальное значение перегрева, обеспечивающее требуемое открытие клапана, устанавливается соответствующим натяжением пружины 3. При повороте винта 1 гайка 2 поднимается по прорезам в корпусе и сжимает пружину 3.

Статическая характеристика ТРВ, показывающая зависимость его производительности от перегрева при определенном (номинальном) значении t_0 показана на рис. 75, б.

Минимальный перегрев, который начинает вызывать перемещение клапана (точка 1) называют перегревом начала открытия (иногда «закрытым перегревом», Θ_3). Натяжением пружины 3 он регулируется обычно от $\Theta_{3\text{мин}} = 2$ до $\Theta_{3\text{макс}} = 10^\circ \text{C}$. Дополнительный перегрев (после начала открытия), который дает требуемую производительность (точка 2), называют изменением перегрева. Изменение перегрева, обеспечивающее номинальную производительность, обычно равно $4-5^\circ \text{C}$ (не регулируется). Полный (рабочий) перегрев, соответствующий данному открытию клапана, складывается из закрытого перегрева и изменения перегрева. Таким образом, чтобы обеспечить номинальную производительность ($\Theta_{\text{ном}}$) при ослабленной пружине, рабочий перегрев в испарителе, равный $\Theta_{\text{ном}}$, должен быть $2 + 5 = 7^\circ \text{C}$, а при затянутой (на N оборотов) пружине $10 + 5 = 15^\circ \text{C}$ (кривая 1'—4'). Диапазон пропорциональности $ДП = \Theta_4 - \Theta_3$, несколько больше, чем $\Theta_{\text{ном}}$ (в паспорте прибора не указывается).

С увеличением тепловой нагрузки установившийся режим может наступить только при условии большей подачи жидкости через ТРВ. Из статической характеристики видно, что это возможно лишь при большем перегреве, т. е. испаритель будет заполнен меньше (точка B' на рис. 75, а). С увеличением давления на входе в ТРВ ($p_{\text{в}}$) пропускная способность его увеличивается и требуемая производительность его будет обеспечена при меньшем перегреве (точка B'' на рис. 75, а). Таким образом, ТРВ, как всякий пропорциональный регулятор, неизбежно дает статическую ошибку, однако ошибка эта невелика и практически не ухудшает работу испарителя (см. гл. IV).

Переходная характеристика ТРВ (рис. 75, в) существенно отличается от идеальной характеристики пропорционального регулятора, показанной пунктиром. При ступенчатом увеличении перегрева клапан сначала резко открывается и только после нескольких колебаний (см. уравнение на с. 39) принимает новое установившееся значение. Такое резкое увеличение перегрева возникает, например, при включении компрессора, так как давление в испарителе

сразу падает и разность $p_{тб} - p_0$ возрастает. Поэтому при включении компрессора ТРВ сразу открывается, через некоторое время колебания затухают и режим устанавливается. Работу ТРВ в переходном периоде можно наблюдать по периодическому обмерзанию и оттаиванию трубопровода на выходе из испарителя. После остановки компрессора давление в испарителе возрастает, разность давлений ($p_{тб} - p_0$) уменьшается и при Δp , соответствующей перегреву закрытия, клапан закрывается.

Производительность ТРВ может быть указана в виде расхода жидкости (в кг/с или кг/ч) при определенных давлениях на входе и выходе. Однако учитывая, что холодопроизводительность 1 кг хладагента легко определяется по тепловой диаграмме, обычно указывают холодопроизводительность ТРВ ($\Theta_{ТРВ}$) в ваттах

$$Q_{ТРВ} = q_0 \alpha f \sqrt{2\rho_1(p_1 - p_2)}, \quad (III-1)$$

где f — площадь проходного сечения, м²;
 q_0 — холодопроизводительность 1 кг хладагента, Вт;
 ρ_1 — плотность жидкости на входе в ТРВ, кг/м³;
 p_1 и p_2 — давления до и после дроссельного отверстия, Па;
 α — коэффициент расхода.

При расчетах принимают значения α для аммиака $\sim 0,35$, для фреона-12 $\sim 0,6$. Однако точные значения коэффициентов расхода зависят от конструкции клапана, переохлаждения на входе и давления на выходе. Поэтому в практике $\Theta_{ТРВ}$ определяют не расчетным путем, а непосредственным испытанием, которое позволяет получить статическую характеристику регулятора. Имея характеристику регулятора (рис. 75, б) или даже зная лишь значение холодопроизводительности при номинальных условиях (Q_n), можно определить холодопроизводительность ТРВ при других условиях работы:

$$Q = Q_n \frac{q_0 \Delta p \sqrt{(p_1 - p_0) \rho_1}}{q_{0n} \Delta p_n \sqrt{(p_{1n} - p_{0n}) \rho_{1n}}} \approx Q_n \frac{\Delta p}{\Delta p_n}, \quad (III-2)$$

где $\Delta p_n = p_{тб} - p_0$ — разность давлений в термобаллоне и в испарителе при номинальных значениях t_0 и перегрева;

Δp — то же, при новом значении t_0 , но при том же значении перегрева, как и у Δp_n ;

индексы: 1 — значение перегрева на входе в ТРВ;

0 — на выходе из ТРВ;

n — при номинальном режиме.

Диапазон температур кипения. С понижением температуры кипения перегреву Θ' , равному номинальному перегреву Θ , соответствует меньшее значение перепада давлений ($\Delta p' < \Delta p$). Если при этом производительность ТРВ становится меньше производительности компрессора, применяют ТРВ, заполненные агентом с более низким давлением и более пологой характеристикой (в данном диапазоне температур), чем агент в испарителе (см. рис. 75, б). В термосистемах с твердым адсорбентом (активиро-

ванный уголь марки СКТ-М-Д и адсорбат CO_2) зависимость давления пара в патроне от температуры линейная. Угол наклона прямой можно менять, выбирая соответствующее количество адсорбента и объем термобаллона. Поэтому, фиксируя верхнюю точку (при высокой t_0), можно выбрать наклон и, следовательно, $p_{\text{тб}} - p_0$ в нижней точке таким, чтобы холодопроизводительность ТРВ и компрессора стали равными.

При малых значениях Δp увеличиваются погрешности регулятора, связанные с силами трения, жесткостью сиффона или мембраны и др. С уменьшением Δp мембрана из положения вогнутости вверх (клапан закрыт) может резко принимать положение вогнутости вниз, т. е. пропорциональный регулятор превращается в двухпозиционный.

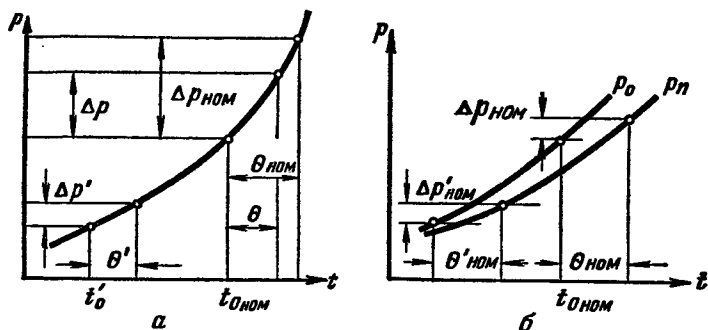


Рис. 76. Графики зависимости разности давлений, воспринимаемых мембраной ТРВ, от перегрева:

а — агент в термобаллоне и в испарителе одинаковый; б — в термобаллоне агент более низкого давления, чем агент в испарителе.

Чтобы увеличить значение Δp при низких температурах иногда применяют ТРВ с двумя термопатронами, заполненными одинаковым агентом с более высоким давлением, чем в испарителе.

ТРВ с внешним выравниванием. При большом гидравлическом сопротивлении в испарителе давление на выходе ниже, чем на входе. Температура кипения и перегретого пара на выходе становится ниже. Давление в термобаллоне снижается. Следовательно, тот же перегрев вызывает теперь меньшую разность давлений и клапан прикрывается. Обеспечить требуемое открытие клапана можно только при увеличенном перегреве, т. е. при недостаточном заполненном испарителе. Поэтому, когда падение давления в испарителе более $0,2 \text{ кг/см}^2$, применяют ТРВ с внешней уравнивающей трубкой (рис. 77). Благодаря диафрагме 10 под мембрану 7 попадает давление не со стороны входа (p_A), а со стороны выхода испарителя — по уравнивающей трубке 9. Поскольку давление на выходе более низкое, то разность давлений, воздействующая на мембрану, при том же значении перегрева будет больше. Диафрагма позволяет также предусмотреть на выходе из ТРВ дополнительное дроссельное сечение 11, что разгружает основной клапан (уменьшая перепад давлений на него) и позволяет увеличить его

диаметр. Увеличенное давление под диафрагмой (перед дросселем 11) позволяет также использовать ТРВ с внешним выравниванием для питания нескольких параллельных секций испарителя. Кроме того, подача под мембрану перегретого пара (с места выхода испарителя)

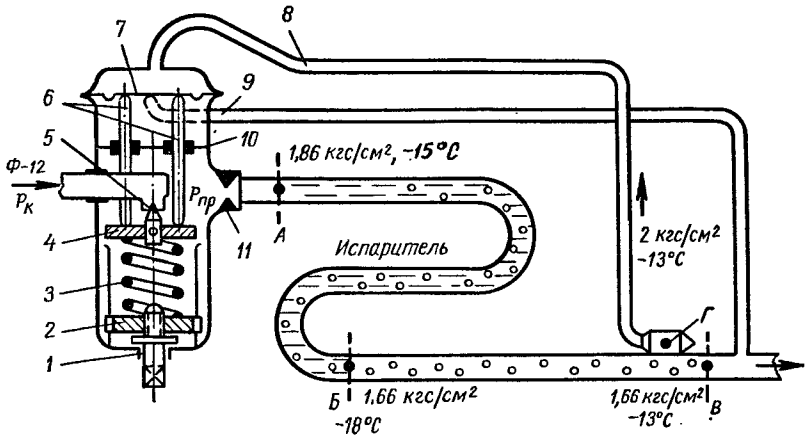


Рис. 77. Схема ТРВ с внешним выравниванием:

1 — винт регулирования перегрева начала открытия; 2 — гайка; 3 — пружина; 4 — иглодержатель; 5 — клапан; 6 — толкатель; 7 — мембрана; 8 — капиллярная трубка; 9 — выравнивательная трубка; 10 — диафрагма; 11 — дроссельное сечение.

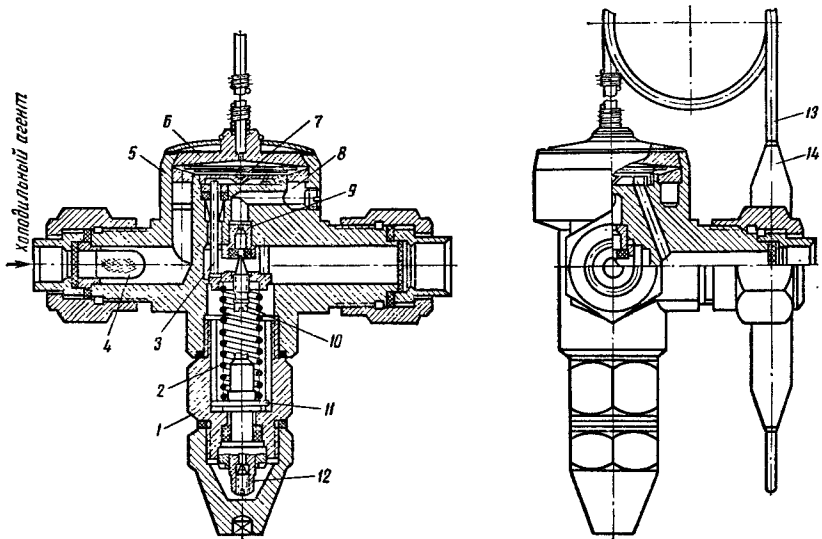


Рис. 78. Терморегулирующий вентиль 13TRV-1H:

1 — корпус пружины; 2 — пружина; 3 — толкатель; 4 — фильтр; 5 — корпус вентиля с мембраной; 6 — крышка; 7 — мембрана; 8 — кольцевой канал; 9 — седло; 10 — клапан; 11 — резьбовая втулка; 12 — регулировочный шток; 13 — капиллярная трубка; 14 — термобаллон.

уменьшает переохлаждение мембраны и возможную конденсацию над ней пара из термопатрона.

В современных низкотемпературных ТРВ (рис. 78) подмембранную полость обогревают жидким агентом высокого давления. Для этого входную трубку пропускают под мембраной и через отверстие в корпусе выводят под диафрагму. Конструкция 13ТРВ-1Н показана на рис. 78.

Технические характеристики выпускаемых у нас ТРВ приведены в табл. 11. В марках ТРВ, предназначенных для работы на фреоне-13,

Таблица 11

Терморегулирующие вентили	Номинальные условия, °С			Перегрев начала открытия (регулируемый), °С	Диапазон температур кипения, °С
	t_0	t_k	$\theta_{\text{ном}}$ при $\theta_{\text{змин}}$		
ТРВ-0,5М*; 1М*; 2М*; 4М*; 7М; ТРВК-0,5*; 1*; 2*	-15	+30	6-7	2-10	От -30 до +10
12ТРВ-6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100	-15	+30	8-10	2-8	» -30 » +10
12ТРВ-12	-15	+30	5-6	1,5-16	
ТРВК-20; 100; ТРВ-160 Ф	+5	+30	10	2-7	» -30 » +10
ТРВ-10Т*	+10	+40	5-7	1,5-10	» -30 » +20
22ТРВ-0,6 В*; 1В*; 1,6 В*	-40	+30	5	1,5-8	» -50 » -10
22ТРВ-В	-40	+30	5-7	2-10	» -50 » -20
22ТРВ-5В; 60В	-40	+30	8	2-15	» -50 » -10
22ТРВ-0,4Н; 0,63Н; 1Н	-60	+40	8	3-10	» -80 » -50
22ТРВ-5Н	-60	+30	12	5-10	» -80 » -60
22ТРВ-10Н; 25Н	-80	+30	12	4-15	» -80 » -50
13ТРВ-0,3Н; 0,5Н; 1Н; 20Н	-80	-50	7	2-10	» -115 » -80
142ТРВ-5	+5	+50	15	3-8	» -10 » +20
142ТРВ-30	-5	+50	8	3-10	
ТРВА-10М; 20М; 40М; 80М; 120М	-15	+30	6	1-5	» -40 » 0

* Без внешнего выравнивания.

фреоне-22 и фреоне-142 вначале указывается соответствующая цифра, а у работающих на аммиаке — буква А (ТРВА). Буквы В и Н в конце (после номинальной производительности) означают для верхней или нижней ступени. Термобаллон ТРВ заполняется тем же агентом, для работы с которым он предназначен; для аммиачных ТРВ термобаллон заполняют фреоном-22. Буква Т в марке означает тропическое исполнение, буква Ф — наличие фильтра.

Цифры после названия марки указывают номинальную холодопроизводительность в тыс. ккал/ч при номинальных условиях. $Q_{\text{ном}}$ составляет 50—90% $Q_{\text{макс}}$, которая соответствует полному открытию клапана. Однако значение диапазона пропорциональности заводы-изготовители в характеристике не указывают и найти ее можно лишь опытным путем (см. лабораторную работу № 3).

Номинальная производительность ТРВ определяется диаметром дроссельного отверстия в седле клапана. В некоторых ТРВ иностранных фирм имеется специальный шпindel с четырьмя разными отверстиями: требуемая производительность устанавливается простым поворотом шпинделя. Это некоторое усложнение конструкции создает удобство при эксплуатации.

Монтаж ТРВ. ТРВ монтируют в вертикальном положении в непосредственной близости от испарителя в охлаждаемом помещении или вблизи него. Перед монтажом следует проверить, открыт ли вентиль (продуть воздухом). При отсутствии заполнителя в чувствительном патроне вентиль окажется закрытым.

Термобаллон укрепляют на всасывающем трубопроводе в охлаждаемом помещении, так как нагрев его во время остановки компрессора может вызвать открытие клапана. Необходимо обеспечить надежный контакт между термобаллоном и трубопроводом. Это достигается при помощи медного хомутика, который прижимает термобаллон к трубопроводу и обеспечивает хорошую передачу тепла. На трубопроводах диаметром 30 мм и выше лучше предусматривать специальную гильзу для термобаллона. Если термобаллон приходится монтировать вне охлаждаемого помещения (например, у кожухотрубных испарителей), то место прикрепления термобаллона следует изолировать. Для надежного перекрытия подачи агента в этих случаях перед ТРВ ставят соленоидный вентиль. Не следует крепить патрон и уравнительную трубку (в ТРВ с внешним выравниванием) к нижней части трубопровода, так как там возможно скопление масла.

Место отбора пара на выходе испарителя должно находиться после термобаллона, т. е. дальше от испарителя, так как иначе при неплотном сальнике ТРВ жидкий агент после дросселирования, пройдя по уравнительной трубке к выходу испарителя, может охладить термобаллон, что вызовет закрытие ТРВ при недостаточно заполненном испарителе.

Некоторые вопросы монтажа ТРВ, связанные со схемой установки, рассмотрены в главе IV.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ

Указатели уровня

Визуальные указатели. В испарителях и других сосудах, где жидкость кипит при низких температурах, непосредственное наблюдение за уровнем через клингерные стекла затруднительно (стекла обмерзают, замасливаются изнутри, уровень кипящей жидкости точно не фиксируется), а на аммиачных установках и опасно из-за возможного на-

рушения герметичности. Поэтому вместо клингерных стекол на холодильниках начали применять специальные указатели уровней.

В визуальном указателе уровня ВУУ-2 (рис. 79) поплавковая камера 1 из диамагнитной стали нижним и верхним патрубками присоединяется к испарителю или другому сосуду, где измеряется уровень, по принципу сообщающихся сосудов. Положение поплавка 2 определяет уровень. Три шпильки 4 служат направляющими поплавка, так что зазор между поплавком и правой образующей трубы не превышает 1—1,5 мм. Пары проходят слева от поплавка, не увлекая его за собой. Для уменьшения паробразования от теплопритоков служит изоляция 3.

Справа от поплавковой камеры на шарнирах 5 укреплена стеклянная трубка 6, заполненная незамерзающей жидкостью, с магнитным указателем 7, который имеет постоянный магнит 9 и колесики 8, перекатывающиеся в диаметральной плоскости по внутренним стенкам трубки. Жидкость состоит из двух компонентов — денатурата и глицерина. Соотношение их подбирают так, чтобы плотность смеси дала выталкивающую силу, равную весу магнитного указателя. Таким образом, шарик-поплавок при перемещении увлекает за собой магнитный указатель, который указывает высоту уровня.

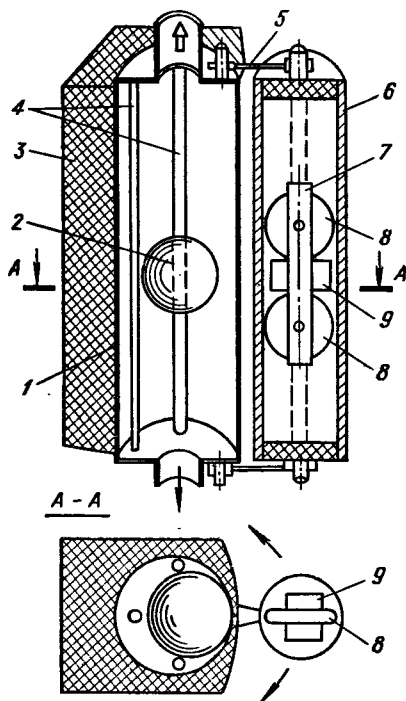


Рис. 79. Визуальный указатель уровня жидкости ВУУ-2.

Чтобы проверить магнитную связь указателя с поплавком, стальным предметом отводят указатель вверх или вниз на 10—15 мм и резко убирают. Стрелка указателя должна вернуться в прежнее положение. Если указатель оторвался от поплавка, то этим же способом снова обеспечивают сцепление указателя с поплавком.

Для очистки от снега стеклянную трубку отводят от поплавковой камеры, протирают и смазывают маслом ХА-30.

Диапазон наблюдения определяется типом указателя: А — 400 мм; Б — 600 и В — 800 мм. Точность измерения ± 5 мм. Температура измеряемой жидкости от -50 до 60° С. Давление измеряемой жидкости от -1 до 18 кгс/см².

Дистанционные указатели. Применение гампсометров (см. рис. 41,б) для дистанционного измерения уровня жидкости неизбежно приводит к загрязнению служебных помещений парами ртути.

Надежнее в этом отношении дистанционный указатель уровня ДИУ-400 (рис. 80). ДИУ-400 состоит из индуктивного датчика с шариковым поплавком и электромагнитного логометра. Поплавковая камера датчика по принципу сообщающихся сосудов соединена с испарителем или другим сосудом. При изменении уровня шарик-поплавок входит в верхнюю или нижнюю индуктивные катушки (K_1 , K_2)

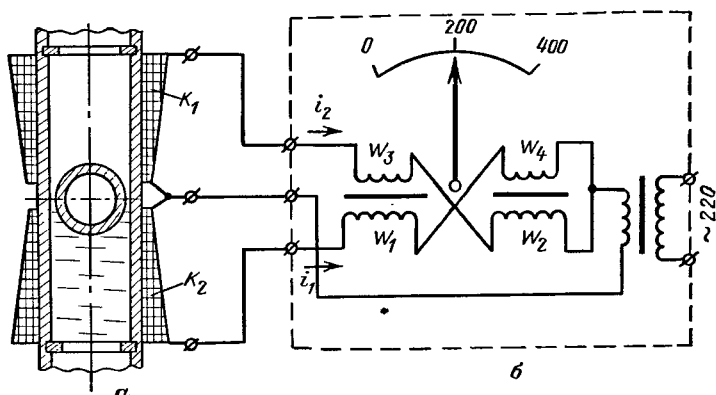


Рис. 80. Дистанционный измеритель уровня ДИУ-400:
а — датчик; б — электромагнитный логометр.

с переменным числом витков по высоте. Изменение индуктивного сопротивления воспринимается электромагнитным логометром. Катушки W_1 и W_4 у него намагничивающие, а W_3 и W_2 — размагничивающие. Угол поворота φ подвижной части системы определяется отношением намагничивающих сил двух систем логометра, т. е.

$$\varphi = \frac{i_1 W_1 - i_2 W_3}{i_2 W_2 - i_1 W_4},$$

где W_1 , W_2 , W_3 и W_4 — число витков в катушках логометра;
 i_1 и i_2 — мгновенные значения силы тока.

При среднем положении поплавка стрелка находится в середине шкалы (отметка 200 мм). Диапазон измерения уровня 400 мм; класс точности 4%. Температура контролируемой среды от -50 до $+50^\circ \text{C}$.

Исполнение прибора взрывобезопасное (для помещений класса В-16) и для судовых условий. При подсоединении датчика к сосуду на паровой и жидкостной линии следует ставить вентили, позволяющие снимать датчик без удаления жидкости из сосуда. Датчик соединяется с логометром медным трехжильным кабелем с сечением жил не менее 1 мм^2 на расстоянии не более 500 м.

Реле уровня

Реле уровня преобразуют изменение уровня в каком-либо сосуде, воспринимаемое чувствительным элементом, в замыкание или размыкание электрических контактов. Выходные контакты реле включают исполнительный механизм подачи жидкости (обычно соленоидный

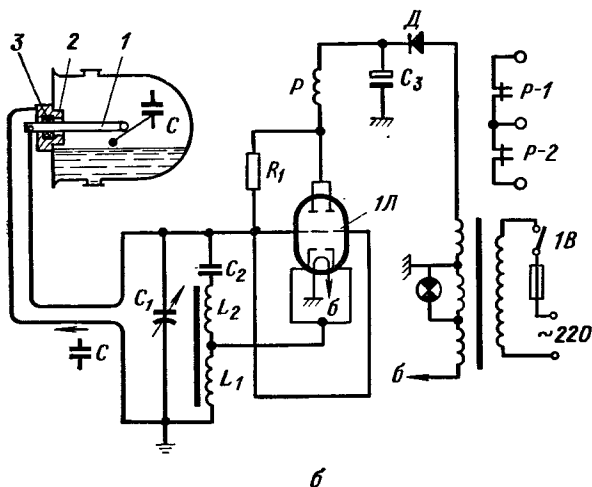
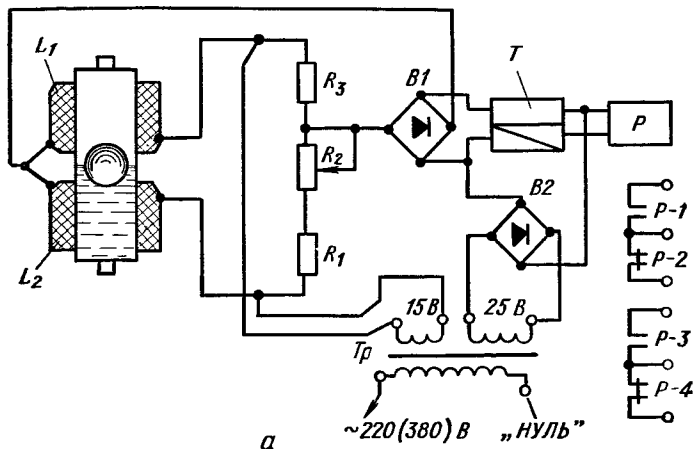


Рис. 81. Реле уровня:
а — ПРУ-5, б — МЭСУ-1К (МЭСУ-1В).

вентиль) или электрическую сигнализацию необходимости регулирования уровня (уровень выше требуемого — зеленая лампа, в заданных пределах — белая, выше допустимого — красная). Если переполнение сосуда связано с опасностью попадания жидкости в компрес-

сор, то реле уровня используют также для остановки компрессора.

Реле уровня ПРУ-5. Полупроводниковое реле уровня ПРУ-5 (рис. 81, а) состоит из индуктивного датчика и блока, преобразующего изменение индуктивности в замыкание или размыкание контактов выходного реле. Среднее положение уровня определяется высотой установки датчика. При повышении уровня поплавков перемещается, увеличивая индуктивное сопротивление верхней катушки L_1 и уменьшая сопротивление нижней катушки L_2 . Катушки L_1 , L_2 и сопротивления R_1 , R_2 и R_3 образуют мост переменного тока. При изменении уровня разбаланс моста подается через выпрямитель $В1$, состоящий из четырех диодов, на триггер T (см. рис. 51, д). В цепь триггера включено выходное реле P , имеющее два переключающих контакта для управления исполнительными механизмами.

Переменное сопротивление R_2 позволяет в небольших пределах изменять нижний уровень срабатывания. Дифференциал (нерегулируемый) равен 35_{-10}^{+15} мм. Контролируемой средой может быть аммиак, фреоны при температуре от -50 до $+50^\circ \text{C}$, а также вода, рассол и другие жидкости плотностью более 580 кг/м^3 . Рабочее давление — не более 20 кгс/см^2 .

ПРУ-5 допускается применять во взрывоопасных помещениях класса В-16. Модификация датчика ПРУ-5СЗГ имеет взрывозащищенное исполнение (категория СЗГ).

Реле уровня МЭСУ-1К. В малогабаритном электронном сигнализаторе уровня (корабельном) с одним датчиком (рис. 81, б) измерительным элементом служит металлический стержень 1 , емкость которого относительно корпуса изменяется в зависимости от уровня жидкости (емкостные элементы уровня см. с. 85). Корпус датчика 2 изолирован от стержня сальником 3 (резиновое уплотнение). Для защиты от коррозии (в аммиачной среде) стержень 1 покрывают полиэтиленом или фторопластом.

В анодную цепь триода $1Л$ (двойной триод 6Н1П) включено выходное реле P (МКУ-48). Питание анодной цепи осуществляется от трансформатора через выпрямитель D (ДГЦ-27). Емкость C_3 сглаживает пульсацию тока.

Анодный ток, проходя через индуктивную катушку L_1 , наводит в катушке L_2 (имеющей с первой общий сердечник) э. д. с., которая уменьшает положительный потенциал на сетке и запирает ее. При отсутствии тока в анодной цепи положительный потенциал, подаваемый на сетку через сопротивление R_1 , снова увеличится и откроет лампу. Таким образом, в цепи возникают колебания высокой частоты (400 — 500 кГц) и реле P не срабатывает. Контур $L_1 - L_2 - C_2 - C_1 - C$ настраивают так (переменной емкостью C_1), чтобы он имел собственные колебания той же частоты (в резонанс с генератором). При повышении уровня, когда жидкость соприкоснется со стержнем датчика, емкость C (между стержнем и корпусом) увеличится на 2 — 3 пФ , так как диэлектрическая постоянная у жидкости выше, чем у пара. При этом резонанс нарушается, происходит срыв высокочастотных колебаний, анодный ток резко возрастает и выходное реле P срабатывает. Контакты выход-

ного реле *P-1* и *P-2* управляют соленоидным вентиляем и световыми сигналами.

Диапазон регулирования среднего положения уровня определяется местом установки датчика, который на необходимой высоте ввертывают в сосуд. Корпус датчика заземляют, а стержень коаксиальным кабелем соединяют с электронным блоком. Дифференциал не превышает 5 мм при горизонтальном расположении датчика и 10 мм — при вертикальном. Прибор может работать при температуре рабочей среды от -100 до $+250^{\circ}\text{C}$ и окружающей среды от -25 до $+50^{\circ}\text{C}$. Прибор имеет водозащитное исполнение.

Реле уровня МЭСУ-1В имеет такую же схему, как и МЭСУ-1К, но выполнен во взрывозащищенном исполнении.

Реле типа ЭСУ-2М и ЭСУ-2А имеют по два емкостных датчика и по два выходных реле. Это позволяет увеличить дифференциал, установив датчики на соответствующей высоте.

Регуляторы уровня

Из плавных регуляторов уровня наибольшее применение получили поплавковые регуляторы уровня. Их используют для регулирования уровня в ресиверах, промсосудах, маслоотделителях и т. д. Регуляторы уровня, применяемые для регулирования заполнения холодильным агентом испарителей, называют поплавокными регулирующими вентилями ПРВ.

Поплавковые регуляторы прямого действия. В этих приборах (рис. 82) при повышении уровня поплавков всплывает и передает движение регулируемому органу, который уменьшает проход жидкости,

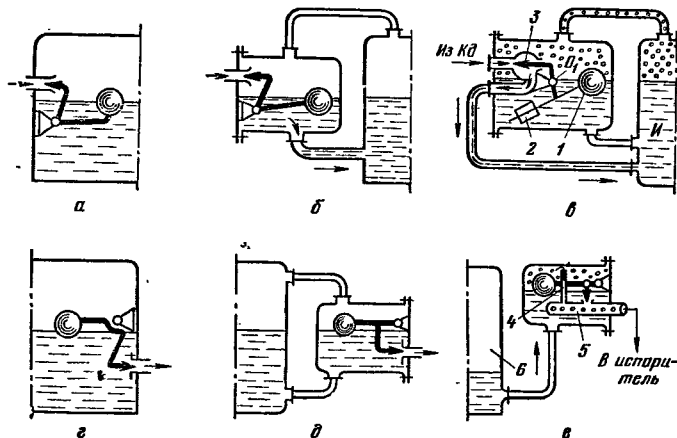


Рис. 82. Поплавковые регуляторы прямого действия низкого давления (*а, б, в*) и высокого давления (*г, д, е*):

а, г — встроенные; *б, д* — проходного типа; *в* — непроходного типа; *е* — проходного типа с дополнительным дросселированием пара (ПР-1).

поступающей в сосуд, или увеличивает расход жидкости на выходе из сосуда. Регуляторы первого типа (рис. 82, а, б, в) применяют, когда поплавок расположен после клапана (по ходу движения жидкости), т. е. на стороне низкого давления (ПРВ_{н.д.}). Регуляторы второго типа (рис. 82, г, д, е) используют для регулирования уровня на стороне высокого давления (ПРВ_{в.д.}).

В зависимости от положения поплавка различают ПРВ встроенные в корпус аппарата и с поплавком в отдельной камере. Последние бывают проходного и непроходного типа.

Поплавковые регуляторы встроенные (см. рис. 82, а и в) проще по конструкции (не требуется поплавок-камера), однако в обслуживании они мало удобны: в случае неисправности приходится вскрывать весь сосуд. Их применяют как ПРВ на машинах малой производительности, в маслоотделителях.

Поплавковые регуляторы проходного типа (см. рис. 82, б, д и е) имеют поплавок-камеру. Жидкость, прежде чем попасть в основной резервуар, должна пройти через камеру поплавка. Обычно камера соединена с основным аппаратом не только жидкостной трубкой, но и паровой (см. рис. 82, б, в и д). Поэтому уровень в камере поплавка такой же, как в основном аппарате. Принцип действия проходных регуляторов ПР-1 (см. рис. 82, е) несколько иной. Благодаря капиллярной трубке 4 пар агента из верхней части поплавок-камеры поступает на сторону низкого давления (трубка 5). Поэтому давление над жидкостью в камере поплавка меньше, чем в конденсаторе 6. Создавшаяся разность давления ($1-1,5 \text{ кг/см}^2$) обеспечивает поступление жидкости из конденсатора в камеру поплавка, если она расположена даже выше конденсатора. Непосредственно уровень регулируется только в камере поплавка. Общим недостатком ПРВ проходного типа является сравнительная нестабильность уровня в поплавок-камере при больших нагрузках.

Для регулирования заполнения испарителей большой производительности чаще применяют ПРВ_{н.д.} непроходного типа (см. рис. 82, в). Жидкость после дросселирования в проходном отверстии клапана 3 поступает по трубкам прямо в испаритель И, не смешиваясь с жидкостью в камере поплавка. Вес поплавка 1 уравновешен грузом 2, который расположен на противоположной стороне коромысла. При понижении уровня поплавков опускается и коромысло, поворачиваясь вокруг оси O_1 по часовой стрелке, отводит клапан от седла, увеличивая отверстие для прохода жидкости.

Поплавковые регуляторы непрямого действия. Несмотря на свою простоту, ПРВ прямого действия для больших установок весьма громоздки. Поэтому в последнее время их чаще используют как первичный (управляющий) регулятор в схемах регулирования непрямого действия. При этом клапан исполнительного механизма перемещается от внешнего источника энергии — давления самой жидкости на входе, давления пара из конденсатора, сжатого воздуха из пневмосети. Рассмотрим типы регуляторов непрямого действия.

Поплавковый регулятор уровня двухпозиционный ПРУД (рис. 83, а) состоит из управляющего регулятора ПРВ_{н.д.}

проходного типа и исполнительного механизма ИМ. В качестве исполнительного механизма использована нижняя часть мембранных соленоидных клапанов СВМ-25 или СВМ-40 (без электромагнита и с заглушенным отверстием 11).

Давление жидкости над мембраной 6 в установившемся состоянии определяется количеством жидкости, поступающей в полость А (через щелевой фильтр 8, отверстие 7 и срез в направляющей 5 крышки), и количеством жидкости, вытекающей из этой полости (через отверстия 4 и 1).

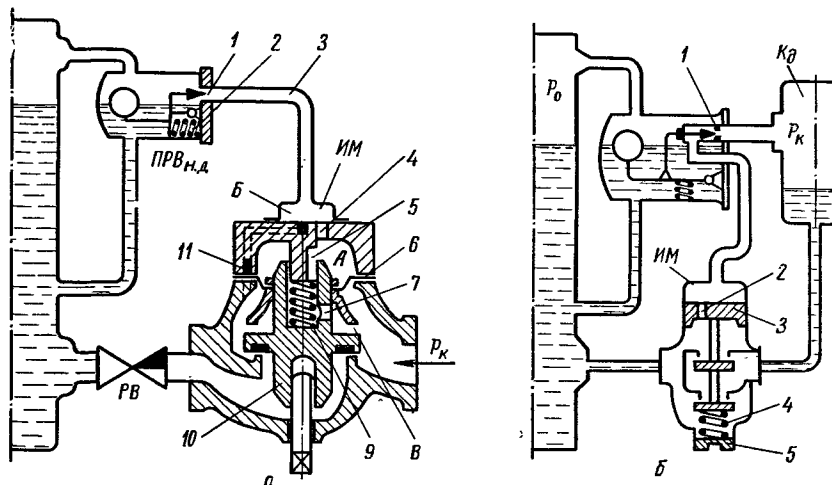


Рис. 83. Регуляторы уровня непрямого действия (типа ПРУД) с перемещением клапана за счет энергии давления жидкости на входе (а) и пара из конденсатора (б).

При медленном понижении уровня выталкивающая сила уменьшается и поплавков опускается, сжимая пружину 2. Проходное сечение клапана 1 увеличивается, и давление в трубке 3, а следовательно, и над мембраной 6 (в полости А) уменьшается. Тогда давление жидкости со стороны входа, действуя на мембрану снизу, преодолевает вес клапана 10 и усилие пружины 9. Клапан 10 открывается, увеличивая подачу жидкости в сосуд.

При повышении уровня управляющий поплавок перекрывает отверстие 1, давление над мембраной увеличивается и когда разность давлений (под мембраной и над мембраной) снизится, клапан 10 под действием собственного веса и пружины 9 закрывает основной проход поступления жидкости в сосуд.

Диапазон пропорциональности ПРВ равен 15 мм; время запаздывания ИМ (для клапанной части с $D_y = 25$ мм), т. е. длительность перетекания жидкости через указанные отверстия, пока давление над мембраной не примет своего нового установившегося значения, равно

5 с при повышении уровня (после закрытия отверстия 1) и 2 с при снижении уровня (после полного открытия отверстия 1).

Когда время перемещения уровня в сосуде на величину диапазона пропорциональности поплавок меньше значения постоянных времени *ИМ* (при большой скорости изменения уровня), давление над мембраной не успевает принять свое новое установившееся значение и клапан переходит из одного крайнего положения в другое с частотой определяемой временем запаздывания. Поэтому регулятор называют двухпозиционным. В действительности — это пропорциональный регулятор с малым диапазоном пропорциональности, работающий при больших скоростях изменения уровня в режиме незатухающих колебаний.

Площадь дроссельного отверстия ПРВ равна 5 мм², у клапана исполнительного механизма 490 или 1260 мм² (соответственно для $D_y = 25$ и $D_y = 40$ мм). Однако необходимая площадь сечения дроссельного органа на основном потоке жидкости значительно меньше, поэтому после *ИМ* ставят регулирующий вентиль, величина открытия которого соответствует максимальной нагрузке. Мембрана выполнена из специальной прорезиненной ткани, надежно работающей при температуре не ниже -40°C .

Поплавковый регулятор с воздействием на *ИМ* энергии давления пара в конденсаторе показан на рис. 83, б. Исполнительный механизм — поршневого типа с двухседельным разгруженным клапаном, обеспечивающий возможность его применения для больших проходных сечений.

При повышении уровня клапан поплавок прикрывает отверстие 1. Давление над поршнем-клапаном *ИМ* уменьшается, пока расход пара через отверстие 2 не упадет настолько, что станет равным поступлению пара через отверстие 1. Под действием пружины 4 клапан прикроется и займет новое положение, при котором поступление жидкости в сосуд станет равным расходу жидкости, и регулируемый уровень примет новое установившееся значение. Таким образом, с увеличением нагрузки установившееся значение уровня будет более низким. Такая характеристика прибора хорошо согласуется с работой испарителя: с увеличением тепловой нагрузки выгоднее поддерживать более низкий уровень жидкости. Максимальная величина диапазона пропорциональности, определяемая ходом поплавка, может быть снижена заменой пружины 4 пружинной с более мягкой характеристикой. При натяжении пружины винтом 5 несколько снижается уровень начала открытия.

При использовании энергии пара для перемещения клапана *ИМ* новое давление над поршнем-клапаном устанавливается значительно быстрее, чем при перетекании жидкости (как это имело место в регуляторе ПРУД). В результате постоянная времени у этого регулятора значительно меньше, что позволяет его использовать как пропорциональный регулятор при сравнительно больших скоростях изменения уровня. Потеря холодопроизводительности, связанная с перетеканием пара из конденсатора в испаритель через отверстие в поршне *ИМ*, практически ничтожна (менее 0,5% от номинальной).

Поплавковый регулятор уровня высокого давления ПРУДВ (рис. 84) по конструкции аналогичен регулятору уровня ПРУД, но при повышении уровня в сосуде 1 управляющий регулятор ПРВ не закрывает клапан, а открывает, что вызывает открытие клапана в исполнительном механизме ИМ и снижение уровня в сосуде. ИМ в ПРУДВ такой же, как и в ПРУД (см. рис. 83, а).

Рассмотрим принцип действия регулятора. Вес поплавка 2 уравнивается выталкивающей силой жидкости и силой пружин 3 и 6.

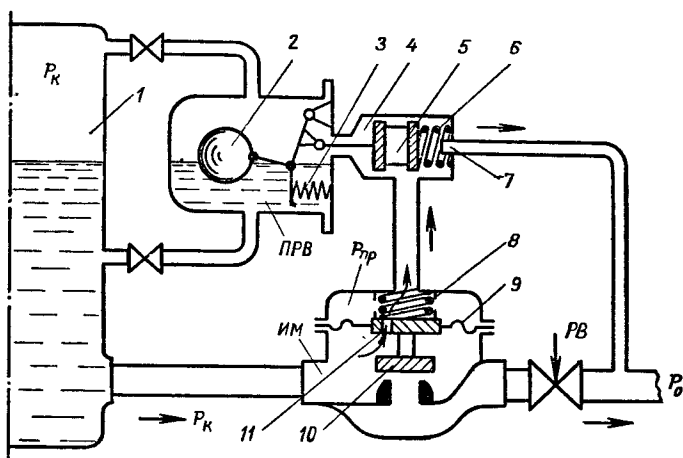


Рис. 84. Регулятор уровня высокого давления непрямого действия ПРУДВ.

При снижении уровня выталкивающая сила уменьшается и поплавок 2 опускается, пока снова не наступит равенство сил. При этом разгрузочный клапан 5, расположенный в предкамере 4, прикрывает отверстие 7 и давление $p_{пр}$ над мембраной 9 повысится, так как поступление жидкости со стороны входа через отверстие 11 станет больше, чем расход через отверстие 7. В результате сила давления $p_{пр}$ и пружины 8 превьют силу давления p_k (под мембрану) и основной клапан 10 уменьшит расход жидкости из сосуда 1 через вентиль РВ.

Техническая характеристика ПРУДВ-15, 25 и 40 такая же, как у аналогичных регуляторов ПРУД.

Регулятор уровня камерный цилиндрический РУКЦ представляет собой пропорциональный регулятор уровня непрямого действия. Он предназначен для работы в комплекте с пневматическим исполнительным механизмом ИМ (рис. 85): с изменением уровня прибор изменяет давление воздуха, подаваемого к ИМ. Чувствительным элементом регулятора является цилиндрический поплавок тонущего типа (бук). Вес поплавка уравнивается выталкивающей силой, которая определяется объемом погруженной части, и пружиной 2. При повышении уровня бук перемещается вверх

и заслонка 4 приближается к соплу 5. Давление воздуха p_1 в камере 7 при этом увеличивается, так как поступление воздуха в нее со стороны питания через дроссель постоянного сечения 8 не изменилось, а расход воздуха по трубке 3, пропущенной внутри трубчатой пружины 1, через отверстие «сопло — заслонка» уменьшился.

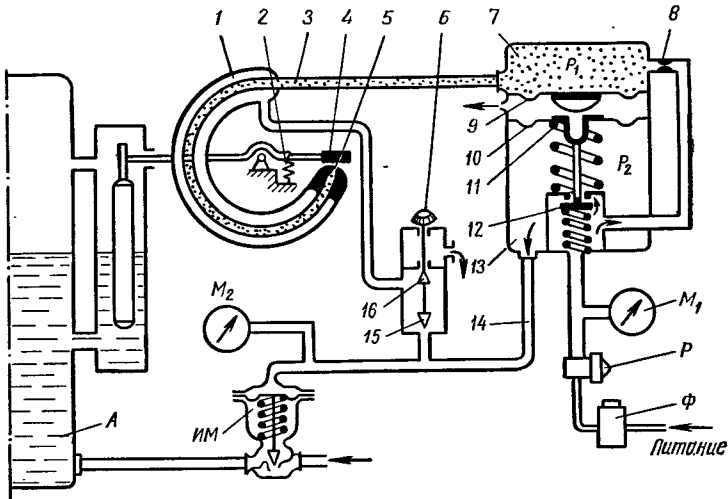


Рис. 85. Регулятор уровня типа РУКЦ.

При возрастании давления p_1 мембрана 9 прогибается вниз и диск ее нажимает на втулку 11, укрепленную на нижней резиновой мембране 10. Втулка 11 отводит клапан 12 вниз, и давление воздуха p_2 в камере 13 возрастает. Давление p_2 из камеры 13 по трубке 14 передается на мембрану исполнительного механизма, что уменьшает поступление жидкости в аппарат А.

С другой стороны давление на выходе p_2 через регулируемый дроссель 15 подается внутрь трубчатой пружины, которая осуществляет жесткую отрицательную обратную связь (см. рис. 51): повышение давления на выходе отводит сопло 5 вниз, что приводит к снижению давления p_1 , а следовательно, и p_2 .

Вращением винта 6 (т. е. дросселем 15) можно регулировать степень влияния обратной связи (коэффициент β), что позволяет в широких пределах изменять коэффициент усиления регулятора и соответственно диапазон пропорциональности.

При опускании дросселя 15 вниз подача воздуха в трубчатую пружину уменьшается, а сброс его через дроссель 16 в атмосферу увеличивается, что и приводит к уменьшению коэффициента обратной связи.

Диапазон высоты поддерживаемого уровня регулируется (в пределах высоты поплавка) первоначальным положением сопла 5 относительно заслонки 4. Питание осуществляется сжатым воздухом низкого дав-

ления через фильтр Φ и редуктор P . Манометры M_1 и M_2 служат для контроля давления после редуктора и в камере 13.

Регуляторы типа РУКЦ применяются в основном на холодильных установках химической промышленности.

Уровнемеры буйковые УБ-П по принципу действия не отличаются от регуляторов типа РУКЦ. При изменении уровня жидкости от начального до предельного значения они пропорционально изменяют выходное давление сжатого воздуха от 0,2 до 1 кгс/см². Это давление используется для управления пневматическими исполнительными механизмами. Выходное давление по трубке диаметром 6 мм может передаваться на расстояние до 300 м.

Пределы диапазона пропорциональности от 0 до 0,02 — 16 м. Класс точности 1 и 1,5. Давление воздуха питания 1,5 кгс/см². Расход воздуха не более 3 л/мин. Температура контролируемой среды от —40 до 100° С, в модификации УБ-ПБ — от —200 до —40° С.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА

Указатели расхода жидкостей и газов

Для контроля за расходом воды применяют водомеры типа ВК-5 (рис. 86) и ВК-10. При увеличении расхода воды скорость ее прохода через определенное сечение водомера возрастает. Вертикальная крыльчатка начинает быстрее вращаться. С осью крыльчатки через систему шестеренок связаны стрелки. Один оборот большой центральной стрелки соответствует расходу 100 л воды. Прибор показывает суммарный расход воды с момента его включения. Расход воды за определенный промежуток времени, например за месяц, замеряется как разность показаний в конце и в начале месяца. При снятии показаний прибора учитывают обычно только положение маленьких стрелок. Например, показание прибора на рис. 86 будет 9594,15 м³ (записывают значение той цифры, которая уже пройдена стрелкой).

Водомер ВК-5 дает правильные показания при расходе воды от 0,25 до 1,5 м³/ч. Длина водомера со штуцерами 250 мм; присоединительная резьба трубная 3/4". Устанавливается только горизонтально, циферблатом вверх. Направление потока воды соответствует стрелке, нанесенной на корпусе.

Для определения расхода жидкости в момент наблюдения применяют диафрагмы с дифференциальным манометром или ротаметры (см. рис. 42).

Расходомер с дифманометром типа ДМ и вторичным прибором типа ЭПВД показывает расход жидкости или газа в каждый момент времени, записывает эту величину на дисковой суточной диаграмме и с помощью счетчика суммирует расход среды за определенные промежутки времени.

Дифманометр ДМ воспринимает разность давления до и после диафрагмы, зависящую от расхода жидкости. При этом сердечник, связанный с мембранной коробкой, перемещаясь, изменяет индуктивность трансформаторных катушек.

Вторичная обмотка трансформаторной катушки ДМ включена в дифференциально-трансформаторную схему со вторичной обмоткой трансформаторной катушки ЭПВД. При отклонении сердечника ДМ от среднего положения в схеме возникает разбаланс, который подается на электронный усилитель. Усиленный сигнал разбаланса вызывает

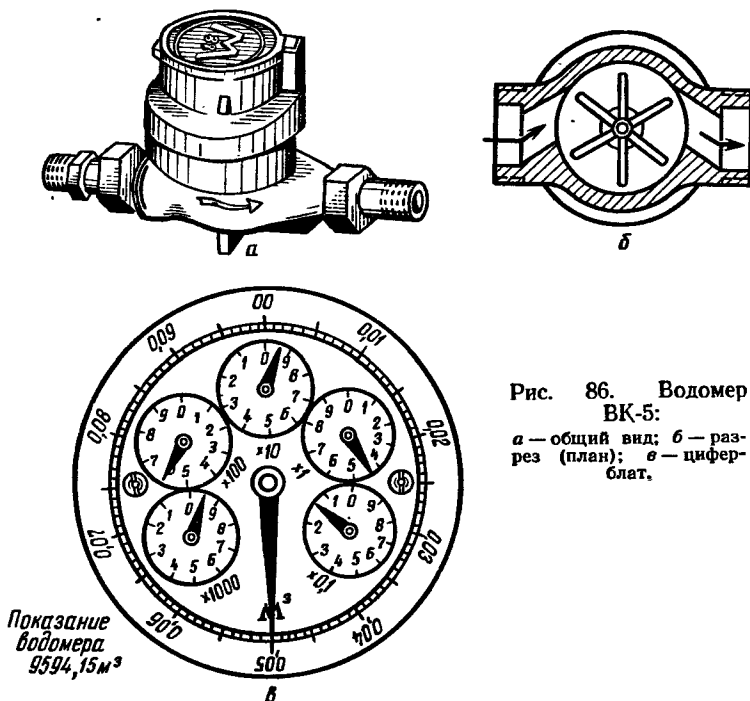


Рис. 86. Водомер ВК-5:
a — общий вид; *б* — разрез (план); *в* — циферблат.

вращение реверсивного двигателя (типа РД-09), который своим кулачком перемещает сердечник катушки ЭПВД, пока не исчезнет сигнал разбаланса. Стрелка, связанная с валом двигателя, указывает расход и дает запись на диаграмме. Величина мгновенных расходов меняет соответственно продолжительность импульсов, которые подаются на счетное устройство, вращающееся от синхронного двигателя (типа СД-60).

Реле расхода

Реле расхода (струйные реле, реле протока) преобразуют изменение расхода жидкости или газа в замыкание электрических контактов. Их применяют в большинстве случаев для автоматической защиты на крупных холодильных установках. Чувствительные элементы расхода рассмотрены выше (см. рис. 42)

Реле расхода. Реле расхода (рис. 87, а) состоит из диафрагмы 1, дифференциального реле давления ДРД и соединительных трубок с вентилями.

Чувствительный элемент ДРД имеет две мембранные коробки 7 и 10, ввернутые в разделительный диск 3. Полость мембраны и соединительного канала заполнена дистиллированной водой. Полости между крышками 4 и 5 и разделительным диском 3 заполнены жидкостью, расход которой измеряют.

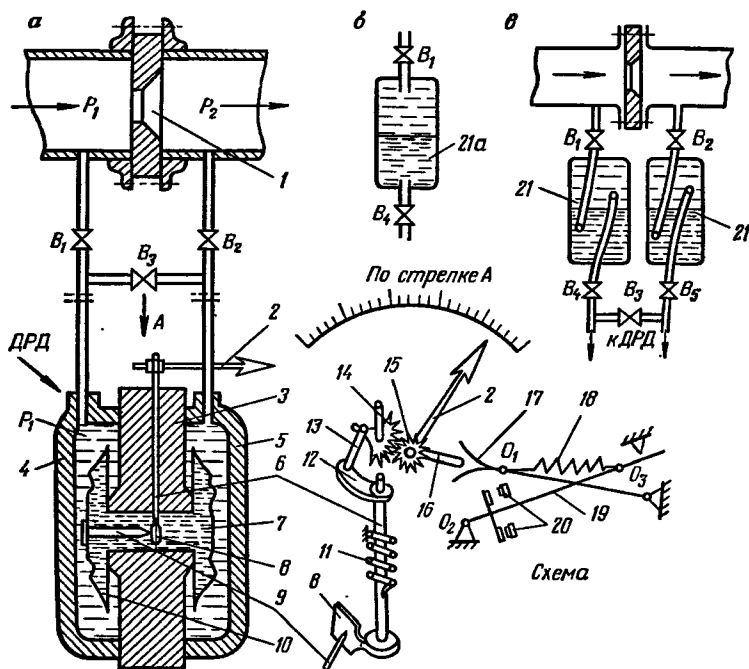


Рис. 87. Реле расхода РРК:

а — кинематическая схема; б — подключение РРК к агрессивной среде; в — упрощенная конструкция разделительного сосуда.

При увеличении расхода жидкости давление перед диафрагмой 1 (p_1) станет больше, чем давление после нее (p_2). Мембрана 10 сожмется, вытеснив часть воды в мембранную коробку 7. Жесткий центр 9 нажмет при этом на флажок 8 и повернет торсионный вал 6, на другом конце которого имеется рычаг 12; через тягу 13 и сектор 14 рычаг 12 поворачивает трибку 15 со стрелкой 2. Пружина скручивания 11 возвращает стрелку на нуль, когда давление $p_1 = p_2$. Палец 16, укрепленный на одной оси со стрелкой, поворачивает рычаг 17, и, когда ось O_1 пружины 18 перейдет за линию $O_2 - O_3$, рычаг 19 резко повернется и замкнет контакт 20.

Заданная разность давлений (и расход), при которой замыкаются контакты, устанавливается поворотом пальца 16 относительно стрелки (специальным ключом).

У реле условный проход диафрагм 14, 25, 40, 50, 60, 80, 100, 125, 150, 200 мм. Пределы настройки 30—90 % от максимального расхода. Дифференциал 20 % от максимального перепада. Допустимая погрешность $\pm 5\%$ от верхнего предела. Разрывная мощность 150 В · А. Инерционность не более 5 с. Масса 10 кг. Давление контролируемой среды для дифманометра ДРД-01 до 40, а для ДРД-02 — до 16 кгс/см².

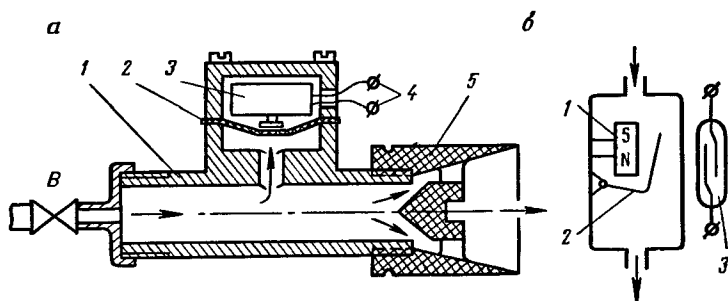


Рис. 88. Реле протока РП-67 (а) и реле расхода на герконах (б).

Особенности монтажа диафрагмы заключаются в следующем. Длины прямых участков трубопроводов должны быть не менее 25 диаметров трубы до диафрагмы и не менее 5 диаметров за диафрагмой. От задвижки диафрагма должна отстоять (по ходу жидкости) на расстояние не менее 80 диаметров трубы. Коническое отверстие диафрагмы должно расширяться по ходу потока.

Для проверки нулевого положения стрелки перекрывают вентили B_1 и B_2 и открывают B_3 , выравнивая давления. Если жидкость, расход которой измеряется, представляет собой агрессивную среду, то между диафрагмой и ДРД включают два разделительных сосуда 21. Когда плотность жидкости в трубе больше, чем в приборе, сосуды подключают, как показано на рис. 87, в. Если плотность жидкости меньше, чем в приборе, конструкция разделительного сосуда упрощается (рис. 87, б).

Реле протока РП-67. Этот прибор служит для размыкания электрических контактов при понижении давления воды. Понижение давления может быть вызвано прекращением или резким уменьшением протока воды, охлаждающей цилиндры компрессора или конденсатор.

Реле устанавливают на сливе воды. Перед реле протока (например, на входе в конденсатор) ставят вентиль B (рис. 88). Этот вентиль и насадка 5 позволяют в широких пределах регулировать давление в корпусе 1 и соответственно расход воды, при котором отключается компрессор.

В этом реле насадка 5 выполняет роль диафрагмы (см. рис. 87): чем больше расход воды, тем больше разность давлений до насадки и

после нее, но здесь давление после диафрагмы (на выходе) равно атмосферному. Разность давлений воспринимается мембраной 2, которая нажимает на шток микровыключателя 3, замыкающий контакты 4 в пусковой цепи компрессора.

Выводные контакты реле герметизированы. Оно может применяться на фреоновых и аммиачных установках. При избыточном давлении воды менее $0,4 \text{ кгс/см}^2$ контакты реле всегда разомкнуты. Максимальный расход воды РП-67 при избыточном давлении воды на входе 3 кгс/см^2 равен $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($D_y = 19 \text{ мм}$).

Реле протока РП-67 — это по существу реле давления. Поэтому в закрытых системах (при обратном водоснабжении), где нельзя создать достаточный местный напор давления, следует применять реле расхода. На рис. 88, б показана схема реле расхода на герконах. С уменьшением расхода заслонка 2 притягивается к магниту 1 и шунтирует его. Контакты геркона 3 при этом размыкаются (см. рис. 33, д).

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ, ЗАПИСИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЛАЖНОСТИ

Для измерения и регулирования относительной влажности применяют приборы, состоящие из датчика влажности и вторичного прибора, обеспечивающего показание, запись или срабатывание выходного реле. Измерение влажности датчиком основано на одном из трех методов (см. рис. 44): психрометрическом, по точке росы и на изменении физических свойств (упругости, электропроводности) гигроскопических веществ при поглощении ими влаги.

Электронные автоматические психрометры типа ПЭ. Эти приборы состоят из психрометрического датчика влажности ДВП (рис. 89) и автоматического электронного моста (типа ЭМП, ЭМД и МСР), обеспечивающего дистанционный контроль, запись и при необходимости регулирование относительной влажности.

В корпусе датчика имеется два термометра сопротивления: «сухой» — 4 и «мокрый» — 10. «Мокрый» термометр обтянут хлопчатобумажной тканью 9, смачиваемой водой. Уровень воды в датчике автоматически

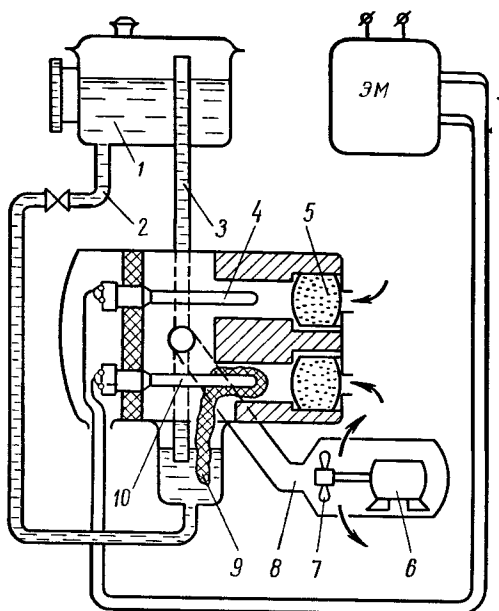


Рис. 89. Датчик влажности психрометрического типа ДВП-03 с электронным мостом (ЭМ).

пополняется через трубку 2 из верхнего бачка 1. Этот бачок залит дистиллированной водой и герметично закрыт пробкой. Уровень воды в бачке 1 и трубке 3 одинаковый. Когда часть воды с «чулка» 9 испарится и уровень в датчике станет ниже нижнего конца трубки 3, за счет разности уровней вода из бачка 1 начнет поступать в датчик и перекроет нижний конец трубки 3. Дальнейшее повышение уровня в датчике быстро прекратится, так как вакуум в верхней части бачка 1 уравновесит разность уровней (250—500 мм).

Двигатель 6 с крыльчаткой 7 через трубу 8 отсасывает воздух из камеры датчика. Воздух, поступающий в камеру датчика, проходит фильтры 5, наполненные коксом. Скорость воздуха, обдувающего термометры сопротивления, 3—4 м/с.

Датчик ДВП-03 измеряет относительную влажность при температуре от $+10$ до $+40^{\circ}\text{C}$ в пределах 20—100%; погрешность измерений не более $\pm 3\%$. Датчик ДВП-04 может работать в различных диапазонах температур: 10—40; 40—70 и 70—100 $^{\circ}\text{C}$.

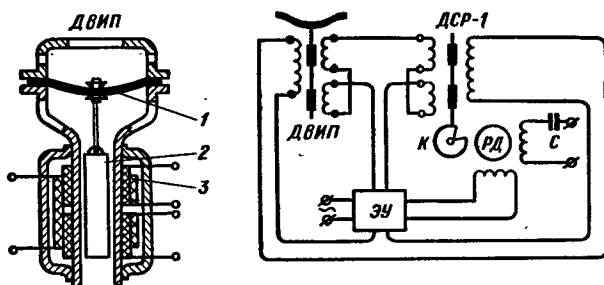


Рис. 90. Регулятор влажности с датчиком ДВП и со вторичным прибором ДСП-1.

Регулятор влажности с датчиком ДВП. При измерении влажности воздуха в камерах с низкими температурами применение психрометрического метода требует очень высокой точности измерения температуры. Волосяные гигрометры дают большую остаточную деформацию. Поэтому в настоящее время на крупных холодильниках получили распространение регуляторы относительной влажности с датчиком типа ДВП (рис. 90). Чувствительным элементом этого датчика служит мембрана 1, изготовленная из гигроскопической пленки. При повышении влажности мембрана прогибается и сердечник 2 опускается, изменяя индуктивное сопротивление катушки 3. Возникающий разбаланс дифференциально-мостовой схемы подается на электронный усилитель ЭУ вторичного прибора ДСП-1, к которому подключен ДВП. Усиленный сигнал разбаланса поступает на управляющую обмотку реверсивного двигателя РД. При вращении двигателя кулачок К перемещает сердечник катушки вторичного прибора до тех пор, пока не устраняется разбаланс, вызванный перемещением сердечника ДВП. Двигатель РД останавливается, когда напряжение на входе

электронного усилителя снова станет равным нулю. С осью реверсивного двигателя связаны показывающее, записывающее и регулирующее устройства.

Настраивают прибор при 100 %-ной влажности, когда прогиб мембраны постоянный. При этом катушку устанавливают относительно корпуса так, чтобы показание по шкале было тоже равно 100 %.

Диапазон измерения и регулирования относительной влажности воздуха от 40 до 98 %. Основная погрешность $\pm 5\%$. Допустимая рабочая температура воздуха, окружающего датчик, от -30 до $+35^\circ\text{C}$. Постоянная времени в спокойном воздухе 7—8 мин, а при циркуляции воздуха (1,2—1,5 м/с) от 80 до 85 с.

Датчик ДВИП целесообразно применять при скоростях воздуха порядка 0,8 — 2,5 м/с. При меньших скоростях увеличивается постоянная времени, а при больших — снижается точность измерений.

Датчик реле относительной влажности типа ДРОВ. Это трехпозиционное реле влажности предназначено для систем кондиционирования воздуха. В качестве датчика применен пленочный чувствительный элемент, омическое сопротивление которого зависит от относительной влажности окружающего воздуха. Схема прибора аналогична ПТР-3. Датчик влажности включен в одно из плеч моста переменного тока. Напряжение разбаланса моста после усиления попадает на фазочувствительный усилитель, и в зависимости от знака разбаланса триггеры включают выходное реле 1Р или 2Р. Статическая характеристика реле и схема включения выходных контактов аналогична ПТР-3 (см. рис. 24, б и 70).

Диапазон настроек относительной влажности ДРОВ-3-01 от 35 до 70 %, ДРОВ-3-02 — 60—90 %, дифференциал регулируется в пределах 5—15 %. Пределы изменения температуры воздуха для датчика 15—35° С, для вторичного прибора — от -50 до $+50^\circ\text{C}$. Основная погрешность $\pm 3\%$ относительной влажности. Расстояние между прибором и датчиком до 50 м.

Регулятор влажности УДРОВ. Это «устройство дистанционного регулирования относительной влажности» состоит из электролитического влажочувствительного элемента ЭВЧ (датчика) и электронного одноточечного или многоточечного автоматического моста (типа МС1, МСР1, ЭМП, ЭМР и других, градуировка 23).

Конструктивно датчик ЭВЧ представляет собой полый цилиндр высотой 60 мм, диаметром 32 мм. На поверхности его бифилярно намотаны проволочные электроды и нанесена пленка сорбента. Для согласования высокого сопротивления датчика с низким входным сопротивлением электронного моста между ними установлен согласующий делитель СВД.

Диапазон измеряемой влажности УДРОВ с датчиком ЭВЧ-01-1 от 35 до 80 %, с датчиком ЭВЧ-02-Г — от 60 до 95 %. Интервал рабочих температур измеряемой среды от 15 до 35° С. Погрешность при многоточечном измерении (до 12 точек) не более $\pm 3\%$.

Датчики ЭВЧ в отличие от ДВИП допускают вибрацию с частотой 25 Гц при амплитуде 0,35 мм. Дистанционность измерения до

600 м. Допускают скорость обдувания датчика более 5 м/с, поэтому их целесообразно устанавливать в воздуховодах установок технологического кондиционирования.

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Исполнительные механизмы, используя внешний источник энергии, приводят в действие основной регулирующий орган. В холодильных установках применяют электромагнитные (соленоидные) вентили, электромоторные вентили и задвижки и пневматические исполнительные механизмы.

Электромагнитные (соленоидные) вентили

Наиболее широкое применение получили запорные электромагнитные вентили. При подаче напряжения на катушку электромагнита они открывают клапан; это «нормально закрытые» вентили. Иногда применяют «нормально открытые» вентили: при подаче напряжения клапан у них закрывается.

Реже применяют переключающие вентили. Они служат для изменения направления потока жидкости или газа (например, при оттаивании испарителей горячим паром).

По принципу действия электромагнитные вентили разделяют на вентили прямого действия, непрямого действия и комбинированные. В вентилях прямого действия клапан перемещается только под действием силы электромагнита. В вентилях непрямого действия для открытия и закрытия клапана используется энергия протекающей жидкости или газа (разность давлений до клапана и после него). В вентилях комбинированного действия используют как силу электромагнита, так и давление рабочей среды.

Запорные электромагнитные вентили. Наиболее просты по конструкции запорные вентили прямого действия (рис. 91, а). Сердечник 2 с клапаном 1, закрывающим проходное сечение, расположен внутри трубки 6 из немагнитной стали, на которую надета катушка электромагнита 4, сверху закрытая легким кожухом 5. При подаче напряжения катушка электромагнита 4, преодолевая силу разности давлений жидкости и силу пружины 3, втягивает сердечник 2, который перемещается вверх, и клапан 1 из специальных сортов резины, впрыснутый в сердечник, отрываясь от седла, открывает проход жидкости. При снятии напряжения пружина 3 сажает клапан на седло; давление жидкости на клапан обеспечивает плотное закрытие. Эти вентили выпускаются с диаметром условного прохода 6—10 мм. При больших диаметрах возрастает сила давления жидкости на клапан и требуются электромагниты большой мощности.

Электромагнитные вентили комбинированного действия бывают поршневого и мембранного типов. Рассмотрим принцип действия поршневого электромагнитного вентиля (рис. 91, б). При отсутствии тока разгрузочный (управляющий) клапан 5 переключает центральное отверстие в поршне-клапане 6. Поступающая жидкость через калибро

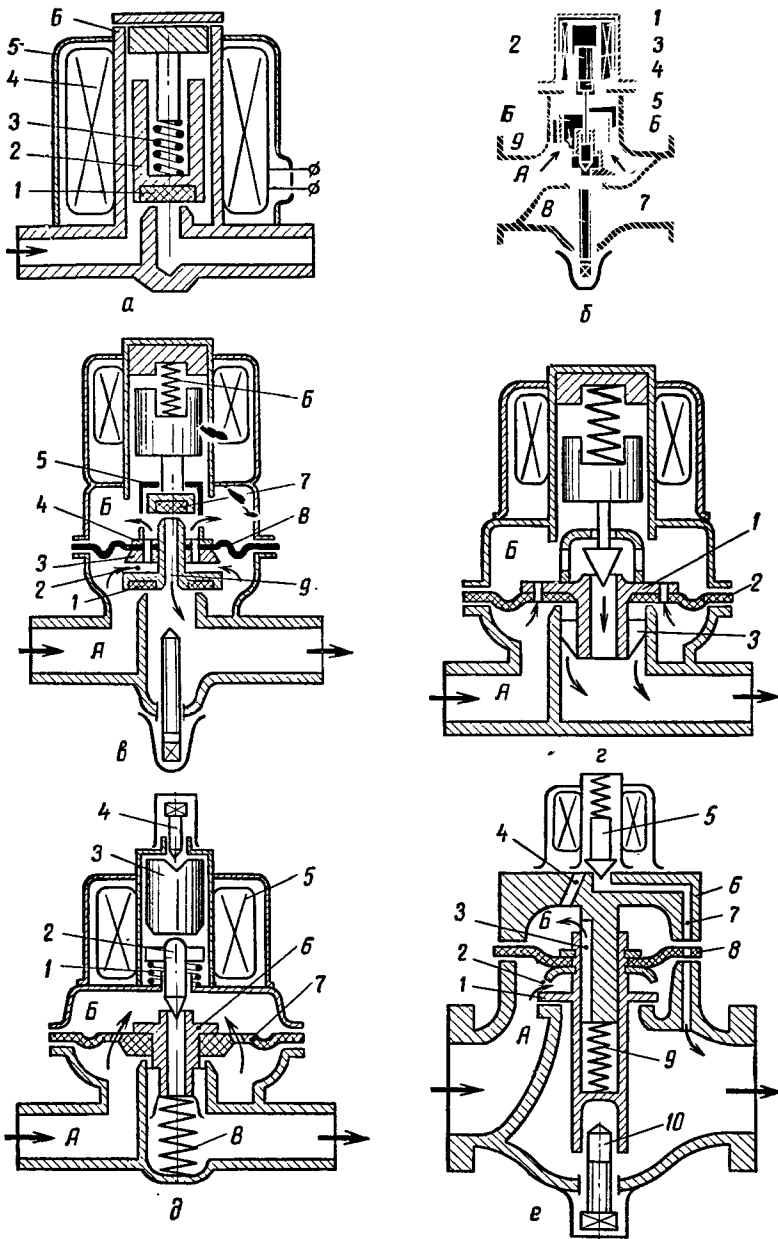


Рис. 91. Схемы запорных электромагнитных вентилей:
 а — прямого действия; б — д — комбинированного; е — непрямого действия.

ванное отверстие 9 в поршне-клапане 6 или по специальной канавке вдоль образующей поршня попадает в полость Б над поршнем 6. Давление жидкости и вес клапана обеспечивают плотное его закрытие.

При появлении тока в катушке 1 сердечник 2 втягивается в катушку и, ударяя по корончатой гайке 4, открывает разгрузочный клапан 5. Жидкость из верхней полости поршня 6 стекает через центральное отверстие и давление ее падает. Под действием силы электромагнита и давления жидкости, поступающей снизу (из полости А), поршень перемещается вверх до полного открытия.

Катушка 1 отделена от жидкостной полости трубкой 3 из немагнитного материала. Винт 8 служит для принудительного открытия клапана. Для лучшего уплотнения в основном клапане предусмотрена резиновая прокладка, которая прилегает к латунному седлу 7.

Центральное отверстие в поршне не должно быть намного больше калиброванного отверстия 9 (или площади сечения продольной канавки), иначе клапан будет очень быстро закрываться (менее чем за 0,3 с) и произойдет недопустимое повышение давления в трубопроводе до вентиля (свыше 16—20 кгс/см²), что может вызвать гидравлический удар и разрыв трубопровода.

Во фреоновых вентилях седло, клапан и некоторые другие детали выполнены из латуни, в аммиачных — из нержавеющей стали.

Поршневые соленоидные вентили данного типа (СВФ, СВА) работают недостаточно надежно: поршень часто заедает в открытом или закрытом положении, при ударе обрывается корончатая гайка. Поэтому в последние годы перешли на выпуск мембранных электромагнитных вентилях.

Принцип действия мембранного вентиля типа СВМ-15 (рис. 91, в) не отличается от поршневого вентиля. При закрытом вентиле жидкость со стороны входа А под давлением проходит через кольцевое отверстие 2 между основным клапаном 1 и шайбой 3 (щелевой фильтр) и далее через отверстие 4 в шайбе и мембране 8 попадает в надмембранную полость Б, прижимая основной клапан 1 к седлу. При включении катушки разгрузочный клапан 7 открывает центральное отверстие 9 в основном клапане и жидкость из полости Б сливается, давление над мембраной падает. При дальнейшем движении сердечника вверх разгрузочный клапан упирается в заплечики 5 основного клапана. Сила электромагнита и давление жидкости А (под мембрану), преодолевая усилие пружины 6, открывают основной клапан.

Электромагнитные вентили такого же типа, но более поздней конструкции (рис. 91, г) — СВМ12Ж-15 и СВМ12Г-15 не имеют щелевого фильтра. Основной клапан 1 имеет направляющие перья 3, что улучшает его работу в условиях вибрации. Мембрана 2 у вентиля СВМ12Г-15, предназначенного для работы с газообразным фреоном-12, выдерживает температуру до 120° С, поэтому его можно ставить на линиях байпаса. Вентили для жидкости и газа (индексы Ж и Г) выпускаются как с винтом для принудительного открытия клапана, так и без него.

На рис. 91, д показана схема нормально открытого электромагнитного вентиля СВМ13Г-10НО, предназначенного для перепуска газообразного фреона-13 после остановки компрессора в расширитель-

ную емкость. У этого вентиля сердечник 3 расположен выше электромагнитной катушки 5, поэтому при подаче напряжения она втягивает сердечник вниз, он нажимает на разгрузочный клапан 2, который перекрывает центральное отверстие основного клапана 6 и опускает его вместе с мембраной 7 вниз. Окончательное уплотнение достигается давлением газа, который со стороны входа через отверстие в мембране попадает в полость над мембраной. При снятии напряжения пружина 1 поднимает разгрузочный клапан 2 и сердечник 3. Давление газа над мембраной падает (полость Б сообщается с выходом), и основной клапан 6 под действием силы давления газа А под мембрану и пружины 8 открывается. Винт 4 служит для принудительного закрытия клапана.

В электромагнитных вентилях комбинированного типа разгрузочный клапан имеет сравнительно большой ход, иначе он может быть перекрыт при открытии основного клапана. А для большого хода сердечника нужен более мощный электромагнит. Поэтому для диаметров прохода $D_y = 25$ и выше применяют вентили непрямого действия, у которых седло разгрузочного клапана расположено неподвижно в крышке корпуса.

Схема электромагнитного вентиля непрямого действия (типа СВМ-25, СВМ-40) показана на рис. 91, е.

Поступающая на вход (в полость А) жидкость проходит через отверстие щелевого фильтра 2 и по продольному срезу 3 в направляющей крышки 6 поступает в надмембранную полость Б. При отсутствии напряжения разгрузочный клапан 5 закрыт и жидкость не может выйти из полости Б. Давление жидкости на мембрану 8 (в полости Б) становится равным давлению под мембрану. Под действием сжатой пружины 9 клапан 1 опускается вниз и закрывает основной проход.

При подаче напряжения разгрузочный клапан 5 открывает отверстие в крышке 6 и жидкость из надмембранной полости Б через отверстие 7 сливается. Тогда сила давления жидкости А под мембрану 8 оказывается больше силы пружины 9, стремящейся закрыть основной клапан 1, и клапан открывается. Винт 10 служит не только для принудительного открытия клапана, но и для направления движения основного клапана 1.

Техническая характеристика электромагнитных запорных вентилях приведена в табл. 12.

Соленоидные вентили устанавливаются на горизонтальном участке трубопровода в строго вертикальном положении. Перед СВ ставят фильтр, который необходимо периодически очищать. При монтаже необходимо оставить место для удобного снятия катушки и для поворота винта принудительного открытия. Направление жидкости должно соответствовать стрелке на корпусе СВ. В соленоидных вентилях (в отличие от ручных) жидкость подается «на клапан». Перед монтажом целесообразно проверить работу СВ на стенде путем периодической подачи напряжения как при минимальном, так и при максимальном перепаде давлений (см. лабораторную работу № 4).

Переключающие электромагнитные вентили. Эти вентили применяют в малых холодильных машинах и автономных кондиционерах для переключения холодильной машины в режим теплового насоса. Это

Тип вентиля	Напряжение питания, В		Перепад давлений, обеспечивающий открытие, кгс/см ²	Температура рабочей среды, °С	Рабочая среда
	постоянного тока	переменного тока			
СВМ-6, 10, 15	12,24	127	0—16	От — 40 до + 45	Аммиак, фреоны, вода, воздух, раствор
СВМ-25, 40, 50, 65	110, 220	220, 380	1—16	» — 40 » + 45	
СВМ12Ж-15	12,24	127, 220	0—16	» — 2 » + 45	Жидкий фреон-12
СВМ12Г-15	110, 220	380, 400	0—16	» + 10 » + 100	Газообразный фреон-12
СВМ13Г-10НО	—	220, 380	0,05—17	» — 30 » + 60	Газообразный фреон-13

позволяет использовать холодильную машину для обогрева помещения в холодное время года и периодически оттаивать испаритель. Поэтому их называют автоматическими переключателями режимов (АПР).

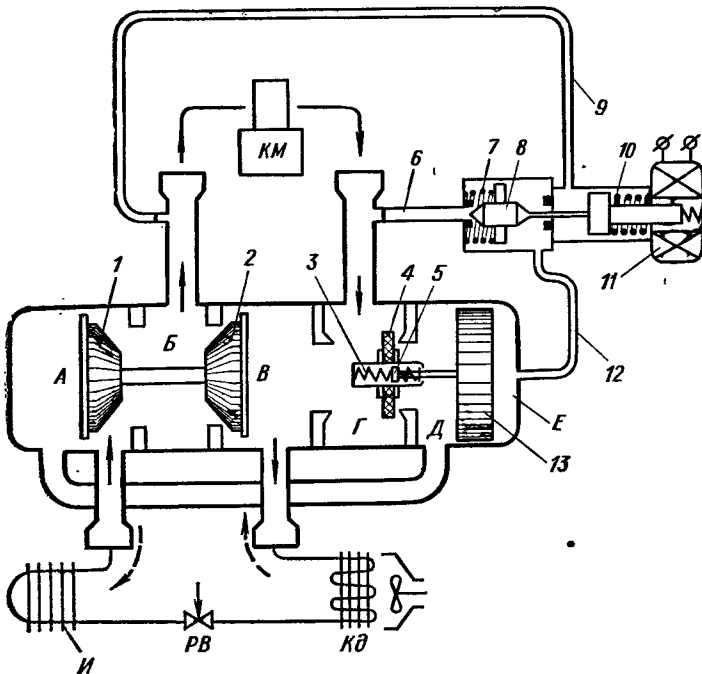


Рис. 92. Автоматический переключатель режимов АПР.

При переключении режима клапан направляет сжатый в компрессоре горячий пар не в конденсатор, а в испаритель, а компрессор начинает отсасывать пары не из испарителя, а из конденсатора.

Рассмотрим подробнее принцип действия АПР (рис. 92). АПР имеет электромагнит 11 (перемещает управляющий клапан 8), поршень 13, связанный с основным клапаном 4, и самодействующие клапаны 1 и 2 на общем штоке. На схеме показано положение АПР при обычном режиме: сжатый пар через полости Г и В нагнетается в конденсатор, а отвод пара из испарителя идет через полость Б в компрессор. В полостях Б, А, Д и Е — давление всасывания; в полостях В и Г — давление нагнетания. Клапан 2 разностью давлений $p_B - p_B$ прижат влево, а клапан 4 — вправо. При подаче напряжения на катушку электромагнита 11 сердечник, сжимая пружину 10, перемещает поджимаемый пружиной 7 управляющий клапан 8 вправо. Трубка 9 закрывается, а трубка 6 открывается, и давление нагнетания по трубке 12 подается на поршень 13. Шток 5 начинает сжимать пружину 3, и при определенном усилии основной клапан оторвется от седла. Освободившись от воздействия разности давлений $p_G - p_D$ клапан 4 под действием сжатой пружины 3 резко переместится влево и перекроет полость В. Сжатый пар попадет в полость Д и далее по обводной трубе в полость А. Зазор между клапаном 1 и цилиндрическим корпусом небольшой, поэтому давление сжатия p_A возрастает и становится больше давления конденсации p_B . За счет разности давлений $p_A - p_B$ клапаны 1 и 2 перемещаются вправо и сжатый пар из полости А пойдет в испаритель, а пар из конденсатора через полости В и Б будет отсасываться компрессором (этот режим показан пунктирными стрелками).

Автоматические переключатели АПР-15, АПР-25 и АПР-32 (цифра указывает диаметр условного прохода на линии всасывания, мм) предназначены для работы на фреоне-12 и фреоне-22. Температура рабочей среды от -30 до $+120^\circ\text{C}$. Разность между давлением нагнетания и всасывания, обеспечивающая переключение клапана, должна быть не менее $2,5 \text{ кгс/см}^2$; потеря давления всасываемого пара (при $t_0 = -30^\circ\text{C}$) не более $0,03 \text{ кгс/см}^2$. Напряжение питания 12 В при постоянном токе и 220 В при переменном.

Электродвигательные клапаны

Для крупных автоматизированных холодильных установок и для установок кондиционирования многие заводы поставляют запорные клапаны и задвижки комплектно с электроприводом.

Эти электроприводы имеют редуктор, снижающий число оборотов выходного вала и увеличивающий крутящий момент. Выпускают однооборотные и многооборотные двигатели. Выходной вал может иметь устройство для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное.

Электроприводы имеют реверсивный ход. У одних двигателей (типа ПР) для этого имеются две обмотки, дающие противоположное вращение валу; у других (типа МЭК, МЭО) при помощи реверсивного пускателя или реле меняются фазы у одной обмотки.

Большинство электроприводов имеют реостат обратной связи, позволяющий осуществить пропорциональное регулирование, следящую схему и дистанционное указание на положение вала. Концевые выключатели двигателей служат для отключения их в крайних положениях клапана и для сигнала или подключения другого двигателя после полного открытия вентиля первым двигателем.

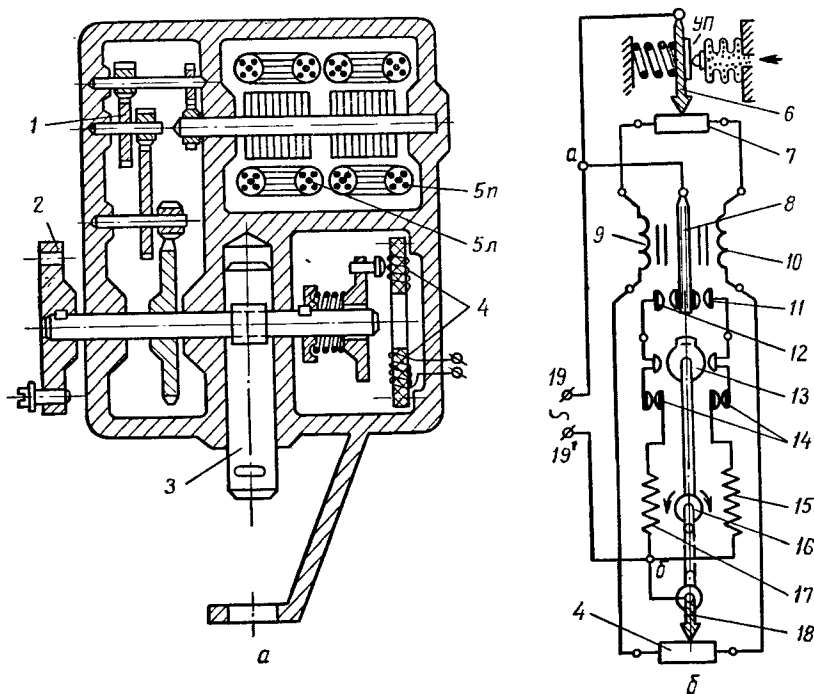


Рис. 93. Пропорциональный исполнительный двигатель ПР:
а — разрез; б — схема включения.

Пропорциональный двигатель ПР-М. Этот двигатель (рис. 93, а) включает в себя по существу два двигателя: один из них 5л (левый) вращает вал в одном направлении, а другой 5п (правый) — в противоположном. Выходной вал через редуктор 1 и шайбу 2 обеспечивает поворот регулирующего органа (например, задвижки) на 180°. Через шток 3 можно одновременно осуществить возвратно-поступательное движение другого РО (в модели ПР-1М этот шток отсутствует). Скорость вращения выходного вала зависит от сочетания шестерен в редукторе. Продолжительность половины оборота может быть 10, 30, 60, 90 и 120 с. Двигатель имеет реостат обратной связи 4 и концевой выключатель.

Рассмотрим схему подключения ПР-М, обеспечивающую пропорциональное регулирование (рис. 93, б). Кроме двигателя в схему вхо-

дит пропорциональный регулятор давления или температуры УП с реохордом 7 и балансное реле 8 (с катушками 9 и 10).

Пропорциональное регулирование осуществляется следующим образом. В начальном состоянии вентиль находится в среднем положении (открытие его соответствует средней нагрузке). Движок 18 находится посередине реостата 4, управляющий прибор УП настраивают на заданное значение регулируемого параметра, движок 6 находится посередине реохорда 7. Ток с клеммы 19 идет на движок 6 и раздвигается. Поскольку сопротивление в левой цепи равно сопротивлению в правой, то сила тока в катушках 9 и 10 одинакова. Сердечник 8 балансового реле находится в нейтральном положении, контакты 11 и 12 разомкнуты, двигатель стоит.

При изменении регулируемого параметра движок 6 перемещается по реохорду 7 (предположим, влево). Сила тока в катушке 9 возрастает, а в катушке 10 падает. Сердечник реле 8 замкнет левый контакт 12, и ток с узла *a* через контакт 12 пойдет на катушку статора 17 (двигатель левый 5л). Вращение ротора 16 двигателя будет изменять положение РО и одновременно перемещать движок 18 реостата обратной связи вправо. Когда сопротивление в левой части реостата 4 увеличится настолько, что компенсирует уменьшение сопротивления в левой части реохорда 7, ток в катушках 9 и 10 снова станет одинаковым и сердечник 8 реле, разомкнув контакт 12, займет нейтральное положение. Двигатель остановится, но выходной вал будет уже повернут на определенный угол, и РО займет новое положение, отклонившись от среднего пропорционально изменению регулируемой величины. При отклонении регулируемой величины в другую сторону движок 6 переместится по реохорду 7 вправо, катушка реле 10 притянет сердечник 8 и замкнет контакт 11.

Ток пойдет в двигатель правый 5п (катушка 15), и вал будет вращаться в противоположном направлении, пока реостат обратной связи снова не восстановит равновесие.

При повороте вала от среднего положения на заданный угол (от 0 до 90° в зависимости от регулировки) концевой выключатель 13 размыкает левый или правый контакт 14 и останавливает двигатель.

Схема включения ПР-М без балансного реле с пропорциональным регулятором температуры ПТР-П была показана на рис. 73, а.

Пропорциональный двигатель типа МЭО. Механический электропривод однооборотный типа МЭО несколько отличается от ПР-М. Он имеет две параллельные обмотки, одна из которых для сдвига фаз включена последовательно с конденсатором. Реверсивное вращение создается переключением фаз, питающих вторую обмотку. Для резкой остановки после отключения питания двигатель имеет электромагнитный тормоз. При включении электромагнит освобождает тормоз. Концевые выключатели 1В и 2В имеют переключающие контакты.

Схема подключения двигателя МЭО к выходным клеммам регулирующего прибора РП показана на рис. 94. Для реверсивного пуска использованы два промежуточных реле: РО — для открытия клапана и РЗ — для закрытия. При снижении регулируемого параметра РП замыкает контакт Н и включает реле РО, которое контактом РО-2

дает питание обмотке O_1 двигателя (через конденсатор C), а контактами $PO-3$ и $PO-4$ подключает обмотку O_2 и электромагнит тормоза T к фазам 1 и 2. При этом контакт $PO-1$ обрывает цепь реле $PЗ$ во избежание одновременного включения PO и $PЗ$, что привело бы к короткому замыканию (по цепи: фаза 1 — $PO-3$ — $PЗ-4$ — фаза 2 или $PЗ-3$ — $PO-4$).

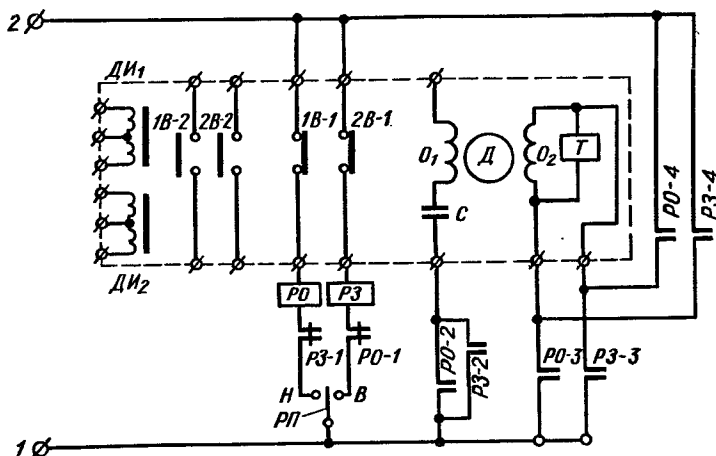


Рис. 94. Электрическая схема включения исполнительного механизма МЭО.

Если параметр находится в заданных пределах (разомкнуты контакты H и B реле $РП$), двигатель стоит. При замыкании контакта B включается реле закрытия $PЗ$, направление тока через обмотку O_2 меняется и двигатель вращается в обратную сторону. Контакты концевых выключателей $1В-1$ и $2В-1$ отключают реле PO и $PЗ$ и останавливают двигатель в крайних положениях вала. Индуктивные датчики $ДИ_1$ и $ДИ_2$ позволяют передать во внешние цепи сигнал положения регулирующего органа и могут быть использованы для обратной связи при пропорциональном регулировании. Вторые контакты концевых выключателей $1В-2$ и $2В-2$ также могут быть использованы во внешней цепи (например, для подключения второго двигателя, когда данный двигатель полностью открыл задвижку).

У двигателей типа МЭК-10К время одного оборота 120 или 360 с; у двигателей МЭК-25К оно равно 40 или 120 с. Цифры 10 и 25 указывают номинальный момент двигателя на выходном валу. Двигатели поставляются комплектно с пускателем для реверсивного пуска на 127 и 220 В.

У двигателей МЭО-4 и МЭО-10 время одного оборота 40 или 100 с. Напряжение 220 В.

Двигатели БИМ-2,5/120 и БИМ-25/100 имеют бесконтактное управление (от магнитных или электронных усилителей).

У многооборотных двигателей (типа МЭМ-4; МЭМ-10 и МЭМ-25) выходной вал может иметь 10, 25, 63 или 160 об/мин; у двигателя МЭМ-1,6 — либо 10, либо 25 об/мин.

Более мощные электроприводы кроме концевых выключателей имеют одностороннюю или двустороннюю муфту крутящего момента, которая отключает двигатель, когда усилие открытия или закрытия клапана достигает определенной величины.

Пневматические исполнительные механизмы

Выпускаются пневматические исполнительные механизмы поршневого и мембранного (МИМ) типа. Принцип действия их был рассмотрен при описании регуляторов непрямого действия АДД-40 (см. рис. 60, а), ПРУДВ (см. рис. 84) и РУКЦ (см. рис. 85).

Мембранные пневматические клапаны в зависимости от исполнения с повышением давления воздуха на мембрану 1 открываются или закрываются. Для больших диаметров прохода клапаны выполняются двухседельными 2 (рис. 95). Выпускают клапаны с условным проходом 25, 50, 80, 100, 150, 200, 250 и 300 мм. Вентили с чугунным корпусом рассчитаны на давление 16 кгс/см², а со стальным — на 60 кгс/см². Начало открытия клапана при $p_{изб} = 0,15$ кгс/см², а полное открытие при 1 кгс/см².

Дробная цифра в марке механизмов МИМ-200/16; 250/25; 320/40; 400/60 указывает условный проход и ход штока (в мм).

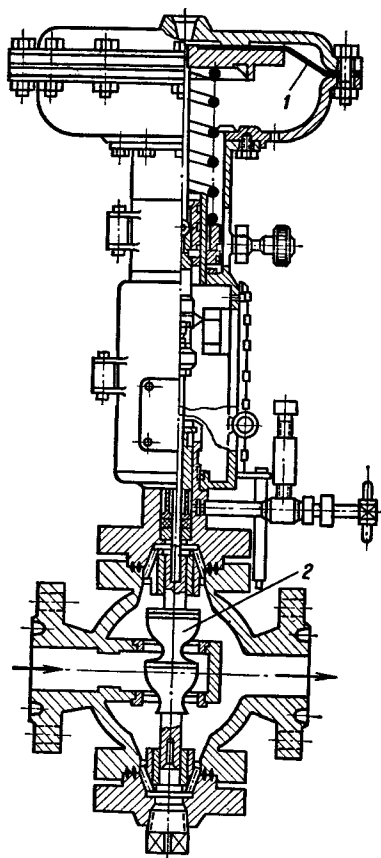


Рис. 95. Пневматический исполнительный механизм мембранного типа.

ПРИБОРЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

К этой группе приборов можно отнести приборы, выполняющие отдельные вспомогательные операции — защиту установки от опасной концентрации аммиака или фреона, реле времени, программные реле, датчики для автоматической оттайки испарителей, приборы для учета времени работы компрессоров и др.

Реле концентрации газообразного холодильного агента

Сигнализатор паров аммиака СПА-2. При повышении концентрации паров аммиака в помещении до 0,04 мг/л («санитарная норма») прибор СПА-2 дает световой сигнал и включает вентилятор. Если концентрация аммиака продолжает повышаться и достигает 0,4 мг/л («аварийный предел»), прибор дает аварийный сигнал и отключает холодильную установку.

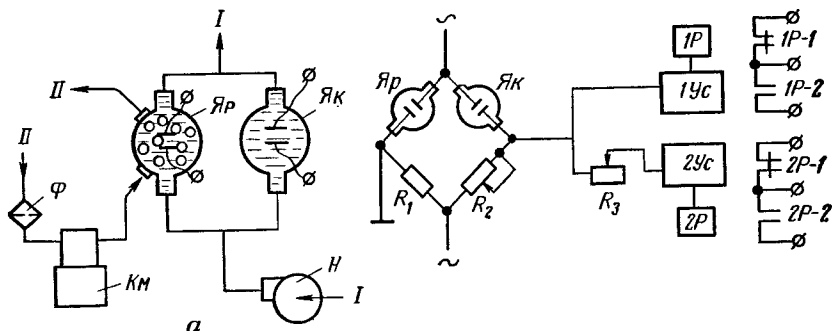


Рис. 96. Упрощенная схема сигнализатора паров аммиака СПА-2:

а — датчик; *б* — датчик с электронным блоком; *1—1* — линия циркуляции сорбента (слабый раствор соляной кислоты); *II—II* — циркуляция анализируемого воздуха с парами аммиака.

СПА-2 состоит из датчика и электронного блока. Датчик (рис. 96, *а*) имеет две ячейки — рабочую *Яр* и контрольную *Як*. Насос *Н* подает в эти ячейки слабый раствор соляной кислоты. Электромагнитный мембранный компрессор *Км* засасывает через фильтр *Ф* воздух с парами аммиака из контролируемого помещения и прогоняет его через рабочую ячейку *Яр*. При поглощении паров аммиака слабым раствором кислоты электрическое сопротивление раствора изменяется. Раствор далее очищается ионообменной смолой от ионов аммиака и снова подается насосом в ячейки. Производительность компрессора связана следящей схемой с количеством раствора, проходящего через рабочую ячейку (на рис. 96 эта связь не показана).

Ячейки *Яр* и *Як* с сопротивлениями R_1 и R_2 составляют измерительный мост. Сигнал разбаланса моста (рис. 96, *б*) подается на усилители *1Ус* и *2Ус*, имеющие выходные реле (типа МКУ-48) *1Р* и *2Р*. Усилитель *2Ус* имеет всего один каскад усиления, поэтому на слабый сигнал он не реагирует. При повышении концентрации аммиака до «санитарной нормы» срабатывает лишь выходное реле *1Р*, которое контактом *1Р-1* дает сигнал, а контактом *1Р-2* включает вентилятор. И только при дальнейшем повышении концентрации аммиака через усилитель *2Ус* включается реле *2Р*, дающее аварийный сигнал и остановку машин.

Переменные сопротивления R_2 и R_3 позволяют соответственно менять концентрацию срабатывания реле *1Р* и *2Р*.

При монтаже прибора датчик укрепляют на стене в вертикальном положении там, где нет сильных воздушных потоков, которые могут унести пары аммиака. Электронный блок монтируют на щите КИП не далее чем на 100 м от датчика. Температура контролируемой среды от 10 до 40°C, напряжение 220 В. Основная погрешность не более $\pm 15\%$ концентрации соответствующего предела срабатывания. Время реагирования сигнализатора на изменение концентрации аммиака не более 3 мин.

Фотореле защиты от опасной концентрации аммиака предназначено для остановки компрессора, включения вентилятора и подачи аварийной сигнализации, когда концентрация аммиака в машинном отделении достигает 0,04% (по объему), т. е. 0,3 мг/л.

Чувствительным элементом фотореле (рис. 97) служит индикатор *И* желтого цвета из льняной ткани, пропитанной 0,5%-ным спиртовым раствором фенолрота (см. с. 91). При отсутствии аммиака луч лампочки подсвета *Л* отражается от индикатора на фотоэлемент *ФЭ*, напряжение фотоэлемента запирает усилитель *Ус* и выходное реле *Р* обесточено.

При появлении аммиака индикатор окрашивается в красный цвет. Отраженный на фотоэлемент луч становится более слабым, и усилитель включает выходное реле *Р*, контакты которого останавливают компрессор, включают вентилятор и аварийную сигнализацию.

Чувствительность прибора регулируется на срабатывание при концентрации аммиака от 0,004 до 0,4%. Для проверки работы прибора перед индикатором помещают эталон красного цвета: реле должно четко сработать.

Автоматический газоанализатор фреона УРАС-2. Нарушение герметичности фреоновых холодильных машин приводит к потере их работоспособности и утечке дорогостоящего агента. Особенно важно обеспечить герметичность в судовых установках, которые работают при постоянной вибрации и ударных нагрузках.

Газоанализатор УРАС-2 рассчитан на поочередный отбор проб воздуха в десяти точках, расположенных вблизи воздухоохладителей (в трюмах) и в машинном отделении.

Принципиальная схема газоанализатора приведена на рис. 98.

Напряжение от сети через стабилизатор *1* подается к двум последовательно включенным спиральям *З* — источникам инфракрасного излучения. Луч *А* проходит через рабочую измерительную камеру *Кр*, а луч *Б* — через контрольную камеру *Кк*. Проба воздуха засасывается из места отбора и мембранным насосом пропускается через рабочую камеру. Частота собственных колебаний молекул фреона

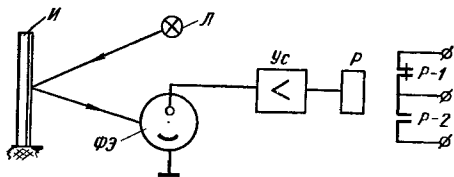


Рис. 97. Схема фотореле защиты от опасной концентрации аммиака.

совпадает с диапазоном частот инфракрасных лучей. Часть энергии лучей уходит на возбуждение колебательного движения молекул фреона, т. е. часть спектра в камере *Кр* пропадает. Контрольная камера заполнена азотом, энергия лучей в ней не теряется.

Оба луча попадают в приемное устройство 7, разделенное мембраной 8 на две камеры *A* и *Б*. Камеры заполнены фреоном, поглощающим энергию инфракрасных лучей в определенной полосе спектра.

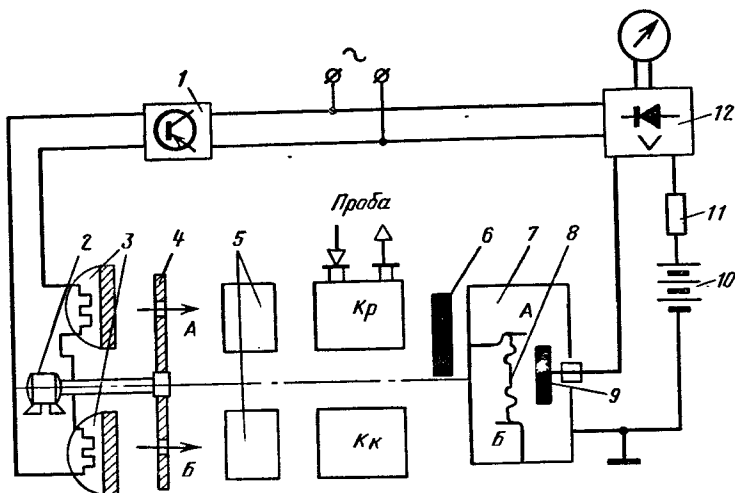


Рис. 98. Принципиальная схема фреонового газоанализатора.

Камера *A*, в которую лучи попадают из рабочей камеры, поглощает меньше энергии, чем камера *Б*. Возникающая разность температур создает разность давлений $p_B - p_A$. Мембрана 8 прогибается вправо, изменяя емкость конденсатора, состоящего из мембраны 8 и противоэлектрода 9. Обтюратор 4, вращаясь от электродвигателя 2, создает периодическое и синфазное излучение. Поэтому колебание емкости также периодическое. Батарея 10 и сопротивление 11 преобразуют переменное изменение емкости в переменное напряжение, которое через усилитель и выпрямитель 12 передается на измерительный прибор или во внешнюю цепь. Диафрагма 6 предназначена для грубой настройки нулевой точки.

При наличии в воздухе примесей газов, которые поглощают часть спектра примерно в том же диапазоне, как и фреон (например, CO_2), результаты измерений будут искажены. Для устранения этой погрешности в схеме имеется фильтр 5. Обе камеры его наполнены основным мешающим газом (например, CO_2). При этом разность поглощения энергии в рабочей и контрольной камерах будет снова зависеть только от концентрации фреона в воздухе.

Реле времени и программные реле

Исполнительные механизмы в схемах автоматизации часто приходится включать не одновременно, а в определенной последовательности. В этих случаях каждый механизм может включаться отдельным своим реле времени через определенные интервалы или же одним общим программным (многоцепным) реле.

При подаче на вход реле электрического сигнала (ток, напряжение) замыкание или размыкание электрических контактов на выходе происходит с некоторой выдержкой времени, которую обычно можно регулировать.

По принципу действия реле времени бывают пневматические, тепловые, электрохимические, электронные и др.

Пневматическое реле времени РВП. Схема его дана на рис. 99, а. При подаче напряжения на катушку 2 сердечник 3 мгновенно втягивается, сжимая пружину 11. При этом выступ 1, нажимая на поворотный рычаг, размыкает контакт РВ-1 и замыкает РВ-2, т. е. контакты РВ-1 и РВ-2 срабатывают мгновенно, как у обычного промежуточного реле. Переключение контактов РВ-3 и РВ-4 происходит

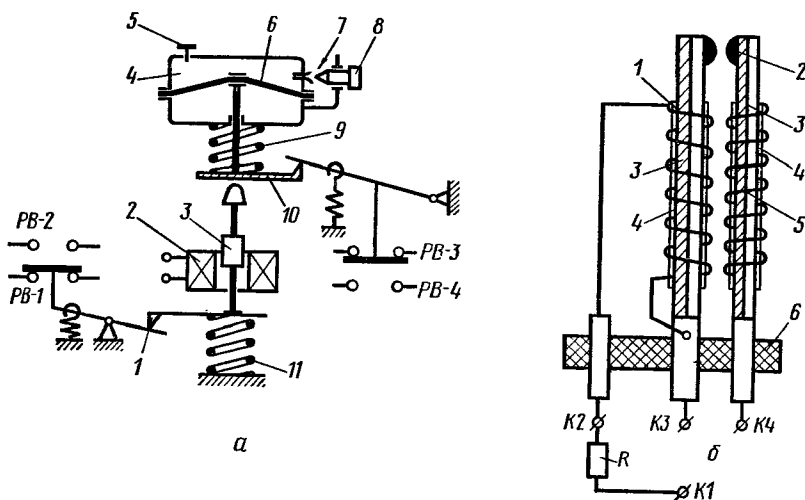


Рис. 99. Реле времени:
а — пневматическое; б — тепловое.

не сразу. При перемещении пластины 10 вниз под действием пружины 9 мембрана 6 прогибается, создавая в коробке 4 разрежение, препятствующее перемещению мембраны. Постепенно через малое регулируемое отверстие 7 в камеру 4 входит воздух, и пластина 10, опускаясь, освобождает рычаг переключения контактов РВ-3 и РВ-4. При снятии напряжения обмотки под действием пружины 11 сердечник отжимает мембрану 6 вверх и воздух из полости 4 быстро выходит через нагнетательный клапан 5. Выдержка времени регулируется винтом 8

(который изменяет площадь дроссельного отверстия 7) в широких пределах (от 0,4 до 180 с). Реле типа РВП выпускаются на напряжение 12, 24, 36, 127, 220 и 380 В.

Тепловое реле времени типа ТРВ-1ВМ. При подаче напряжения на клеммы К1 и К3 (рис. 99, б) ток проходит по спирали 1, которая через слой изоляции 4 намотана на биметаллическую пластину 3. При нагревании биметаллическая пластина 3 (левая) прогибается, замыкая контакт 2 в выходной цепи (клеммы К3 и К4). Для компенсации температурных погрешностей правая пластина 3 также выполнена из биметалла. Поэтому при повышении температуры окружающей среды прогибаются обе пластины и расстояние между контактами 2 не изменяется. Чтобы обе пластины имели одинаковую жесткость, на правую пластину 3 намотана ложная спираль 5 (ток через нее не проходит).

Время нагревания пластины (выдержка времени) зависит от силы тока в спирали 1 и определяется сопротивлением R. Например при $R = 1$ кОм выдержка времени 30 с, при 2 кОм — 15 с. Допустимый ток через контакты 2 не более 0,5 А; питающее напряжение 220 В.

Многоцепное моторное реле времени ВС-10. В электромеханических реле времени входное напряжение включает микродвигатель, который, вращая диски с кулачками, поочередно замыкает выходные контакты. Каждый контакт имеет уставку выдержки времени. В зависимости от исполнения реле времени ВС-10 может иметь 3 или 6 выходных контактов с выдержкой времени от 2 с до 24 ч. Входное напряжение 12, 127 и 220 В.

Ступенчатый импульсный прерыватель СИП-01. Этот прибор представляет собой разновидность программных реле. В реле времени каждому изменению на входе соответствует одноразовое изменение на выходе. В программных реле при подаче напряжения на вход выходные контакты непрерывно замыкаются и размыкаются через определенные интервалы времени, установленные программой.

На рис. 100 показана кинематическая схема СИП-01. Прибор включает: микродвигатель Д с редуктором (5, 6); кулачок, собранный из дисков 2 и 3, ось 9, на которой укреплены ртутные выключатели (меркоиды) РВ-1 и РВ-2 и коромысло 1; ось с мальтийским крестом 7 и диском 11. Пружина 10 стремится повернуть ось с меркоидами и при этом разомкнуть РВ-1 и замкнуть РВ-2. Но поворот оси возможен только в том случае, если левый палец коромысла 1 войдет в паз кулачка 2, 3, а правый в один из пазов диска 11. В положении, показанном на рис. 100, повороту коромысла 1 препятствует только выступ диска 11. Палец 8 шестерни 6 заходит в пазы мальтийского креста 7 и через равные интервалы времени поворачивает крест 7 и диск 11 на определенный угол. Когда один из пазов диска 11 встанет против пальца коромысла, разрешая его поворот, то при попадании левого пальца в прорезь кулачка коромысло 1 повернется, разомкнув РВ-1 и замкнув РВ-2.

Длительность замыкания контакта РВ-2 (и соответственно размыкания РВ-1) определяется величиной впадины кулачка. Поворачивая

сектор 3 относительно сектора 2 и затем фиксируя их совместное положение винтом 4, можно получить длительность импульсов 1, 2, 3, 4, 5, 6 или 7 с. Продолжительность периода подачи импульса (длительность всего цикла) может быть 15, 30, 60 и 120 с; для изменения ее надо отвернуть винт 12, повернуть диск 11 на нужное деление и снова закрепить его винтом 12.

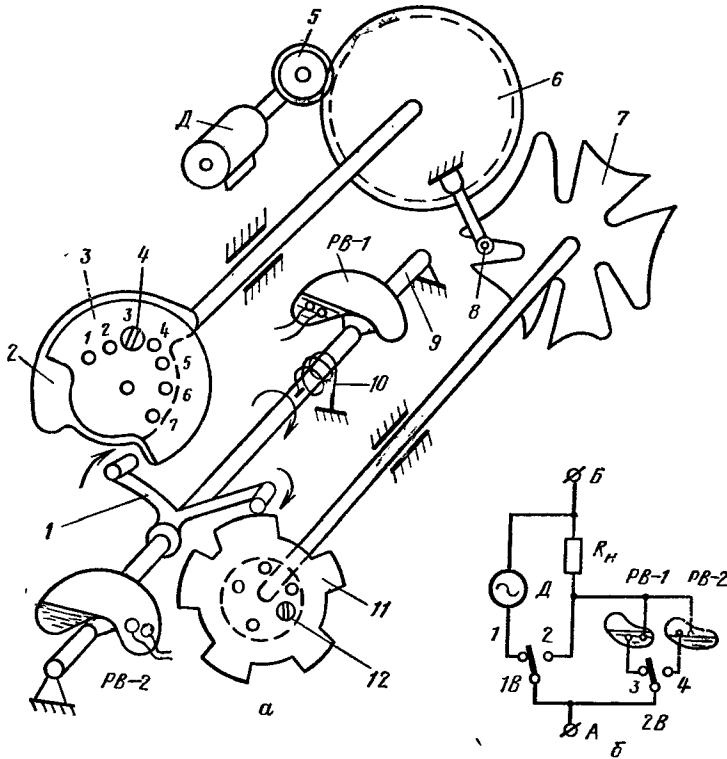


Рис. 100. Схема ступенчатого импульсного прерывателя
а — кинематическая; б — электрическая.

Выходные контакты *PB-1* или *PB-2* (рис. 100, б) управляют нагрузкой R_n (исполнительным механизмом). Переключатель *2B* позволяет выбрать любой из меркоидов: с короткими импульсами (*PB-2*) или с длинными (*PB-1*). При переключении выключателя *1B* с клеммы 1 на клемму 2 двигатель прибора *D* отключается и нагрузка R_n получает непрерывное питание.

Питание синхронного двигателя ~ 127 или 220 В (в зависимости от модификации). Ртутные выключатели рассчитаны на 15 А при 220 В или на 25 А при 127 В.

Глава IV. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА И СИГНАЛИЗАЦИЯ

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Регулирование температуры в одном охлаждаемом объекте

Во многих случаях холодильная машина поддерживает заданную температуру только в одном объекте: в шкафу, прилавке, камере или в испарителе, охлаждающем хладоноситель. Температура объекта держится постоянной, когда холодопроизводительность машины $Q_{\text{хм}}$ равна теплопритокам в объект $Q_{\text{н}}$ (нагрузка). Если $Q_{\text{хм}}$ оказывается выше заданной, то температура в объекте $t_{\text{об}}$ снижается. При слишком низком значении $t_{\text{об}}$ может нарушиться технологический режим хранения продуктов (заморозание и ухудшение их качества) и увеличиваются затраты на электроэнергию (больше теплопритоки и ниже $Q_{\text{хм}}$). В камерах длительного хранения продуктов отклонения температуры от оптимальной нормы не должны превышать $\pm 1^\circ \text{C}$, для кратковременного хранения допускают отклонение $\pm 2^\circ \text{C}$.

Чтобы регулировать $t_{\text{об}}$, т. е. поддерживать ее в заданных пределах, надо иметь возможность с уменьшением нагрузки автоматически уменьшать холодопроизводительность машины.

Иногда для более точного поддержания температуры снижение тепловой нагрузки компенсируют не уменьшением холодопроизводительности машины, а искусственным подводом тепла в объект (нагрев электроспиралью, подмешивание к подаваемому хладоносителю отепленного хладоносителя и др.). Этот способ, очевидно, связан с дополнительным расходом энергии и подробнее рассматриваться не будет.

Причины снижения температуры объекта за допустимый предел. Требуемая температура в объекте $t_{\text{об}}$ держится постоянной только при условии $Q_{\text{хм}} = Q_{\text{н}}$. В практике возможны три случая, когда нагрузка $Q_{\text{н}}$ оказывается меньше холодопроизводительности машины $Q_{\text{хм}}$ (рис. 101), что вызывает снижение $t_{\text{об}}$ за допустимый предел.

1-й случай. Пусть холодопроизводительность машины $Q_{\text{хм}}$ выбрана так, что при заданной температуре $t_{\text{об}}$, она равна максимальной нагрузке (точка А на рис. 101, а). При снижении нагрузки до $Q_{\text{н, мин}}$ значение $t_{\text{об}}$ начнет падать, но вследствие самовыравнивания объекта (см. рис. 13) значения $Q_{\text{хм}}$ и $Q_{\text{н}}$ в точке Б опять сравниваются. Установившееся значение $t_{\text{Б}}$ может оказаться ниже допустимого. Если нагрузка меняется не очень значительно и производительность машины выбрана примерно равной $Q_{\text{н, макс}}$, как в некоторых моделях домашних абсорбционных холодильников, то снижение $t_{\text{об}}$ (точка Б) не выходит за допустимые пределы и регулирования температуры не требуется. Однако в торговых холодильниках и на крупных установках тепловая нагрузка в зимнее время примерно в три раза меньше, чем в летнее, что вызывает снижение $t_{\text{об}}$ на $5-10^\circ \text{C}$ ниже допустимой. Здесь регулирование температуры необходимо, причем регулирование

автоматическое ввиду сравнительно частого изменения нагрузки. Чтобы обеспечить $t_{об}$ при снижении нагрузки до $Q_{н\text{мин}}$, надо предусмотреть возможность автоматического снижения $Q_{хм}$ до $Q'_{хм}$ (т. е. от Q_A до Q_B).

2-й с л у ч а й. Холодопроизводительность машины при $t_{об}$ значительно превышает тепловую нагрузку (рис. 101, б). Это бывает связано с тем, что градация холодопроизводительности выпускаемых машин не позволяет точно подобрать нужное значение $Q_{хм}$. Кроме

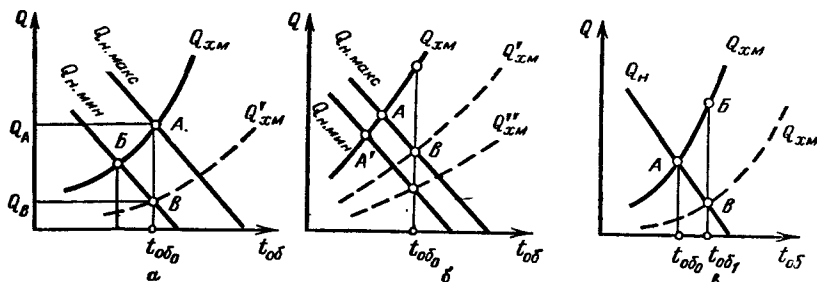


Рис. 101. Три случая необходимости регулирования температуры:

а — большой диапазон изменения нагрузки (от $Q_{н\text{макс}}$ до $Q_{н\text{мин}}$); б — машина выбрана с большим запасом; в — периодически требуется поддерживать разные значения $t_{об}$.

того, при проектировании часто специально подбирают машины с запасом холодопроизводительности 30—40%, чтобы гарантировать $t_{об}$ при снижении $Q_{хм}$ вследствие износа. В частности, в домашних компрессионных машинах $Q_{хм}$ примерно в три раза больше $Q_{н\text{макс}}$. Поэтому при непрерывной работе $t_{об}$ вместо 0°C снижается до минус 10—12°С (точка А), а при $Q_{н\text{мин}}$ еще на 2—3°С (точка А'). Автоматическое регулирование температуры снижением $Q_{хм}$ до $Q'_{хм}$ или $Q''_{хм}$ здесь необходимо.

3-й с л у ч а й. Иногда требуется установка, в которой кроме основного режима $t_{об}$, периодически необходимо поддерживать более высокую температуру в объекте $t_{об1}$ (рис. 101, в). В этом случае, как и в первых двух, холодопроизводительность машины Q_B оказывается больше нагрузки Q_B . Чтобы поддерживать $t_{об1}$, необходимо снизить $Q_{хм}$ до $Q'_{хм}$, т. е. опять необходимо регулирование.

Способы изменения* холодопроизводительности машины. Поскольку машина рассчитана на максимальные теплопритоки, изменение $Q_{хм}$ сводится к снижению $Q_{хм\text{макс}}$. В компрессионных машинах снижения холодопроизводительности машины в целом можно достичь как снижением холодопроизводительности испарителя, так и компрессора. Покажем, что экономически эти два метода не равноценны.

* Здесь и далее термин «изменение» заменяет часто применяемый термин «регулирование холодопроизводительности», чтобы подчеркнуть, что речь идет о регулировании температуры, а изменение холодопроизводительности машины лишь средство для этого.

Тепло, отводимое испарителем.

$$Q_{\text{и}} = kF(t_{\text{об}} - t_0).$$

Если уменьшить коэффициент теплопередачи испарителя k или его теплопередающую поверхность F (например, уменьшением количества заполняющего его холодильного агента), то снижение холодопроизводительности испарителя (рис. 102) от $Q_{\text{и}}$ до $Q'_{\text{и}}$ приведет к требуемому снижению холодопроизводительности машины (от значения $Q_{\text{хм}}$ до $Q'_{\text{хм}}$). Однако в этом случае температура кипения в испарителе t_0 снизится от начального значения t_{0_0} до t_{0_1} . Работа компрессора при низкой температуре кипения менее экономична. Поэтому целесообразнее полностью использовать возможность испарителя (автоматически обеспечивая его оптимальное заполнение) и снижать холодопроизводительность машины путем уменьшения холодопроизводительности компрессора. На рис. 102 видно, что температура кипения при этом возрастает с t_{0_0} до t_{0_2} .

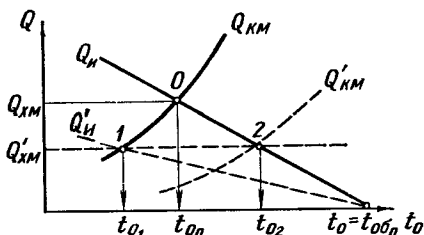


Рис. 102. График снижения холодопроизводительности машины $Q_{\text{хм}}$ за счет уменьшения холодопроизводительности испарителя до $Q'_{\text{и}}$ или компрессора (до $Q'_{\text{хм}}$).

Наиболее широкое применение получил двухпозиционный способ изменения холодопроизводительности машины — пуском и остановкой компрессора.

Регулирование температуры пуском и остановкой компрессора. Рассмотрим схему регулирования температуры в шкафу при непосредственном охлаждении (рис. 103, а). Компрессор включается и останавливается от реле температуры PT , чувствительный элемент T которого воспринимает изменение температуры объекта $t_{\text{об}}$. Компрессор выбран с запасом, т. е. производительность его (при непрерывной работе) больше, чем количество пара, образуемого в испарителе при максимальной тепловой нагрузке. Поэтому в период работы компрессора давление в испарителе p_0 и соответственно температура кипения t_0 падают (рис. 103, б). С понижением t_0 увеличивается разность $t_{\text{об}} - t_0$ и, следовательно, количество тепла, отводимое машиной через испаритель $Q_{\text{и}} = kF(t_{\text{об}} - t_0)$. Поверхность испарителя F и коэффициент теплопередачи k практически не меняются, так как терморегулирующий вентиль TRV поддерживает постоянное заполнение испарителя.

При снижении температуры в шкафу с 5 до 0°C (для данного примера) PT останавливает компрессор. Давление в испарителе p_0 и t_0 повышаются, испаритель начинает меньше отводить тепла, и $t_{\text{об}}$ за счет внешних теплопритоков возрастает. При $t_{\text{об}} = +5^\circ\text{C}$ реле PT снова включает компрессор.

При уменьшении нагрузки t_0 и $t_{\text{об}}$ начинают падать более резко (показано пунктиром) и достигнут значений выключения быстрее (точки B' и A'), продолжительность работы компрессора уменьшится, а

нерабочий период увеличится. Другими словами, с уменьшением нагрузки автоматически снижается коэффициент рабочего времени b компрессора и средняя его холодопроизводительность $Q_{\text{км}} = b Q_{\text{км, макс}}$, что увеличивает среднюю за цикл температуру кипения и уменьшает количество тепла, отводимого испарителем.

Температура объекта функционально связана с температурой кипения, которая в свою очередь однозначно определяется давлением p_0 . Поэтому наряду с регулированием $t_{\text{об}}$ непосредственно по рассогласованию применяют косвенные методы регулирования $t_{\text{об}}$.

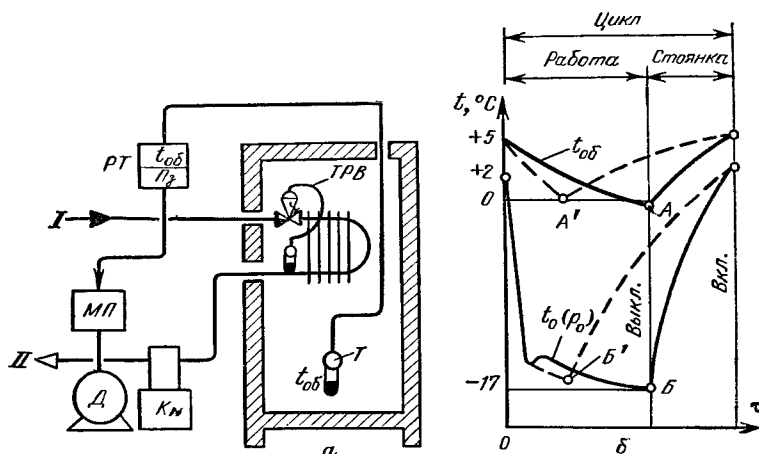


Рис. 103. Регулирование температуры в объекте пуском и остановкой компрессора: а — принципиальная схема регулирования (I — жидкость из конденсатора, II — пар в конденсаторе); б — график изменения $t_{\text{об}}$ и t_0 при циклической работе.

Косвенное регулирование $t_{\text{об}}$ по температуре кипения осуществляют при помощи реле температуры, чувствительный элемент которого (термобаллон T) крепится непосредственно на испарителе ($PT_{\text{н}}$). Поскольку большим колебаниям t_0 соответствуют небольшие колебания $t_{\text{об}}$, этот метод регулирования позволяет использовать реле температуры с большим дифференциалом и меньшей точности. В примере на рис. 103 изменению $t_{\text{об}}$ от 0 до 5°C соответствует изменение t_0 от -17 до $+2^\circ\text{C}$. Если дифференциал $PT_{\text{н}}$ мал и происходит слишком частое включение, то между термобаллоном и испарителем следует проложить слой изоляции или открепить термобаллон и поместить его в воздухе непосредственно под испарителем.

Кроме того, при плюсовых температурах в объекте регулирование по температуре испарителя позволяет обеспечить автоматическое оттаивание испарителя за период стоянки компрессора ($t_{\text{овкл}} = 1 \div 2^\circ\text{C}$).

Недостаток косвенного регулирования — менее точное поддержание $t_{\text{об}}$. Чтобы обеспечить заданное значение $t_{\text{об}}$ при уменьшенной

нагрузке, надо поддерживать более высокое среднее значение t_0 и значения t_0 в моменты выключения ($t_{Б'} > t_{Б}$). Если же реле поддерживает постоянные значения t_0 ($t_{0\text{выкл}} = -17^\circ \text{C}$), то t_{06} окажется несколько ниже допустимого предела. При нарастании инея на испарителе, наоборот, требуется поддерживать более низкое значение t_0 . Косвенное регулирование по t_0 приводит к более высоким температурам t_{06} .

Косвенное регулирование t_{06} по давлению в испарителе имеет такие же недостатки, как и регулирование по температуре кипения, т. е. менее точное поддержание основного параметра (t_{06}). Однако в малых машинах его широко применяют, так как реле давления несколько проще, чем реле температуры, и, кроме того, оно дополнительно осуществляет защиту компрессора от работы с пониженным давлением.

Соответствие между t_{06} и t_0 (p_0) в моменты включения и остановки компрессора определяется поверхностью испарителей. Для большинства выпускаемого оборудования с малыми фреоновыми машинами можно рекомендовать режимы настройки PT_n или PD , приведенные в табл. 13.

Таблица 13

Охлаждаемые объекты	Температура объекта t_{06} , °C		Температура испарителя t_0 , °C		Давление кипения p_0 , кгс/см ² (изб.)		
	выключение	включение	выключение	включение	выключение	включение	рабочее
Шкафы	0	3	-18	-2	0,6	2,0	1,0
Прилавки	2	4	-16	0	0,7	2,2	1,1
Витрины	4	6	-14	2	0,9	2,4	1,3
Камеры хранения							
фруктов	4	6	-14	2	0,9	2,4	1,3
гастрономических продуктов	2	4	-16	0	0,7	2,2	1,1
мяса	-1	1	-20	-4	0,5	1,8	0,9
рыбы	-3	-1	-22	-6	0,4	1,6	0,7
Низкотемпературные прилавки и камеры	-16	-12	-28	-17	0,1	0,7	0,3
Водоохладители	9	14	2	12	2,4	3,6	2,7

Схема двухпозиционного регулирования температуры рассола принципиально не отличается от схемы регулирования температуры воздуха (t_{06}) в камере. В этом случае необходимо регулировать температуру рассола на выходе из испарителя $t_{p\text{вых}}$, так как именно с этой температурой рассол подается в камеры.

Чувствительный элемент реле температуры, как правило, следует ставить на выходе из испарителя. При этом дифференциал реле температуры ΔX_0 должен быть на $0,5-2^\circ \text{C}$ больше перепада температур рассола в испарителе (Δt_n). Если взять $\Delta X_0 < \Delta t_n$, то компрессор

начнет включаться и выключаться через интервалы времени, равные продолжительности прохода рассола через испаритель (10—15 с), возникают так называемые «ложные включения». Действительно, после остановки компрессора охлаждение рассола в испарителе прекращается и, когда отепленный рассол пройдет через испаритель, температура его на выходе из испарителя $t_{\text{рвых}}$ повысится до $t_{\text{рвх}}$, т. е. увеличится на $\Delta t_{\text{н}}$ и компрессор включится, хотя фактического повышения средней температуры рассола еще не произошло.

Если максимальный дифференциал реле температуры ΔX_0 меньше $\Delta t_{\text{н}}$, то во избежание «ложных включений» чувствительный патрон следует устанавливать на входе в испаритель; при этом дифференциал следует брать минимально возможным с учетом допустимой частоты включений.

Длительность периодов работы компрессора $\tau_{\text{р}}$ и паузы $\tau_{\text{п}}$ можно определить, если известны следующие параметры (значения их, указанные в скобках, взяты для примера):

- $\Delta t_{\text{б}}$ — нагрев рассола в батареях (2°C);
- $\tau_{\text{б}}$ — продолжительность прохода рассола через батареи, включая испаритель (5 мин);
- $\Delta t_{\text{н}}$ — охлаждение в испарителе (3°C);
- $\Delta X_{0\text{вых}}$ — дифференциал регулятора на выходе (4°C).

Тогда период работы компрессора

$$\tau_{\text{р}} = \tau_{\text{б}} \frac{\Delta X_{0\text{вых}}}{\Delta t_{\text{н}} - \Delta t_{\text{б}}} = 20 \text{ мин};$$

нерабочая часть цикла

$$\tau_{\text{п}} = \tau_{\text{б}} \frac{\Delta X_{0\text{вых}}}{\Delta t_{\text{б}}} = 10 \text{ мин.}$$

Несмотря на свою простоту и экономичность (при остановке компрессора не тратится энергия), двухпозиционное регулирование имеет и недостатки. Для точного поддержания температуры требуются слишком частые включения и остановки, а двигатель в пусковых режимах потребляет большую мощность и быстрее выходит из строя. Кроме того, пуск и остановка крупных компрессоров связаны с рядом затруднений. Для облегчения пуска компрессоров средней и большой производительности применяют разгрузку.

Разгрузка компрессоров при пуске. Пусковой период компрессора можно разбить на два интервала: 1) период разгона, т. е. время, в течение которого частота вращения изменяется от нуля до номинальной, и 2) период постепенного снижения давления всасывания от начального до установившегося. Если первый период занимает всего 5—15 с, то второй может продолжаться от 2—3 мин до нескольких часов (в установках с большой инерционностью, при пуске отепленных установок, особенно низкотемпературных).

Потребляемая мощность в пусковой период резко возрастает, так как требуется дополнительная энергия на преодоление сил инерции в

период разгона, и увеличивается работа сжатия из-за высокого давления всасывания.

В холодильных машинах малой и средней холодопроизводительности целесообразно применять двигатели, номинальная мощность которых в 1,5—2 раза выше, чем потребляемая при установленном режиме, а также асинхронные двигатели типа АП (с повышенным пусковым моментом). Это позволяет осуществлять их пуск без специальной разгрузки. На более крупных установках это уже становится нецелесообразным. Кроме того, включение двигателя большой мощности

без разгрузки приводит к возрастанию силы тока в сети и частому срабатыванию защиты на подстанциях.

Разгрузку в период разгона (снижение потребляемой мощности) можно осуществить: 1) увеличением времени разгона; 2) снижением холодопроизводительности компрессора (до нуля) на время разгона; 3) предварительным выравниванием давления нагнетания и всасывания.

Замедленный пуск применяется на электродвигателях, которые позволяют плавно изменять число оборотов. Если скорость двигателя не регулируется, то между двигателем и компрессором можно установить гидравлическую или другую муфту, позволяющую увеличить период разгона компрессора.

Снижение производительности компрессора в период разгона можно осуществить отжимом всасывающего клапана или байпасом.

Схема разгрузки байпасом показана на рис. 104. При повышении давления всасывания РД включает компрессор, соленоидный вентиль СВ на линии байпаса и реле времени РВ. Примерно через 5—7 с, когда компрессор наберет номинальное число оборотов, РВ отключает соленоидный вентиль. В схеме необходим обратный клапан ОК, так как при отсутствии его даже при открытом байпасе (СВ) давление нагнетания за компрессором было бы высоким.

Выравнивание давлений нагнетания и всасывания за период стоянки компрессора применяют в холодильных машинах, в которых заполнение испарителя осуществляется через капиллярную трубку или имеющее устройство для перепуска пара со стороны высокого давления на сторону низкого (например, в ПР-1). За период разгона давление в конденсаторе не успевает возрасти настолько, чтобы затруднить пуск.

Разгрузку компрессора в течение всего пускового периода (при пуске отепленной установки) можно осуществить частичным снижением холодопроизводительности

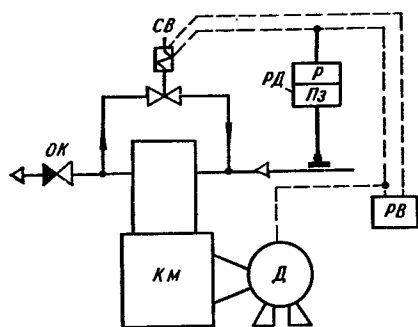


Рис. 104. Схема разгрузки компрессора байпасом.

компрессора. Это увеличивает пусковой период, но позволяет обойтись двигателем, мощность которого близка к номинальной (рассчитанной на установившийся режим).

Такую длительную разгрузку можно осуществить, установив перед компрессором пропорциональный регулятор давления «после себя». При повышении давления всасывания (перед компрессором) он уменьшает поступление паров из испарителя в компрессор. Для этого можно использовать регулятор давления непрямого действия АДД-40 (см. рис. 60).

В двухступенчатых машинах разгрузку осуществляют последовательным включением компрессоров. Обычно сначала включают компрессор верхней ступени и только через 10—15 с от реле времени или от реле давления, когда снизится давление в промсосуде, подключается компрессор нижней ступени.

Способы изменения холодопроизводительности компрессора

Холодопроизводительность поршневых компрессоров

$$Q_{\text{км}} = \frac{\lambda}{v_{\text{вс}}} N \frac{\pi D^2}{4} S z n.$$

Диаметр цилиндров D и ход поршня S в этой формуле постоянны. Число компрессоров N и число цилиндров z можно изменять только дискретно (позиционное регулирование). Остальные величины (коэффициент подачи λ , удельный объем всасываемого пара $v_{\text{вс}}$ и частота вращения n) можно изменять как дискретно, так и плавно.

Выбранный способ изменения холодопроизводительности должен обеспечить: достаточно точное регулирование температуры в охлаждаемом объекте; экономичность (при снижении $Q_{\text{км}}$ на определенное число процентов желательно, чтобы на столько же процентов снизился расход электроэнергии); надежность в работе.

Методы изменения $Q_{\text{км}}$ непрерывно совершенствуются. Наряду с простым и экономичным методом изменения $Q_{\text{км}}$ пуском и остановкой компрессора, до последнего времени применяют еще недостаточно экономичные методы, такие как байпасирование (перепуск сжатого пара со стороны нагнетания на всасывание), дросселирование на всасывании (увеличение $v_{\text{вс}}$ и снижение коэффициента подачи λ), автоматическое увеличение мертвого объема (снижение λ). Из современных методов автоматического изменения $Q_{\text{км}}$, кроме двухпозиционного (пуск и остановкой компрессора) и многопозиционного (включение компрессоров по схеме пропорционального или астатического регулирования), рассмотренных нами ранее (глава I), весьма перспективны методы плавного изменения частоты вращения и отжим всасывающих клапанов.

Плавное изменение частоты вращения компрессора. Этот способ точнее регулирует температуру в объекте, чем двухпозиционное изменение частоты вращения пуском и остановкой компрессора. Снижение частоты вращения почти пропорционально уменьшает работу сжатия компрессора. Экономичность этого способа зависит от того, насколько

снизится к.п.д. электродвигателя при снижении частоты его вращения.

Существуют различные способы изменения скорости электродвигателей. В двигателях постоянного тока для увеличения или уменьшения скорости изменяют напряжение на зажимах якоря. В асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором изменяют питающее напряжение с помощью регулирующих дросселей или частоту тока, но диапазон возможного изменения частоты вращения в этих двигателях сравнительно невелик, а работа их при сниженной частоте вращения малоэкономична.

Наиболее удобны для плавного изменения скорости электродвигатели переменного тока с фазным ротором. Однако применявшиеся

ранее способы изменения их скорости введением сопротивления или встречной э. д. с. в обмотку ротора малоэкономичны. В последнее время разработаны новые схемы: с инвертированием энергии в сеть и с изменением среднего значения силы тока в обмотках ротора. Рассмотрим подробнее эти две схемы.

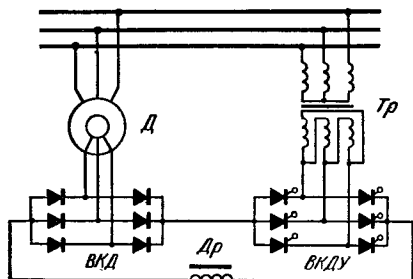


Рис. 105. Схема асинхронного вентиляльного каскада для плавного изменения числа оборотов электродвигателя компрессора:

Д — асинхронный двигатель с фазным ротором (АК-102-6М), *ВКД* — неуправляемый кремниевый выпрямитель, *ВКДУ* — управляемый кремниевый выпрямитель, *Др* — дроссель, *Тр* — трансформатор.

На рис. 105, *а* приведена схема плавного изменения частоты вращения электродвигателя с фазным ротором (типа АК-102-6М) при помощи асинхронного вентиляльного каскада с инвертированием энергии в сеть. Противо-э.д.с. от сети через трансформатор *Тр*, управляемый выпрямитель (тиристор) *ВКДУ* и далее через неуправляемый кремниевый выпрямитель *ВКД* подается в обмотку ротора электродвигателя. Встречная э. д. с. уменьшает э. д. с., наводимую статором в обмотках ротора. Вследствие этого увеличивается скольжение и снижается частота вращения. Энергия торможения через каскад вентилялей и трансформатор возвращается снова в сеть. Благодаря этому схема с инвертированием энергии значительно экономичнее схем с введением в обмотку ротора сопротивления или встречной э. д. с. от отдельного источника (без возвращения энергии в сеть).

Управление кремниевым выпрямителем *ВКДУ* осуществляют автоматически потенциометром, который, воспринимая отклонение температуры, подает сигнал на базу (сетку) тиристоров и изменяет угол их отпирания, т. е. изменяет среднее значение силы тока в обмотках ротора. Приведенная схема позволяет плавно уменьшать частоту вращения (для компрессоров АУ-200, ДАУ-100 с 960 до 500 об/мин). Дальнейшее снижение производительности достигается остановкой компрессора (переходом на двухпозиционное регулирование).

Отжим всасывающих клапанов. При полном отжиме всасывающего клапана по существу происходит отключение цилиндра, так как поршень не сжимает пар, а выталкивает его обратно на сторону всасывания. Дополнительная энергия расходуется только на трение и на дроссельные потери в клапанах.

Устройство для отжима клапана должно быть предусмотрено в конструкции компрессора. Применяют отжим всасывающих клапанов давлением масла и электромагнитом. Последний способ значительно выгоднее, так как благодаря малой инерционности устройства позволяет с высокой частотой включать и отжимать клапан. Это позволяет осуществить, кроме многопозиционного, плавно-дискретное и плавное регулирование.

Многопозиционное регулирование температуры путем отключения отдельных цилиндров отжимом всасывающих клапанов. Последовательность включения цилиндров может быть такой же, как и для компрессоров (статические и астатические схемы регулирования см. в гл. I). Этот способ позволяет увеличить число ступеней и соответственно точность регулирования. Так, например, если минимальный дифференциал при регулировании температуры рассола на выходе из испарителя пуском и остановкой четырехцилиндрового компрессора (см. с. 198) равен 4°C , то увеличение числа ступеней регулирования путем отключения отдельных цилиндров позволяет снизить дифференциал до 1°C (при астатической схеме регулирования).

Плавно - дискретное регулирование. Сущность этого метода заключается в том, что генератор импульсов *ГИ* (рис. 106) подает сигналы на отжим электромагнитного клапана *ЭК* с определенным периодом. Длительность периода отжима клапана зависит от изменения измеряемой температуры *T*. При снижении температуры продолжительность отжима возрастает, а пауза увеличивается, т. е. плавно снижается к. р. в. (коэффициент рабочего времени). Когда производительность одного цилиндра снизится от 100 до 5%, регулятор начинает снижать к. р. в. следующего цилиндра и т. д. Малая длительность циклов (от нескольких секунд до 2—3 мин) при плавном изменении к. р. в. дает точность, практически не отличающуюся от плавного регулирования. Закон изменения к. р. в. от измеряемой температуры определяется первичным регулятором температуры. Он может быть пропорциональным (при использовании электронных регулирующих мостов), пропорционально-интегральным (прибор РПИБ, см. рис. 74),

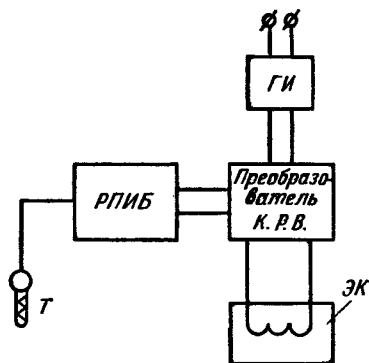


Рис. 106. Схема плавно-дискретного регулирования температуры электромагнитным отжимом всасывающих клапанов.

астатическим и т. д. Учитывая частое переключение электромагнитных клапанов, следует применять бесконтактные регуляторы температуры (типа РПИБ и др.).

Плавное регулирование отжимом всасывающих клапанов достигается отсечкой клапанов на части хода поршня путем изменения подаваемого напряжения на катушку электромагнита или синхронизацией подачи управляющего импульса с положением коленчатого вала компрессора. Этот способ еще широкого применения не получил.

Таким образом, метод регулирования температуры отжимом всасывающих клапанов достаточно точен и экономичен.

Схемы регулирования этим методом сравнительно сложны. Поэтому его применяют только для компрессоров средней и большой производительности (П110, П220 и др.).

Регулирование температуры в нескольких объектах

Непосредственное охлаждение. При непосредственном охлаждении нескольких объектов температуру в каждом из них нельзя регулировать изменением холодопроизводительности компрессора, так как она

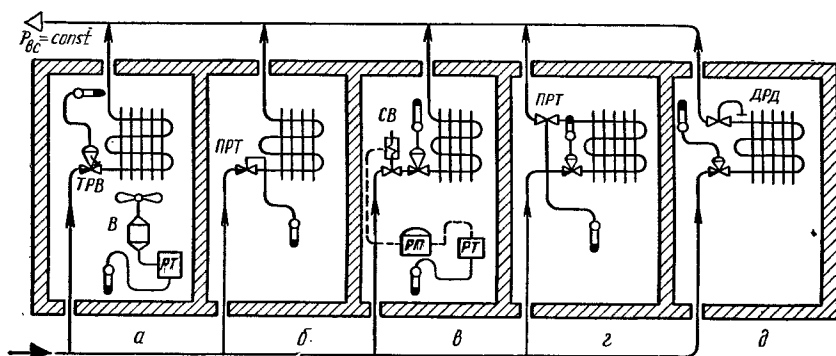


Рис. 107. Схемы способов изменения холодопроизводительности батарей непосредственного охлаждения:

а — изменением коэффициента теплопередачи; б, в — плавным и двухпозиционным изменением поверхности охлаждения; г, д — плавным и двухпозиционным изменением давления (температуры) кипения,

должна быть равна сумме теплопритоков во все объекты. Автоматическое изменение холодопроизводительности компрессора обеспечивает лишь постоянное давление всасывания. Регулирование температуры $t_{об}$ в каждом объекте достигается изменением холодопроизводительности испарителей путем изменения коэффициента теплопередачи k , поверхности испарителя F или температуры кипения t_0

$$Q_{н} = kF(t_{об} - t_0).$$

При двухпозиционном изменении коэффициента теплопередачи пуском и остановкой вентилятора B (рис. 107, *а*) среднее значение k определяется по формуле

$$k = \frac{k_p \tau_p + k_n \tau_n}{\tau_{\Sigma}} = bk_p + (1 - b)k_n,$$

где k_p и k_n — коэффициенты теплопередачи при работе и остановке вентилятора ($k_p \approx 3 \div 4 k_n$);
 τ_p , τ_n и τ_{Σ} — длительность рабочей части, паузы и всего цикла.

Изменяя коэффициент рабочего времени b от 0 до 1, можно варьировать k в пределах от k_p до k_n . $ТРВ$ в этой схеме применяется только для регулирования заполнения испарителя.

В схеме, приведенной на рис. 107, *б*, пропорциональный регулятор температуры $ПРТ$ при повышении $t_{об}$ плавно уменьшает подачу холодильного агента в испаритель. Это приводит к уменьшению поверхности теплообмена между кипящей жидкостью и внутренними стенками испарителя.

Широкое применение получила схема двухпозиционного изменения поверхности испарителя соленоидным вентилем $СВ$ на входе (рис. 107, *в*). Соленоидный вентиль отключается камерным реле температуры $РТ$ (обычно через промежуточное реле $РП$) при достижении заданного значения $t_{об}$. $ТРВ$ в данной схеме, как и в схеме на рис. 107, *а*, служит для регулирования заполнения испарителя при открытом $СВ$ во избежание переполнения испарителя. При закрытии $СВ$ агент, оставшийся в испарителе, выкипает ($F = 0$), однако продолжительность выкипания, особенно в затопленных испарителях большой емкости, сравнительно велика. Это инерционное запаздывание вызывает увеличение амплитуды колебания температуры охлаждаемого объекта.

Для уменьшения колебания температуры иногда устанавливают $СВ$ на выходе из испарителя. Тогда изменение холодопроизводительности достигается в результате изменения среднего значения температуры кипения: при открытом $СВ$ значение t_0 соответствует $p_{вс}$, а при закрытом — давление в испарителе быстро достигает соответствия с $t_{об}$. Недостаток этого способа — большие размеры $СВ$, так как выходной диаметр испарителя обычно выше, чем входной.

Более точное регулирование $t_{об}$ достигается плавным изменением температуры кипения дросселированием пара на выходе из испарителя при помощи $ПРТ$ (рис. 107, *г*). При больших диаметрах трубопровода $ПРТ$ можно использовать как прибор, управляющий исполнительным механизмом.

Применение этой схемы особенно целесообразно в тех случаях, когда повышение температуры кипения выгодно по технологическим причинам (повышение относительной влажности и уменьшение усушки продуктов, меньшее выпадение инея на испарителе).

Менее целесообразна схема косвенного регулирования температуры в камере по давлению (рис. 107, *д*). При понижении $t_{об}$ давление в испарителе падает и двухпозиционный регулятор давления $ДРД$ переключает выход из испарителя. Давление повышается и снижает холо-

допроизводительность испарителя. Регулирование температуры в камере по давлению приводит к значительно большим отклонениям температуры от заданного значения.

Рассольное охлаждение камер. При рассольном охлаждении камер холодопроизводительность батарей

$$Q_6 \approx \frac{t_{об} - t_{p_1}}{\frac{1}{kF} + \frac{1}{2Mc}},$$

где t_{p_1} — температура рассола на входе в батарею;

M — расход рассола, кг/с;

c — удельная теплоемкость рассола, Дж/(кг · °С).

Автоматически изменять Q_6 можно путем изменения коэффициента теплопередачи (как и на рис. 107, а) отключением части поверхности F (если батарея имеет две или несколько секций), а также плавным или двухпозиционным изменением расхода подаваемого рассола.

Последняя схема, осуществляемая при помощи соленоидного вентиля и реле температуры (аналогично схеме на рис. 107, в), получила наибольшее распространение.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЗАПОЛНЕНИЯ ИСПАРИТЕЛЕЙ

Оптимальное заполнение испарителей и способы его контроля

Работа испарителя наиболее эффективна при соприкосновении жидкого холодильного агента со всей теплопередающей поверхностью, т. е. при 100%-ном заполнении*. Испаритель рассчитан на максимальные теплопритоки, поэтому с уменьшением тепловой нагрузки и при постоянной подаче жидкости из испарителя, кроме пара, начнет выходить жидкость (перелив). В некоторых схемах выходящая из испарителя жидкость попадает в отделитель жидкости, откуда насосом или путем эжекции снова подается в испаритель. Регулировать заполнение испарителя в таких схемах не требуется, так как оно остается 100%-ным. В схемах, где возможно попадание жидкости в компрессор, регулировать подачу жидкости в испаритель необходимо, так как перелив жидкости снижает производительность компрессора и создает опасность гидравлического удара. В таких схемах во избежание перелива оптимальное заполнение испарителя должно составлять 80—90%. При дальнейшем снижении заполнения в испарителе устанавливается пониженное давление и компрессор работает неэкономично.

Контроль заполнения испарителя ведется по уровню жидкости в нем или по перегреву пара, выходящего из испарителя.

Уровень жидкости определяет степень заполнения только в испарителях затопленного типа (с нижней подачей). Однако и в этом случае

* Под заполнением будем понимать отношение теплопередающей поверхности испарителя, смачиваемой кипящей жидкостью, ко всей его поверхности (в процентах.)

уровень не всегда однозначно определяет степень заполнения. С увеличением тепловой нагрузки (интенсивное кипение) в кожухотрубных испарителях значительная часть трубок, находящихся над уровнем жидкости, смачивается в результате разбрызгивания хладагента. Особенно существенно это во фреоновых испарителях, где полная смачиваемость поверхности в случае интенсивной нагрузки достигается при высоте уровня 30—40 %.

По перегреву пара на выходе из испарителя можно значительно точнее определить степень заполнения, чем по уровню жидкости, а в прямоточных испарителях («сухих»), где нет определенного уровня, контролировать заполнение можно только по перегреву. Снижение перегрева до 0°C указывает на 100 %-ное заполнение или на переполнение.

В схемах с одним испарителем уменьшение уровня в испарителе вызывает повышение уровня в конденсаторе или ресивере, что позволяет применить косвенное регулирование. Выбор того или иного вида регулирования во многом зависит от схемы подачи и распределения жидкого хладагента по испарителям.

Основные схемы заполнения испарителей

Применяются три основные схемы подачи жидкости в испарительную систему:

1) непосредственная подача жидкости в испаритель за счет разности давлений $p_k - p_0$; в аммиачных машинах в схему включают отделитель жидкости после испарителя («схема с нижним отделителем жидкости»);

2) схема заполнения испарителей под напором столба жидкости или схема с верхним отделителем жидкости;

3) подача жидкости низкого давления из циркуляционного ресивера в испарители насосом.

Рассмотрим особенности автоматизации этих основных схем заполнения испарителей.

Заполнение испарителей под действием разности давлений конденсации и кипения. В схемах, представленных на рис. 108, жидкость высокого давления из конденсатора или линейного ресивера по жидкостному трубопроводу *I* подается через регулирующее устройство в один или параллельно в несколько испарителей. Через всасывающий трубопровод *II* пар отсасывается компрессором. Рассмотрим основные варианты автоматизации заполнения испарителей.

Регулирование заполнения испарителей регулятором перегрева (*ТРВ*) было подробно рассмотрено в гл. III (см. рис. 75 и 77). Схемы питания прямоточных испарителей через *ТРВ* (рис. 108, *a*) широко применяются в малых установках. Они наиболее просты и надежны. При параллельном питании нескольких испарителей *ТРВ* ставят перед каждой ветвью (см. рис. 125). Если при этом температура в каждой камере регулируется при помощи реле температуры, которое управляет соленоидным вентилем, то последний ставят перед *ТРВ* (на стороне высокого давления), чтобы обеспечить более четкое

открытие и закрытие клапана. Особенности заполнения кожухотрубных испарителей через *ТРВ* рассмотрены на рис. 111 и 112.

Вместо *ТРВ* для контроля за перегревом применяют реле разности температур *РРТ* (рис. 108, б), которое при увеличении перегрева открывает соленоидный вентиль *СВ*.

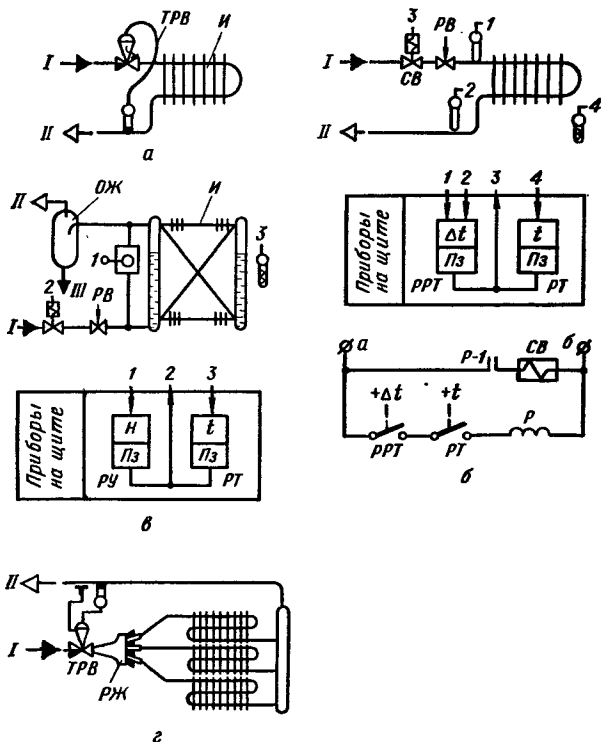


Рис. 108. Схемы автоматизации заполнения испарителей под действием разности давлений конденсации и кипения («схема с нижним отделителем жидкости»): а — с регулятором перегрева *ТРВ*; б — от реле разности температур *РРТ*; в — регулятором уровня непрямого действия; г — с распределителем жидкости *РЖ*.

Регулирующий вентиль *РВ* открыт на постоянное сечение. При двухпозиционном регулировании температуры в камере реле температуры *РТ* воздействует на этот же соленоидный вентиль. Взаимодействие обоих реле (*РТ* и *РРТ*) видно из электрической схемы. Пока температура в камере выше требуемой, контакт *РТ* замкнут и реле разности температур *РРТ* при малом заполнении испарителя включает промежуточное реле *Р*, которое контактом *Р-1* включает соленоидный вентиль *СВ*. При переполнении испарителя *РРТ* через реле *Р* отключает *СВ*, циклической работой поддерживая перегрев в заданных пределах. Когда температура в камере снизится, *РТ* отключит *СВ* и, хотя испаритель будет пустой, *РРТ* уже не сможет включить *СВ*, так как

разомкнуты контакты PT . При повышении температуры контакты PT замкнутся и PPT снова начнет циклично открывать CB .

Схема с PPT удобна своей универсальностью, так как PB можно установить практически на любую холодопроизводительность (не требуется большой номенклатуры TPB). Поэтому ее начали широко применять на установках средней и крупной производительности.

На крупных аммиачных установках для регулирования заполнения испарителей затопленного типа обычно применяют двухпозиционные регуляторы уровня непрямого действия (рис. 108, в). Реле уровня PU управляет соленоидным вентилем CB . При регулировании температуры в камере реле температуры PT воздействует на этот же соленоидный вентиль. Взаимодействие PU и PT аналогично схеме, показанной на рис. 108, б.

В аммиачных установках схемы с питанием испарителей за счет разности давлений $p_K - p_0$ на выходе из испарителей включают отдельный жидкостный $OЖ$ («схема с нижним отделителем жидкости»). В случае выброса жидкости из испарителя (например, из-за резкой тепловой нагрузки) она попадает в $OЖ$, откуда по трубопроводу III — в дренажный ресивер.

Если температура в камере поддерживается пропорциональным регулятором температуры, который при повышении $t_{об}$ плавно уменьшает подачу жидкости в испаритель (т. е. степень его заполнения), то регулировать заполнение испарителя уже не требуется.

Схема заполнения испарителей за счет разности давлений проста и удобна в эксплуатации, но при большом количестве испарителей требуется много регуляторов (перед каждым испарителем), что повышает стоимость установки и снижает ее надежность.

При питании нескольких параллельно включенных испарителей от одного регулятора (рис. 108, г) заполнение испарителей из-за различного их гидравлического сопротивления неравномерно. Поэтому этот способ питания применяется лишь тогда, когда испарители работают при одинаковой тепловой нагрузке (например, несколько секций одного воздухоохладителя). При этом применяют TPB со специальным распределителем жидкости $PЖ$, которое имеет гидравлическое сопротивление на выходе $1-2$ кгс/см². Так, если сопротивление секций было $0,01$, $0,02$ и $0,03$ кг/см² и в последний испаритель поступало жидкости значительно меньше, чем в первый, то после установки распределителя сопротивление испарителей стало $1,01$, $1,02$ и $1,03$ кгс/см², т. е. примерно одинаковое. В связи с тем что общее сопротивление испарителя значительно увеличивается, необходимо ставить TPB только с внешним выравниванием.

Безнасосная схема с верхним отделителем жидкости. В этой схеме (рис. 109) разность давлений p_K и p_0 используется только для подачи жидкого агента в отделитель жидкости $OЖ$. Питание одновременно всех испарителей осуществляется через жидкостный коллектор $ЖК$ по принципу сообщающихся сосудов, т. е. за счет того, что $OЖ$ расположен выше испарителей. С увеличением тепловой нагрузки уровень жидкости H_2 во всасывающем коллекторе $ВК$ снижается и возникающая разность уровней $H_1 - H_2$ обеспечивает пополнение испари-

телей (полное самовывравнивание). Регуляторы для заполнения испарителей здесь не нужны. Регулируется только уровень в отделителе жидкости ОЖ. Для регулирования применяют обычно регуляторы уровня, но возможно и регулирование по перегреву. На схеме, показанной на рис. 109, реле уровня РУ управляет соленоидным вентилем СВ. В случае неисправности регулятора и повышения уровня в ОЖ жидкость переливается в дренажный ресивер по трубе III. Однако

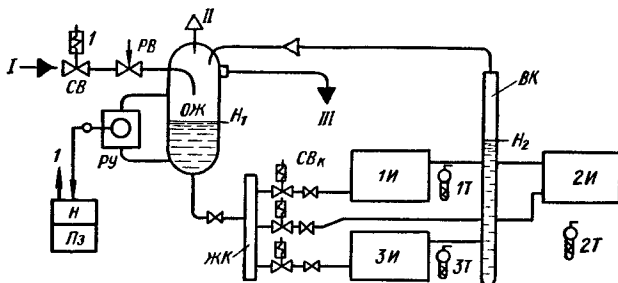


Рис. 109. Схема заполнения испарителей под напором столба жидкости («схема с верхним отделителем жидкости»).

опасность переполнения ОЖ и попадания жидкости в компрессор в этой схеме значительно выше, чем в схеме с нижним ОЖ, так как при резком увеличении тепловой нагрузки на испарители образуется сразу много пара, который вытесняет большие слои жидкости. При быстром переполнении ОЖ жидкость не успеет по трубе III перелиться в дренажный ресивер и попадет в компрессор.

Другой недостаток схемы — влияние столба жидкости на температуру кипения (в испарителе ЗИ значение t_0 на несколько градусов выше, чем в ИИ). При низких температурах (-40°C и ниже) это заметно снижает холодопроизводительность.

Для регулирования температуры по этой схеме требуется установка соленоидных вентилей в камерах ($СВ_{К}$), открывающихся при отсутствии перепада давлений («бесперепадные»), т. е. с использованием силы электромагнита. Такие вентили, как указывалось, на большие диаметры прохода не выпускаются.

По указанным причинам на крупных холодильниках эту схему сейчас почти не применяют.

Насосно-циркуляционная схема. В этой схеме (рис. 110) устранены недостатки предыдущей схемы, но требуется дополнительная установка насоса. Регуляторы для заполнения отдельных испарителей не нужны. Стабилизация оптимального заполнения достигается за счет избытка подаваемой жидкости. Количество жидкости, подаваемой насосом из циркуляционного ресивера через жидкостный коллектор ЖК в испаритель, в 3—4 раза превышает количество жидкости, выходящей при максимальной тепловой нагрузке. Неиспарившаяся жид-

новку более безопасной; 2) не сказывается влияние столба жидкости на температуру кипения; 3) внутренняя поверхность меньше загрязняется маслом. Недостаток схемы с верхней подачей — ухудшение коэффициента теплопередачи, связанное с уменьшением поверхности непосредственного контакта жидкости с батареей.

Выбор и установка регуляторов уровня и перегрева

Испаритель как объект регулирования степени заполнения его жидкостью и регулятор заполнения образуют систему автоматического регулирования. Общие принципы выбора регулятора были рассмотрены в гл. I. Для выбора регулятора заполнения надо знать: какой

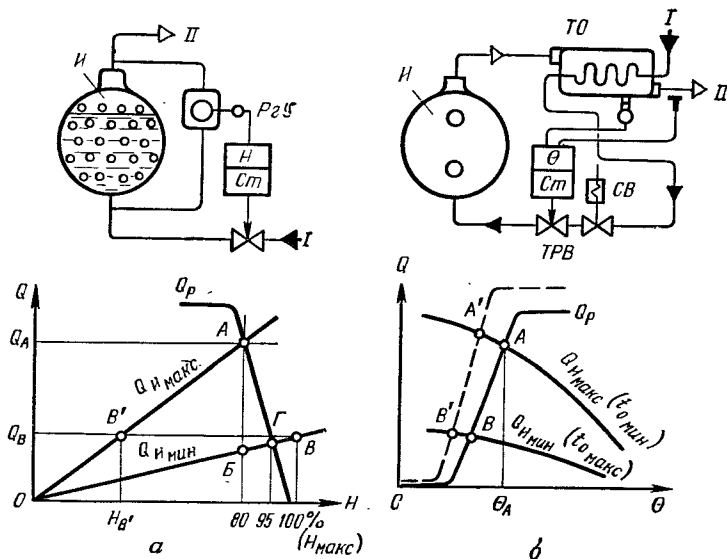


Рис. 111. Регулирование заполнения кожухотрубного испарителя: а — по уровню; б — по перегреву. Трубопроводы I и II, как на рис. 107.

параметр наиболее точно определяет степень заполнения данного типа испарителя и допустимые пределы его изменения; статическую характеристику испарителя, т. е. зависимость его холодопроизводительности Q_n от показателя заполнения (H или θ); пределы изменения нагрузки; динамические свойства объекта и регулятора; возможные помехи (например, влияние давления конденсации, переохлаждения на производительность регулятора); другие особенности системы (влияние нагрузки на оптимальное заполнение, условия возврата масла из испарителя и др.).

Рассмотрим, как выбрать регулятор для заполнения кожухотрубного испарителя затопленного типа.

Выбор регулятора по статической характеристике. В аммиачных испарителях степень заполнения достаточно точно определяется уровнем. Поэтому здесь можно применить статический регулятор уровня РЗУ (рис. 111, а). Заметим, что в кожухотрубных оросительных испарителях уровень жидкости является единственным показателем, так как перегрев пара на выходе у них равен нулю независимо от степени заполнения.

Для выбора регулятора уровня надо сначала построить статические характеристики испарителя $Q_{\text{и}} = f(H)$ при максимальных и минимальных теплопритоках. Холодопроизводительность испарителя $Q_{\text{и}} = kF(t_{\text{р}} - t_0)$, где $t_{\text{р}}$ — температура рассола. Приняв, что теплопередающая поверхность F пропорциональна высоте уровня H , для заданной разности температур $t_{\text{р}} - t_0$ получим уравнение прямой $Q_{\text{и}} = KH$, где $K = k(t_{\text{р}} - t_0)$. При $H = 0$ (испаритель пустой) $Q_{\text{и}} = 0$. Вторую точку прямой получим из условия, что испаритель выбран с запасом, т. е. максимальный теплоприток $Q_{\text{А}}$ отводится испарителем при заполнении его примерно на 80%, т. е. $Q_{\text{А}} = Q_{\text{и макс}}$ соответствует $0,8H_{\text{ макс}}$ (на рис. 111, а — точка А). Аналогично при минимальной нагрузке $Q_{\text{Б}}$ получим точку Б. Угол наклона прямой OB меньше, чем прямой OA , так как снижение $Q_{\text{и}}$ достигается уменьшением разности температур $t_{\text{р}} - t_0$, т. е. снижением K в уравнении прямой.

Прежде чем подбирать регулятор, надо убедиться, что дроссель постоянного сечения, рассчитанный на минимальную производительность при 100%-ном заполнении (точка В), не годится. Действительно, из графика видим, что с увеличением тепловой нагрузки испарителя до $Q_{\text{и макс}}$ заполнение его, обеспечивающее отвод тепла $Q_{\text{В}}$, снизится с $H_{\text{ макс}}$ до $H'_{\text{В}}$, что обычно ниже допустимого (экономически целесообразного) уровня $H_{\text{А}}$.

Регулятор подбирают так, чтобы он обеспечил максимальную холодопроизводительность испарителя (точка А) при открытии проходного сечения на 70—80% (т. е. с некоторым запасом).

При снижении тепловой нагрузки уровень повышается и производительность регулятора падает. При минимальной нагрузке (точка Г) регулятор должен прикрыться, пока уровень не превысит $0,95H_{\text{ макс}}$ во избежание переполнения испарителя. Таким образом, чувствительность регулятора (и соответственно диапазон пропорциональности) определяется углом наклона прямой AG , т. е. зависит от заданных допустимых значений изменения уровня. Обычно минимальную нагрузку на испаритель принимают равной нулю. Тогда точка Г окажется на прямой абсцисс, т. е. при $H = 0,95H_{\text{ макс}}$ регулятор должен полностью закрыться.

Аналогично можно подобрать регулятор перегрева (рис. 111, б). Если имеется экспериментальная или расчетная характеристика испарителя $Q_{\text{и}} = f(\Theta)$ при $t_0 = \text{const}$, то, построив характеристики испарителя $Q_{\text{и макс}}$ и $Q_{\text{и мин}}$ (соответственно для $t_{0 \text{ мин}}$ и $t_{0 \text{ макс}}$) и задавшись максимально допустимым перегревом $Q_{\text{А}}$, найдем требуемую производительность TPB (точка А). Выбранный по каталогу TPB (с запасом 20—30%) и пересчетом по формуле (III—2) на самые худшие условия («помехи»), т. е. при $t_{\text{к мин}}$, должен обеспечить произво-

дительность Q_A . При более благоприятных условиях работы (характеристика TRB показана пунктиром) требуемая производительность будет обеспечена при меньших перегревах (A' и B').

Серийные TRB обеспечивают заданную производительность при перегревах порядка $5-10^\circ\text{C}$, что соответствует заполнению испарителя всего на $85-50\%$. Кроме того, при этом перегреве в кожухотрубных испарителях не обеспечивается возврат масла в компрессор. Поэтому во фреоновых машинах с теплообменником термобаллон следует устанавливать на выходе или в средней части теплообменника TO , чтобы жидкость, переполняя испаритель, частично выкипала в теплообменнике. Тогда при перегреве $10-20^\circ\text{C}$ будет изменяться лишь степень заполнения жидкостью теплообменника. Отбор пара в уравнительную трубку можно производить до TO или после него. В последнем случае производительность TRB несколько больше, так как из-за гидравлического сопротивления в TO под мембрану подается более низкое давление.

При остановке компрессора термобаллон TRB может нагреться быстрее, чем испаритель, и TRB не обеспечит плотное закрытие. Для этого перед TRB ставят соленоидный вентиль CB , который закрывается при остановке компрессора.

Динамика процесса регулирования. Нарушение установившегося состояния вызывается сравнительно частым изменением тепловой нагрузки, пуском и остановкой компрессора, изменением давления конденсации. Переход из одного установившегося состояния в другое сопровождается колебаниями уровня жидкости и перегрева. Отклонение их зависит от динамических свойств испарителя и регулятора. Переходная характеристика испарителя представляет собой аperiodическое звено (см. рис. 15), имеющее сравнительно большую скорость изменения уровня (перегрева) особенно в маломощных змеевиковых испарителях. Переходная характеристика TRB была показана на рис. 75, в.

Работа системы TRB — испаритель в переходном режиме при ступенчатом уменьшении нагрузки показана на рис. 112, а. При высокой чувствительности TRB возникают большие колебания перегрева Θ в переходных процессах, что значительно снижает эффективность работы машины. При больших перегревах испаритель недозаполнен, а при уменьшении перегрева до нуля возникает работа влажным ходом (участки 1—2 и 3—4), что снижает производительность компрессора. Желательно, чтобы переходный процесс приближался к аperiodическому (пунктирная линия 0—5). Аналогичные колебания перегрева возникают при пуске компрессора (рис. 112, б). При стоянке машины TRB закрыт, поэтому при включении компрессора давление в испарителе резко падает (перегрев возрастает) и в точке A TRB открывается. Возникающие колебания перегрева обычно не успевают затухнуть за цикл работы компрессора. После остановки компрессора (точка B) давление в испарителе быстро увеличивается, перегрев падает и в точке B ($\Theta = 2 \div 3^\circ\text{C}$) TRB закрывается.

Для уменьшения амплитуды колебаний перегрева надо по возможности уменьшить постоянную времени чувствительного патрона.

Для этого при монтаже его надо крепить к всасывающему трубопроводу возможно плотнее (рис. 113, а). Для увеличения поверхности соприкосновения термоматрона 1 с трубкой 2 в последней следует сделать небольшой прогиб вдоль образующей. Место крепления термобаллона отделяют изоляцией 3 от окружающей среды. При больших диаметрах трубопровода целесообразно предусматривать гильзу для термоматрона. Для увеличения коэффициента теплопередачи гильзу заливают незамерзающей жидкостью.

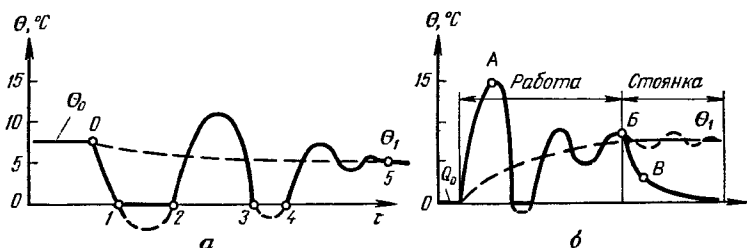


Рис. 112. График изменения перегрева:
а — при ступенчатом уменьшении тепловой нагрузки; б — при циклической работе компрессора.

Не следует применять *ТРВ* с производительностью, превышающей необходимую более чем в 1,5 раза, так как при высокой чувствительности *ТРВ* и сравнительно высокой постоянной времени возникают большие колебания перегрева. Если машина предназначена для работы в различных режимах, в частности в низкотемпературных установках, которые периодически отключают, следует устанавливать параллельно два *ТРВ*: один (на пусковой период) — рассчитанный на высокие температуры, который должен отключаться соленоидным вентилем при снижении температуры до определенного предела, второй — рассчитанный на низкие температуры. Не следует применять *ТРВ* слишком большой чувствительности (диапазон пропорциональности менее 4—5°C). Желательно, чтобы гистерезис *ТРВ* (нечувствительность к изменению направления перегрева) был не более 1,5°C.

Недостаток *ТРВ* — недостаточная их универсальность. Каждая модель *ТРВ* рассчитана на определенный агент, производительность, диапазон температур кипения. Поэтому с увеличением выпуска холодильных машин различного назначения (небольших партий) возникает потребность иметь более универсальный регулятор перегрева. В связи с этим стали применять регуляторы перегрева непрямого действия, состоящие из реле разности температуры, управляющего соленоидным вентилем, и ручного регулирующего вентиля. Однако эти регуляторы сложнее, дороже, их целесообразно применять только на крупных установках с испарителями большой емкости.

Поплавковые регуляторы непрямого действия тоже имеют запаздывание. Оно должно быть меньше постоянной времени объекта. Для более устойчивой работы поплавокную камеру часто подсоединяют

не к самому сосуду, где надо регулировать уровень, а к специальной колонке *К* (рис. 113, б), соединенной с сосудом *И* паровой и жидкостной трубкой. К этой же колонке подключают второй регулятор уровня *2РУ*, выполняющий функции защиты. Для проверки реле уровней вентиль *2В* закрывают, а через вентиль *3В* начинают подавать в колонку жидкость высокого давления. Уровень в колонке повышается,

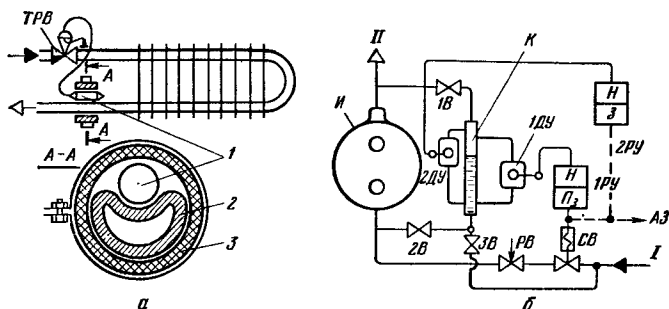


Рис. 113. Монтаж регуляторов заполнения испарителей — ТРВ (а) и реле уровня (б).

и реле *1РУ* должно закрыть *СВ*. Для уменьшения уровня вентиль *3В* закрывают, а *2В* открывают, *1РУ* должно открыть *1СВ*. Аналогично проверяют и защитное реле *2РУ*. При повышении уровня оно должно закрыть *СВ* и дать сигнал в цепь автоматической защиты *АЗ*.

Косвенные методы регулирования заполнения испарителей

В схемах с одним испарителем изменение степени заполнения испарителя приводит к изменению других параметров: уровня жидкости и давления в конденсаторе, давления в испарителе.

Указанные факторы позволяют увеличить степень самовыравнивания и обойтись вообще без регулятора (капиллярные трубки, дроссели постоянного сечения) или применить косвенное регулирование (*ПРВ* высокого давления).

Капиллярная трубка. Из дросселей постоянного сечения капиллярная трубка получила наибольшее применение. Разность давлений $p_k - p_0$ гасится в ней за счет гидравлического сопротивления по всей длине трубки (0,5—1,5 м). Поэтому диаметр *КТ* больше, чем у диафрагмы, рассчитанной на такую же производительность, и она меньше засоряется. Кроме того, обеспечив тепловый контакт *КТ* со всасывающим трубопроводом, можно достичь переохлаждения в ней жидкости, как в теплообменнике.

Применение дросселя постоянного сечения, в частности капиллярной трубки, оказалось возможным благодаря созданию дополнительного самовыравнивания со стороны регулирующего воздействия. Рассмотрим, как это достигается (см. рис. 114, а).

После остановки компрессора вся жидкость собирается на стороне низкого давления, т. е. в испарителе. Чтобы жидкость не попала в компрессор, систему заполняют холодильным агентом из расчета 90 % емкости испарителя. Капиллярную трубку подбирают так, чтобы при среднем расчетном режиме расход жидкости через трубку $G_{тр}$ равнялся бы расходу пара $G_{км}$, отводимого из испарителя компрессором. Тогда уровень в испарителе не изменяется.

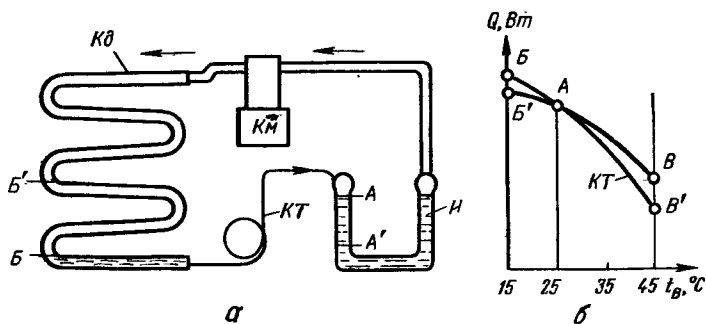


Рис. 114. Заполнение испарителя через капиллярную трубку:
 а — схема машины; б — график снижения холодопроизводительности при отклонении от расчетного режима.

При отклонении от расчетного режима, например при снижении температуры окружающего воздуха t_b с 25 до 15° С и соответствующем снижении температуры и давления в конденсаторе, расход жидкости через $КТ$ уменьшится. Производительность компрессора, наоборот, возрастет. Уровень в испарителе начнет снижаться. При этом теплоприток к испарителю уменьшится (самовыравнивание со стороны нагрузки), давление p_0 снизится и производительность компрессора упадет. Одновременно снижение уровня в испарителе от A до A' повысит уровень в конденсаторе от B до B' , поверхность для конденсации пара станет меньше, давление p_k возрастет и подача жидкости через $КТ$ за счет разности $p_k - p_0$ увеличится (самовыравнивание со стороны регулирующего воздействия). Дальнейшее снижение уровня прекратится. Машина будет работать в новом режиме с несколько недозаполненным испарителем.

При повышении t_b (например, с 25 до 45°С) производительность компрессора упадет, а $G_{тр}$ увеличится. При этом трубка пропускает всю жидкость, образующуюся в конденсаторе, и производительность ее сразу резко падает, так как пропускная способность по пару в десятки раз меньше. Давление p_k снова возрастает, в конденсаторе образуется новая порция жидкости, и $КТ$ пропускает ее в испаритель, работая как бы циклами. Чем больше разность $G_{тр} - G_{км}$, тем больше пара проходит в испаритель через $КТ$, снижая холодопроизводительность машины.

При отклонении от расчетного режима в сторону снижения t_v до 15°C или повышения t_v до 45°C снижение холодопроизводительности машины (рис. 114, б), вызванное недозаполнением испарителя ($B - B'$) или пропуском пара ($B-B'$), не превышает 10—15% от максимальной (при использовании всего испарителя и при отсутствии перепуска пара — линия $BAВ$).

Благодаря простоте и высокой надежности (по сравнению с $ТРВ$ и $ПР$) капиллярные трубки нашли широкое применение в домашних холодильниках, условия работы которых мало отличаются от расчетного режима. В торговом холодильном оборудовании $КТ$ менее экономичны, так как при эксплуатации этого оборудования отклонения от расчетного режима более значительны (по величине и по продолжительности).

При установке ресивера после конденсатора степень самовыравнивания резко уменьшается, так как при снижении уровня в испарителе уровень жидкости в конденсаторе и давление в нем не повышаются и подача через $КТ$ не увеличивается; работа машины очень неэффективна. Поэтому применять $КТ$ при наличии ресивера не следует.

Инжектор. Для повышения коэффициента теплопередачи испарителя можно повысить скорость движения жидкого хладагента в испарителе увеличением кратности циркуляции, т. е. путем подачи насосом неиспарившейся жидкости снова на вход испарителя. Однако включение в схему циркуляционного насоса, например в испарителях оросительного типа, усложняет конструкцию машины, снижает ее надежность и приводит к дополнительному расходу энергии на привод насоса. При использовании струйного насоса (рис. 115, а) площадь

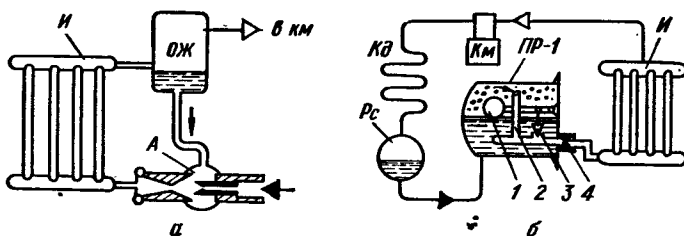


Рис. 115. Косвенные методы регулирования заполнения испарителей:

а — струйным насосом (инжектором); б — поплавковым регулятором типа ПР-1.

проходного сечения горла сопла инжектора соответствует максимальной тепловой нагрузке на испаритель и производительности компрессора. Благодаря большой скорости при выходе жидкости из сопла в камере смешения (точка A) создается низкое давление и жидкость из отделителя жидкости $ОЖ$ начинает поступать в камеру смешения. С увеличением расхода рециркулируемой жидкости вследствие возрастания скорости увеличивается и работа, затрачиваемая на циркуляцию.

Когда эта работа сравнивается с работой расширения жидкости в сопле, расход рециркулируемой жидкости достигнет своего предельного значения.

Поплавковый регулятор высокого давления типа ПР-1. В отличие от других поплавковых регуляторов высокого давления ПР-1 (рис. 115, б) не имеет уравнительной паровой трубки. Благодаря капиллярной трубке 2 пар из камеры поплавка через трубку 4 дросселируется в испаритель. Давление в камере поплавка становится несколько ниже, чем в конденсаторе, и жидкость из конденсатора поступает в камеру поплавка, даже если последняя расположена значительно выше конденсатора. При повышении уровня в камере поплавков 1 открывает проходное сечение клапана 3 и пропускная способность регулятора увеличивается. Таким образом, ПР-1 пропускает из конденсатора в испаритель всю жидкость, а когда в конденсаторе остается пар, уровень в камере поплавка снижается и клапан закрывается.

Если общее количество холодильного агента в системе постоянно (при отсутствии неплотностей), то стабилизация уровня в камере поплавка косвенно обеспечивает определенный уровень в испарителе. Снижение холодопроизводительности от перепуска пара через трубку 2 не превышает 2—3%; поэтому холодопроизводительность машины близка к оптимальной (см. кривую *БВ* на рис. 114, б).

РЕГУЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ

Давление в конденсаторе держится постоянным, когда количество горячего пара, подаваемого компрессором (нагрузка), равно количеству пара, сконденсированного при охлаждении воздухом или водой (регулирующее воздействие). Конденсаторы рассчитываются так, что при максимальной нагрузке разность между температурами конденсации и охлаждающей среды равна примерно 10°C. При снижении нагрузки эти перепады уменьшаются и после остановки компрессора падают до нуля, т. е. t_k равна температуре среды.

При повышении температуры охлаждающей среды или малом расходе воды давление в конденсаторе возрастает, что приводит к перерасходу электроэнергии и опасному режиму работы.

При снижении температуры охлаждающей среды и слишком большом расходе воды устанавливается низкое давление конденсации. Это приводит к перерасходу воды и ухудшает работу *ТРВ* или другого регулятора заполнения испарителя. Поэтому в машинах, рассчитанных на эксплуатацию при значительных изменениях температуры среды, необходимо регулировать давление конденсации.

Конденсаторы с воздушным охлаждением. В установках торгового типа агрегаты обычно расположены в служебных помещениях, где температура воздуха t_v изменяется незначительно. Поэтому регулирование p_k не применяют. В установках транспортного типа t_v колеблется в широких пределах и давление p_k может оказаться ниже допустимого. Для регулирования p_k надо автоматически изменить производительность конденсатора.

Снижение производительности конденсатора можно обеспечить циклическим отключением вентилятора, если он имеет отдельный электродвигатель. При наличии двух-трех вентиляторов их можно отключать по схеме пропорционального шагового регулирования (см. рис. 27). При этом каждый вентилятор работает от своего реле, воспринимающего температуру наружного воздуха (косвенное регулирование). Непосредственное регулирование по p_k здесь применять целесообразно, так как из-за большой скорости изменения давления вентилятор будет работать очень короткими циклами.

В машинах, у которых вентилятор и компрессор работают от одного электродвигателя, для снижения производительности конденсатора применяют пропорциональные регуляторы давления $P_2Д$ «до себя», устанавливая их после конденсатора (перед ресивером). При уменьшении p_k клапан регулятора закрывается, уменьшая слив жидкости из конденсатора в ресивер, часть теплопередающей поверхности конденсатора заполняется жидкостью и давление в нем возрастает. Для выравнивания давлений ресивер соединен с конденсатором уравнивательной паровой трубкой.

Другой возможный способ снижения производительности конденсатора — уменьшение скорости проходящего через него воздуха плавным прикрытием жалюзей.

Конденсаторы с водяным охлаждением. Температура воды в зимнее время настолько ниже летней, что регулирование давления конденсации в этом случае необходимо. Снижение производительности конденсатора достигается уменьшением подачи воды, поэтому регулирование p_k дает еще и экономический эффект. В главе I было показано, что следящая схема стабилизации давления (см. рис. 5), т. е. закрытие соленоидного вентиля на подаче воды при остановке компрессора, не обеспечивает точного регулирования p_k в требуемых пределах. Поэтому следящую схему дополняют ручным регулированием: в зимнее время прикрывают ручной вентиль для уменьшения подачи воды.

Более экономичен способ регулирования p_k водорегулирующим вентилем. При снижении p_k давление на мембрану регулятора падает и под действием пружины $ВРВ$ уменьшает подачу воды. В пределах статической ошибки ($\approx 1,5$ кгс/см²) $ВРВ$ поддерживает p_k постоянным.

Оптимальное давление конденсации (настройка $ВРВ$) определяют в зависимости от соотношения стоимости 1 м³ воды и 1 кВт · ч электроэнергии. При этом следует учитывать, что при повышенном давлении снижается надежность машин. Так, для условий Москвы при летнем режиме ($t_{вд} = 20^\circ\text{C}$) оптимальный нагрев воды в конденсаторе 6—8°C, что соответствует избыточному давлению конденсации фреоновых машин 6—6,6, аммиачных — 10—11 кгс/см². Для южных районов ($t_{вд} = 25^\circ\text{C}$) оптимальное $p_k = 7 \div 7,6$ для фреоновых и 11—12 кгс/см² для аммиачных машин. Более низкие давления вызывают большой перерасход воды, а более высокие давления — большой расход электроэнергии и снижение надежности. Таким образом, суммарные затраты на воду, электроэнергию и ремонт машин при отклонении от оптимальных рекомендуемых значений увеличиваются.

На крупных установках (с градирнями) давление конденсации обычно регулируют косвенно (по разности температур на выходе и входе конденсатора). При включении компрессора одновременно включается один водяной насос. Если разность температур превышает 3—4°C, реле разности температур включает второй насос. При уменьшении разности температур второй насос останавливается. В этой схеме экономится только электроэнергия на привод насоса. Затраты на воду при обратном снабжении постоянны и минимальны (только на периодическое добавление свежей воды).

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УДАЛЕНИЕ ИНЕЯ С ОХЛАЖДАЮЩИХ ПРИБОРОВ

Батареи непосредственного или рассольного охлаждения обычно имеют температуру ниже 0°C. На поверхности их образуется слой инея. Скорость нарастания инея зависит от относительной влажности охлаждаемого воздуха и температуры охлаждающей поверхности. Небольшой слой инея, образующийся в течение 2—3 дней, значительно ухудшает теплопередачу через батарею, что снижает экономичность работы холодильной машины. Например, в торговых шкафах иней толщиной 3—4 мм увеличивает расход электроэнергии на 50—60%. При образовании сплошной снеговой шубы (без просвета между ребрами) расход электроэнергии возрастает в 3—4 раза.

Если температура в камере регулируется косвенным методом (поддерживанием температуры испарителя или давления кипения), то нарастание инея приводит к повышению температуры в камере. В этом случае происходит относительный перерасход электроэнергии, так как для поддержания более высокой температуры при отсутствии инея расход энергии был бы значительно ниже, а снеговая шуба сохраняет его практически прежним.

В качестве первичных приборов, реагирующих на образование инея, применяют:

1) реле температуры, чувствительный элемент которого расположен в воздушной среде с плюсовой температурой (например, в льдогенераторах, когда нарастающий слой льда коснется термометра, температура его снизится до нуля);

2) дифференциальное реле температуры, воспринимающее разность температур в камере и температуры кипения (с увеличением слоя инея разность $t_{об} - t_0$ возрастает);

3) реле разности давлений (в воздухоохладителях при образовании инея давление воздуха на входе в испаритель становится выше, чем на выходе);

4) емкостный датчик (см. рис. 41, к);

5) программное реле, которое включает оттаивающее устройство через определенные интервалы времени.

В последнем случае толщина слоя инея за время работы машины может оказаться различной, поэтому и продолжительность удаления инея будет разной. Для прекращения оттаивания часто используют реле температуры испарителя, которое включает компрессор в нор-

мальную работу, когда температура испарителя достигнет 1—2°C, т. е. он полностью оттаивает. Эту же роль может выполнить реле низкого давления, настроенное на соответствующее давление включения (для фреона-12 $p_{низб} = 2,2 \div 2,4$ кгс/см²).

Различают три способа автоматического удаления инея: 1) оттаивание воздухом камеры, 2) горячим паром, образуемым после сжатия в компрессоре, 3) дополнительным источником тепла (электронагревателем, теплой водой, горячим рассолом). Рассмотрим особенности каждого способа.

Первый способ может быть использован только в том случае, когда в камере поддерживается плюсовая температура (3—4°C). При циклической работе налет инея удаляется за период остановки компрессора.

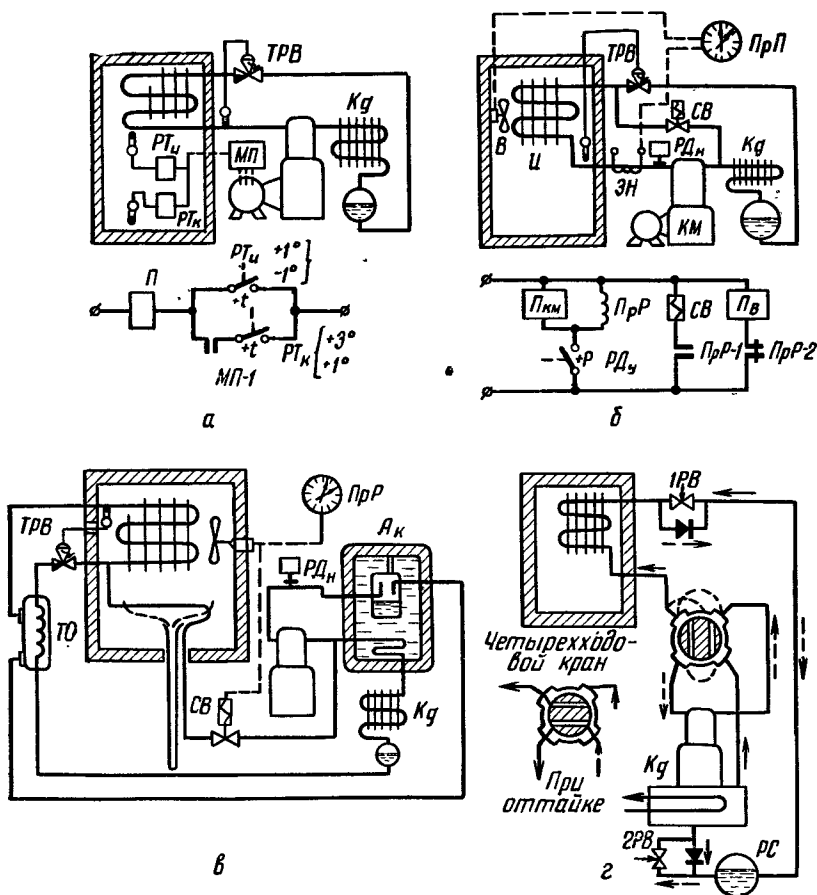


Рис. 116. Схема автоматического оттаивания испарителя: а — естественное (воздухом камеры); б, в, г — горячим паром с испарением жидкости электронагревателем (б), в аккумуляторе (в), в конденсаторе (г).

При большой тепловой нагрузке, когда продолжительность работы компрессора возрастает, период стоянки, необходимый для удаления инея, увеличивается и температура в камере повышается до 7—8°C.

Учитывая, что при автоматическом поддержании температуры испарителя (или давления кипения) в пределах, обеспечивающих оттаивание инея за период стоянки, температура в камере может повыситься сверх допустимой, иногда применяют одновременно два реле температуры PT_n и PT_i (рис. 116, а). PT_n останавливает компрессор только тогда, когда в камере достигнута требуемая температура (например, 1°C). После остановки компрессора температура в камере повысится и, когда она достигнет 3°C, контакты PT_n замкнутся (см. электросхему), но компрессор еще не включается, так как разомкнуты его блок-контакты МП-1. Только тогда, когда температура испарителя достигнет 1°C, т. е. оттаяет снеговая шуба, контакты PT_i замкнутся и компрессор снова начнет работать. Однако к моменту включения компрессора температура в камере значительно повышается, т. е. происходит увеличение амплитуды колебания температуры. При поддержании в объекте температуры ниже нуля применяют оттаивание горячим паром или дополнительным источником тепла.

Наиболее экономичны и эффективны схемы оттаивания горячим паром. Схемы, применяемые в малых установках, показаны на рис. 116, б, в, г. Во всех схемах горячий пар из компрессора направляется не в конденсатор, а непосредственно в испаритель. Там он, отдавая тепло, оттаивает снеговую шубу и конденсируется. Для превращения образующейся жидкости снова в пар, прежде чем она поступит в компрессор, применяют различные способы.

В схеме на рис. 116, б для этого используют электронагреватель. Программное реле PrP примерно раз в сутки включает на 10—30 мин автоматическое оттаивание: открывает соленоидный клапан CB для подачи горячего пара в испаритель и электроподогрев, останавливая при этом вентилятор. В электросхеме программное реле PrP включается вместе с пускателем компрессора $P_{им}$ (рис. 116, б, внизу). Такая схема весьма целесообразна, так как при длительных остановках компрессора иней почти не образуется. $РД_n$ в этой схеме настроено на низкую температуру (давление) кипения и не обеспечивает оттаивания инея после остановки компрессора.

Для превращения в пар жидкости, образующейся в испарителе, более целесообразно использовать тепло, которое отдает сжатый в компрессоре горячий пар охлаждающей среде в период нормальной работы (рис. 116, в). В схему включают специальный аккумулятор $Ак$. При нормальной работе температура пара после сжатия в компрессоре 60—70°C (для фреона-12). Поступая в аккумулятор, этот пар приводит примерно до такой же температуры залитую в него жидкость. При оттаивании жидкий агент из испарителя попадает во внутренний сосуд аккумулятора, являющийся отделителем жидкости. Пар отсасывается компрессором, а жидкий агент, собравшийся снизу, подогревается жидкостью аккумулятора и превращается в пар.

На рис. 116, г приведена схема, в которой жидкий агент в период оттаивания из испарителя попадает в конденсатор, где превращается

в пар в результате подогрева водой. Эту схему называют также реверсивной: в период оттаивания холодильная машина превращается в тепловой насос, который отводит тепло от окружающей среды (от воды конденсатора) и отдает его через испаритель охлаждаемой камере. Изменение направления потока жидкости и газов осуществляется четырехходовым краном (см. рис. 92), который по команде программного реле или дифференциального реле температуры поворачивается на 90°. Движение агента в период оттаивания показано на схеме пунктиром. Параллельно регулирующим вентилям 1РВ и 2РВ установлены обратные клапаны.

Все способы оттаивания горячим паром имеют одну особенность: оттаивание происходит настолько быстро, что вследствие тепловой инерции объекта температура в нем не успевает существенно подняться. Трубопровод подачи горячего пара следует прокладывать рядом со сливной трубкой и обогревать им поддон (см. рис. 116, в), чтобы образующийся после удаления инея конденсат не замерзал в этих местах.

В крупных установках конденсат из испарителя через поплавковый вентиль высокого давления сливают в дренажный ресивер.

Широко применяют схемы с наружным обогревом испарителя, используя для этого ТЭНы (трубчатые электронагреватели), змеевики с подачей горячего пара или теплую воду, которой орошают охлаждающие батареи. Программное реле или другой датчик останавливает при этом компрессор и вентилятор, включая соответствующее обогревательное устройство. В рассольных батареях для удаления инея обычно используют рассол, подогреваемый в отдельном баке. При оттаивании закрываются вентили подачи холодного рассола и открываются вентили подачи теплого.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОТДЕЛЕНИЯ И ВЫПУСКА ВОЗДУХА ИЗ СИСТЕМЫ

В холодильных машинах с низкой температурой кипения давление всасывания может быть ниже атмосферного, при этом из-за неплотности соединений в систему проникает воздух. Он собирается в конденсаторе и вызывает повышение давления. Для удаления воздуха смесь его с паром хладагента отводят в воздухоотделитель. Здесь паровая смесь охлаждается кипящим холодильным агентом при низком давлении. Пар агента конденсируется, а воздух выпускают в атмосферу. В крупных установках (холодопроизводительностью 500 кВт и выше) применяют автоматические воздухоотделители.

Воздухоотделитель АВ-2. Воздушно-аммиачная смесь из нижней части конденсатора (или из ресивера) через вентиль В1 (рис. 117, а) подается в змеевик 5. Змеевик находится в сосуде 2, в котором жидкий аммиак кипит при низком давлении. Уровень аммиака в сосуде 2 автоматически поддерживается двухпозиционным регулятором уровня 1РУ. При охлаждении смеси в змеевике 5 пар аммиака конденсируется и жидкость стекает в нижнюю часть наружного сосуда 1, постепенно заполняя межтрубное пространство, так как давление насыщенного пара в нем вследствие охлаждения ниже, чем в конденсаторе.

Для лучшего отделения аммиака воздух из наружного сосуда 1

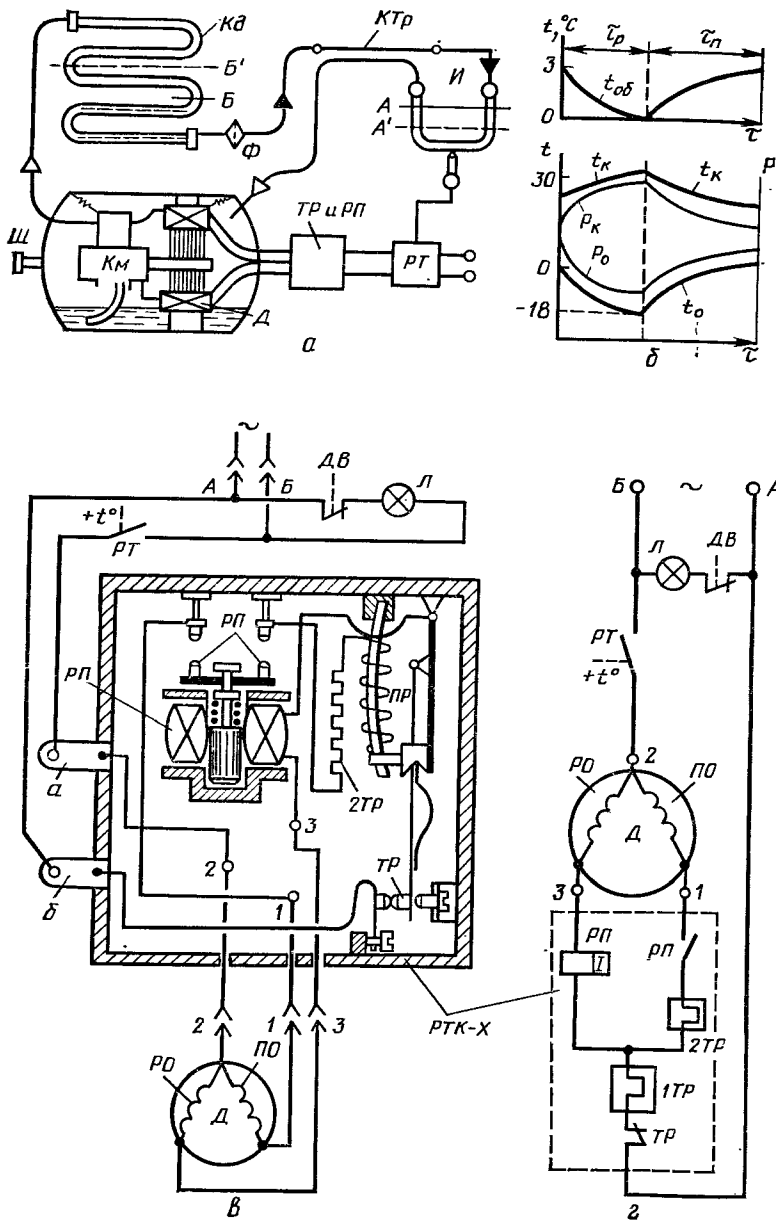


Рис. 124. Схема автоматизации домашнего компрессионного холодильника:

а — технологическая; *б* — график изменения параметров за цикл работы; *в* — электрическая монтажная схема; *г* — принципиальная электрическая

T110 (см. рис. 71), чувствительный элемент которого крепится к испарителю. При поддержании температуры испарителя t_0 от 0 до -18°C температура в шкафу поддерживается соответственно примерно от 3 до 0°C . О недостатках и преимуществах косвенного регулирования указывалось в § 25.

Пуск компрессора рассмотрим по принципиальной электрической схеме (рис. 124, з). Двигатель компрессора D имеет рабочую обмотку PO и пусковую $ПО$, которая должна подключаться на долю секунды только для раскрутки двигателя. При замыкании контакта реле температуры PT ток пройдет только через рабочую обмотку (по цепи: $B, PT, PO, PP, 1TP, TP, A$). Одна обмотка не может раскрутить ротор двигателя, и сила тока становится в 4—5 раз выше номинальной. Катушка пускового реле PP втягивает сердечник, замыкая контакт пускового реле PP и подключая при этом пусковую обмотку. Ротор раскручивается, сила тока падает, и контакт PP под действием пружины размыкается, отключая пусковую обмотку.

Защита двигателя от перегрузки осуществляется тепловым реле. При длительной токовой перегрузке нагревается спираль $1TP$ и биметаллическая пластина, прогибаясь, размыкает контакт TP . Компрессор останавливается. Через несколько минут нагреватель остывает, контакт TP замыкается и компрессор включается. Второй нагревательный элемент $2TP$ установлен только для защиты пусковой обмотки. Если $ПО$ контактом PP не отключится, то при нагреве $2TP$ контакт TP также разомкнется и компрессор остановится.

Дверной выключатель $ДВ$ при закрывании дверки размыкается и отключает в шкафу лампочку L . Оттаивание испарителя по этой схеме осуществляют вручную: примерно один раз в неделю отключают холодильник, установив в испаритель сосуд с горячей водой.

Пусковое и тепловое реле смонтированы в РТК-Х.

Только после уяснения пуска компрессора по принципиальной электросхеме проследите цепи прохождения тока по монтажной схеме (см. рис. 124, в). Обратите внимание на номера клемм, к которым подключаются рабочая обмотка, пусковая и общий конец (3, 1 и 2).

Многие модели домашних холодильников имеют полуавтоматическое оттаивание (рис. 125). Реле температуры оттайки

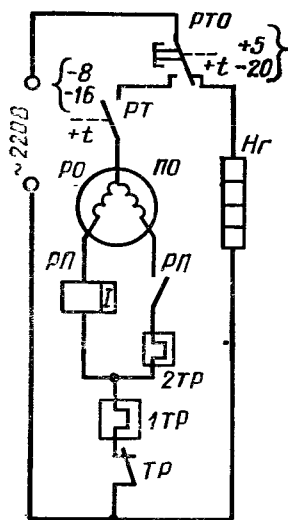


Рис. 125. Схема домашнего холодильника с полуавтоматической оттайкой

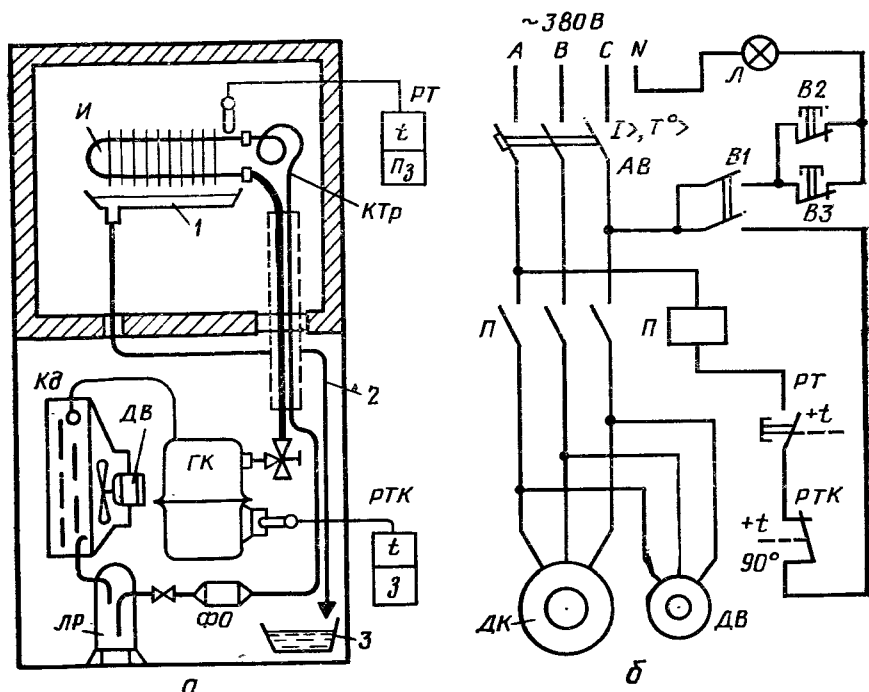


Рис. 127. Холодильный шкаф ШХ-08М с агрегатом ВС500:
 а — шкаф с агрегатом; б — электрическая принципиальная схема

ратуру испарителя и имеет кнопку для отключения компрессора и естественного оттаивания. При повышении температуры испарителя до 4—6 °С контакт РТХО снова включает компрессор.

Холодильное оборудование с трехфазным двигателем. Большинство холодильных шкафов и прилавков комплектуется герметичными агрегатами с трехфазным двигателем.

Заполнение испарителя часто осуществляется через капиллярную трубку *КТр* (рис. 127, а). Однако при наличии ресивера регулировать заполнение испарителя лучше при помощи ТРВ (см. § 26, рис. 111).

Температура в шкафу регулируется пуском и остановкой компрессора от реле температуры испарителя *РТ*, управляющего катушкой магнитного пускателя *П* (рис. 127, б).

Для защиты компрессора от перегрева в кожухе его устанавливают реле температуры *РТК*, которое при 85—95 °С размыкает свои контакты и останавливает компрессор. При охлаждении кожуха до 40 °С компрессор снова включается.

Для защиты сети от короткого замыкания и электродвигателя от токовой перегрузки в силовой цепи установлен автомат *АВ*. Он же служит кнопочным рубильником. При 12-кратной перегрузке (ток короткого замыкания) отключение происходит

почти мгновенно. При длительной токовой перегрузке срабатывает тепловая защита автомата. Для повторного включения автомата типа АП50 надо через 10—15 мин после срабатывания нажать на кнопку. В автоматах типа АЕ2036 надо опустить рукоятку вниз, а затем вверх.

При закрывании обеих дверей выключатели *В2* и *В3* гасят лампочку *Л* в шкафу. Порядок пуска шкафа и автоматическую его работу проследите по электросхеме самостоятельно. Для временной остановки герметичного компрессора *ГК* лучше пользоваться выключателем *В1*, а не автоматом *АВ*. При напряжении в сети 220 В надо заменить автомат *АВ* и катушку *П* на 220 В, а обмотки электродвигателей переключить с звезды на треугольник. Для этого три перемычки на клеммных колодках двигателей надо снять и закрепить их вертикально.

Для оттаивания испарителя у реле температуры *РТ* (типа РТХО, см. рис. 73) имеется кнопка. При нажатии кнопки агрегат отключается и стоит, пока температура испарителя не повысится до 4—6 °С (т. е. иней оттает). Только тогда включается компрессор. Вода с испарителя при оттаивании стекает в поддон *1* и по резиновой трубке *2* в сосуд *3*.

Малые холодильные машины с открытыми и бессальниковыми компрессорами

Машины холодопроизводительностью от 1,3 до 15 кВт в основном предназначены для охлаждения одной—четырех камер общей площадью 12—90 м² до —2÷+4 °С или для охлаждения одной-двух низкотемпературных камер (до —15÷—18 °С) общей площадью 6—20 м².

Эти машины рассчитаны на непосредственное охлаждение камер настенными ребристыми испарителями, заполнение которых регулируется по перегреву пара на выходе испарителя при помощи ТРВ.

Давление в испарителе автоматически поддерживается включением и остановкой компрессора от реле низкого давления *РД_н*. При охлаждении одной-двух камер это косвенно обеспечивает поддержание в них заданной температуры.

При охлаждении трех-четырех камер предусматривают раздельное регулирование в каждой камере. Установленные в камерах реле температуры периодически открывают и закрывают соленоидные вентили на линии подачи жидкого хладагента (установленные перед ТРВ).

В машинах с водяным охлаждением конденсатора предусматривают автоматическое регулирование давления в конденсаторе. В последнее время во многих схемах предусматривают автоматическое оттаивание испарителей горячим паром.

Автоматическая защита обеспечивает отключение компрессора:

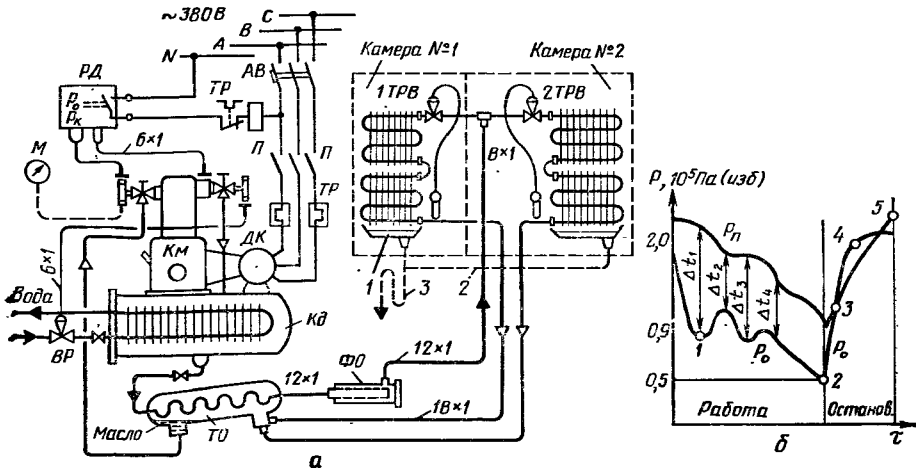


Рис. 128. Схема холодильной машины с агрегатом АКФВ4М (а); взаимодействие работы ТРВ и РД_к (б)

при высоком давлении нагнетания: $(10 \div 10,5) 10^5$ Па (по манометру) для R12 и $(14 \div 14,5) 10^5$ Па для R22 (R502);

при токовой перегрузке электродвигателя (через 30 мин при перегрузке 35% и не более чем за 10—40 с при 4-кратной перегрузке, когда двигатель при включении не раскручивается из-за отсутствия одной фазы);

в случае короткого замыкания;

при перегреве обмоток бессальникового компрессора.

Иногда дополнительно предусматривают профилактическую защиту: остановку компрессора при снижении давления воды в конденсаторе, при достижении заданной температуры одновременно во все трех (четырёх) камерах и дополнительную сигнализацию.

В зависимости от схемы могут иметься и дополнительные особенности автоматизации. Рассмотрим типовые схемы на конкретных примерах.

Схема холодильной машины с агрегатом АКФВ4М. Эту машину обычно используют для охлаждения двух камер (рис. 128, а) общей площадью 20—30 м² до температуры $-2 \div +4$ °С.

Жидкий R12 из конденсатора Кд поступает в теплообменник ТО, где охлаждается холодными парами, и через фильтр-осушитель ФО подается в испарители. В каждой камере имеется по два испарителя, заполнение которых регулируется при помощи ТРВ-2М. Пары из испарителя отсасываются компрессором.

Заданное давление в испарителе, обеспечивающее температуру в более холодной камере от -2 до 0 °С, достигается включением и остановкой компрессора от реле давления РД

(типа Д220-11), сторона низкого давления которого подключена к тройнику всасывающего вентиля. РД настраивают на выключение при $p_0 = 0,5 \cdot 10^5$ Па (по манометру) и включение при $p_0 = 2 \cdot 10^5$ Па. Более высокая температура по второй камере (4—6 °С) достигается уменьшением заполнения испарителей: ТРВ настраивают на более высокий перегрев.

Давление в конденсаторе автоматически поддерживается водорегулирующим вентилем примерно $(6 \div 7) 10^5$ Па (по манометру).

Сторону высокого давления РД настраивают на отключение компрессора при $(10 \div 10,5) 10^5$ Па (по манометру).

Автомат АВ (типа АП50-3МТ) защищает электродвигатель от токовой перегрузки и сеть от короткого замыкания. Тепловое реле ТР в магнитном пускателе П (типа ПМЕ-222) дублирует защиту электродвигателя от перегрузки. Например, при запуске компрессора на двух фазах тепловая защита в АП50 должна отключить двигатель за 10—15 с, а тепловая защита в магнитном пускателе — за 30—40 с.

Наклон теплообменника ТО автоматически обеспечивает возврат масла в картер компрессора.

Для оттаивания испарителей компрессор отключают (вручную). Камера теплеет до 4—5 °С. Конденсат собирается в поддон 1 и по резиновой трубке 2 через гидравлический затвор 3 сливается в канализацию. Ручная оттайка — существенный недостаток схемы.

Особое внимание в этой схеме следует обратить на совместную работу ТРВ и РД_н (рис. 128, б). При циклической работе компрессора к моменту его включения давление в испарителе p_0 примерно выравнивается с давлением в термобаллоне ТРВ ($p_{т6}$). После включения компрессора давление в испарителе резко падает, а давление $p_{т6}$ почти не изменяется, так как он не успевает охладиться. Разность давлений $p_{т6} - p_0$ возрастает (и соответствующий перегрев Δt_1), и в точке 1 клапан ТРВ резко открывается. Подача жидкости в первый момент превышает производительность компрессора; давление в испарителе немного повышается, а термобаллон охлаждается, и $p_{т6}$ падает; перегрев упадет до значения Δt_2 , и подача через ТРВ уменьшится. Вспомните причину колебаний перегрева при пуске компрессора (см. § 26, рис. 110).

В данной схеме во избежание остановки компрессора до момента открытия ТРВ реле давления надо настраивать так, чтобы давление всасывания в момент отключения (точка 2) было хотя бы на $(0,3 \div 0,4) 10^5$ Па ниже, чем давление в момент открытия ТРВ (точка 1).

После остановки компрессора давление в испарителе быстро возрастает, так как кипение R12 продолжается; перегрев становится равным нулю (точка 3), и ТРВ закрывается. Но когда весь оставшийся в испарителе хладагент сольется в картер компрессора и превратится в пар (точка 4), давление начнет

повышаться очень медленно; при этом температура чувствительного патрона постепенно возрастает, и к моменту пуска компрессора давление в патроне (точка 5) становится выше, чем в испарителе. При длительной остановке этот перегрев может открыть ТРВ и жидкость переполнит испаритель. Поэтому, когда машина рассчитана на работу с длительными остановками, перед ТРВ устанавливают соленоидный клапан, который закрывает проход жидкости после остановки компрессора.

Машины с воздушным охлаждением конденсатора (типов ФАК, МВВ) имеют такую же схему автоматизации, только отсутствует водорегулирующий клапан.

Схема машины МКВ4-1-2. Машина МКВ4-1-2, как и другие машины с агрегатом АВФВ4, предназначена для охлаждения двух камер. Температура в холодной камере поддерживается включением и остановкой компрессора от камерного реле температуры *РТ* (рис. 129), а в другой — степенью заполнения испарителя, т. е. настройкой ТРВ на больший перегрев.

Реле давления *РД* служит только для защиты от высокого давления нагнетания и от вакуума в испарителе. На рис. 129 показан вариант с автоматической оттайкой испарителя горячим паром.

При включении автоматического выключателя *АВ* подготавливается силовая цепь и подается питание в цепи управления (при напряжении 380 В — фаза *С* и ноль *N*); загорается лам-

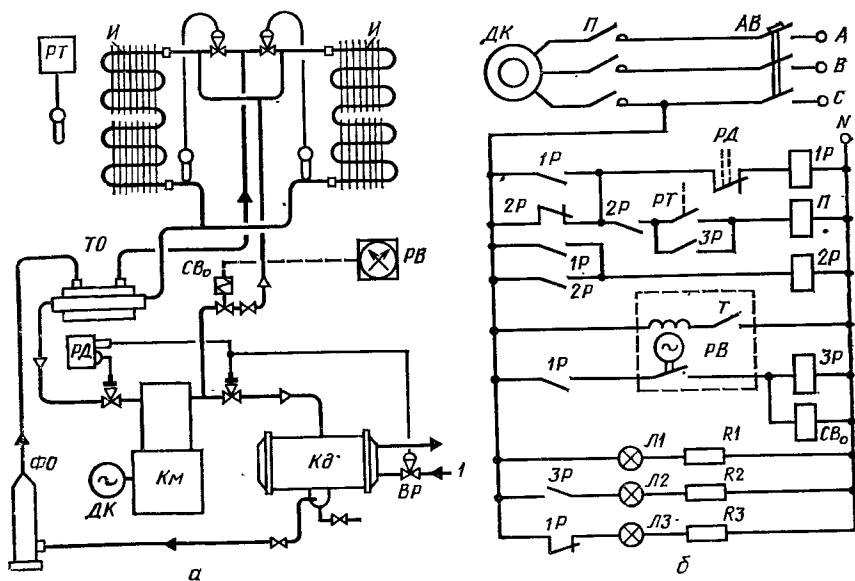


Рис. 129. Схема холодильной машины МКВ4-1-2 с автоматическим оттаиванием:

а — технологическая; *б* — электрическая

почка *Л1* («Напряжение подано»). Через замкнутый контакт *2P* включается реле защиты *1P*. Одним своим контактом оно становится на самопитание, а другим включает реле *2P*. Реле *2P* также становится на самопитание, замыкая своим контактом *2P* подготавливает цепь катушки пускателя компрессора *П*, а размыкающий контакт *2P* разрывает цепь, шунтирующую контакт *1P* в цепи реле *1P*.

Реле температуры *РТ* включает и останавливает компрессор. При нажатом тумблере *Т* реле времени *РВ* один или два раза в сутки на 30—40 мин включает соленоидный вентиль *СВ₀* для подачи горячего пара в испарители (минуя *ТРВ*) и реле *3P*, которое одним контактом шунтирует *РТ*, чтобы компрессор включился даже при разомкнутых контактах *РТ*, а другим включает лампочку *Л2* («Оттаивание»).

При срабатывании *РД* реле *1P* отключается. Контакт *1P* отключает пускатель *П*, снимает самопитание *1P*. После того как давление станет нормальным (контакт *РД* замкнется), машина сама не включится: параллельные контакты *1P* и *2P* в цепи *П* разомкнуты. Для повторного пуска надо отключить и снова включить *АВ*, компрессор включится, а лампочка *Л3* («Авария») погаснет.

Схема обеспечивает самозапуск машины после снятия и последующей подачи напряжения сети.

Схема сборной низкотемпературной камеры типа **КХН**. Камера **КХН-2-6СМ** площадью 6 м² (рис. 130, *а*), рассчитанная на температуру —13÷—15 °С, комплектуется двумя отдельно стоящими агрегатами **ВСэ1250** (с экранированным компрессором). Воздухоохладитель *ВО* имеет две отдельные секции. Каждый агрегат охлаждает свою секцию. Использование двух агрегатов вместо одного (большей холодопроизводительности) повышает надежность установки, так как при средних теплопритоках один агрегат при непрерывной работе почти обеспечивает требуемую температуру.

Для автоматического регулирования заполнения испарителя на каждой секции имеется *ТРВ*. Отделитель жидкости *ОЖ* позволяет заполнять испаритель почти на 100% (поддерживая перегрев 1—2 °С), так как при переливе жидкий **R22** и нерастворенное в нем масло собираются в *ОЖ*. Пар из верхней части *ОЖ* по U-образной трубке засасывается компрессором. В нижней части U-образной трубки имеются отверстия, через которые масло подсасывается проходящим по трубке паром и возвращается в картер.

Температуру в камере автоматически поддерживает реле температуры *РТ*, которое при заданных температурах включает и останавливает одновременно два компрессора.

Автоматическое оттаивание испарителей осуществляется при помощи реле времени и температуры *РВТ*, которое в зависимости от быстроты нарастания инея может быть установлено на оттайку через каждые 8, 12 или 24 ч. При включении сило-

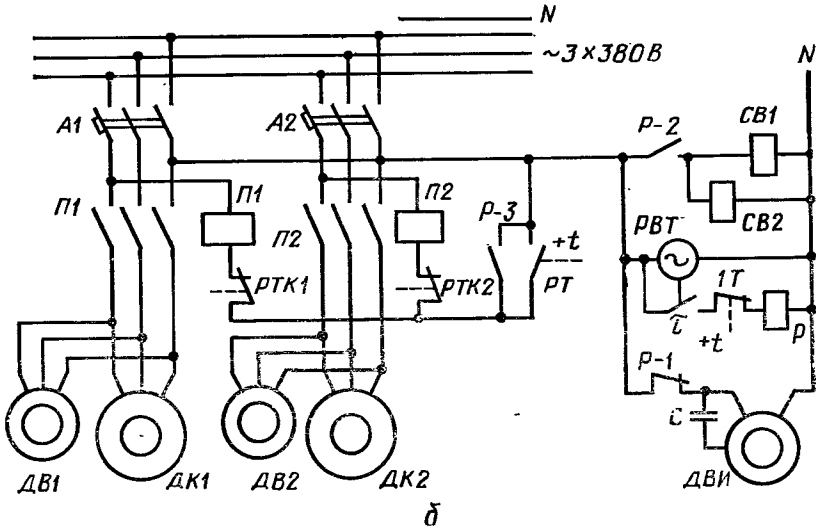
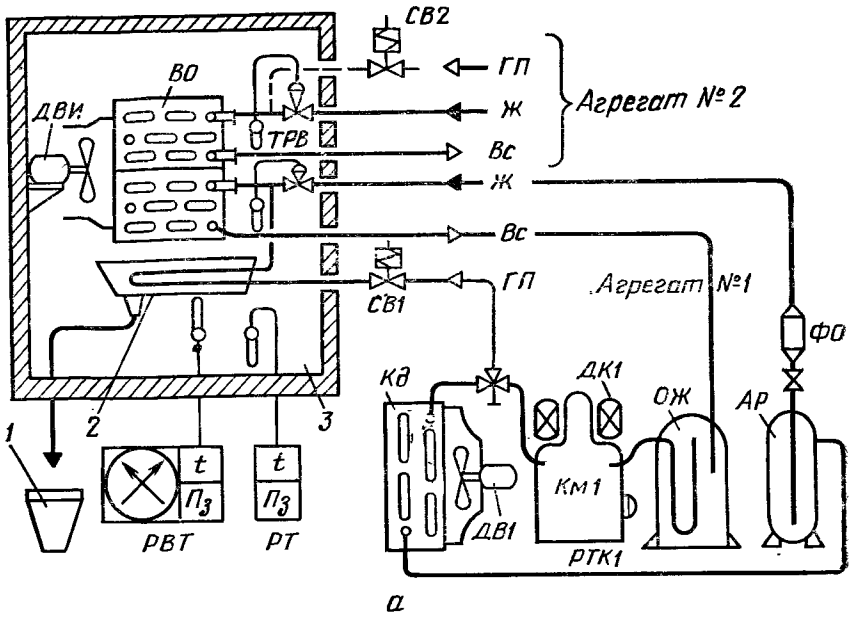


Рис. 130. Схема сборной низкотемпературной камеры типа КХН:
 а — технологическая; б — электрическая

вых цепей автоматом *A1* и *A2* начинает работать синхронный двигатель *PBT* (рис. 130, б). Через заданное время (например, 8 ч) *PBT* контактом τ включает промежуточное реле *P*, которое контактом *P-1* отключает вентилятор испарителя *ДВИ*, контактом *P-3* шунтирует реле температуры *РТ*, чтобы компрессор работал, даже если в камере достигнута заданная температура; и контактом *P-2* открывает соленоидные вентили *СВ1* и *СВ2*, через которые компрессоры подают сжатый горячий пар прямо в секции испарителей (минуя конденсатор и *ТРВ*). При этом иней оттаивает, вода собирается в поддоне 2 и по трубке стекает в сосуд 1, расположенный снаружи камеры 3. Чтобы вода не замерзала в поддоне 2, имеется змеевик, через который от одного агрегата проходит горячий пар. Жидкий *R22*, образовавшийся при частичной конденсации пара в испарителе во время оттайки, сливается в отделитель жидкости, где постепенно испаряется и отсасывается компрессором. После оттаивания, когда температура испарителя и поддона повысится до 4—6 °С, реле температуры *ДТ* (типа «+»), поставляемое с *PBT*, отключает реле *P* и машина начинает работать на холод. Если *ДТ* не сработал, то через заданное время (~50 мин) *PBT* все равно закончит цикл оттаивания и включит машину на холод.

Установки для охлаждения трех-четырёх камер. Типовая схема машины для охлаждения трех камер показана на рис. 131, а. В каждой камере установлено по четыре испарителя. Заполнение испарителей регулируется по перегреву: на каждые два испарителя ставит *ТРВ-2М*.

Для регулирования температуры в каждой камере имеется реле температуры (*1РТ—3РТ*), которое при достижении заданной температуры отключает соленоидный вентиль, питающий одну пару испарителей. При достижении заданной температуры во всех трех камерах (*1СВ—3СВ* закрыты) должен остановиться компрессор и отключиться общий соленоидный вентиль *АСВ*.

Защита от высокого давления нагнетания и от пониженного давления в испарителе осуществляется двублочным реле давления *РД*. Защиту от короткого замыкания и от перегрузки осуществляет автоматический выключатель *АВ* (типа *АП50*). Дополнительная тепловая защита (*1ТР* и *2ТР*) имеет в магнитном пускателе двигателя компрессора *ДК* и силовой цепи двигателя вентилятора *ДВ*.

Взаимодействие приборов управления и защиты при автоматической работе проследим по рис. 131, б. Подключите цепь управления к двум фазам самостоятельно.

Для пуска установки надо кнопкой включить автоматический выключатель *АВ* и тумблеры *1Т—3Т* для подготовки регулирования температуры в камерах № 1—3. При этом включается только реле защиты *5Р* (по цепи: фаза *С*, *Пр*, *4Р*, *РД*, *2ТР*, *1ТР*, *5Р*, *Н*). Реле *5Р* одним контактом включит промежу-

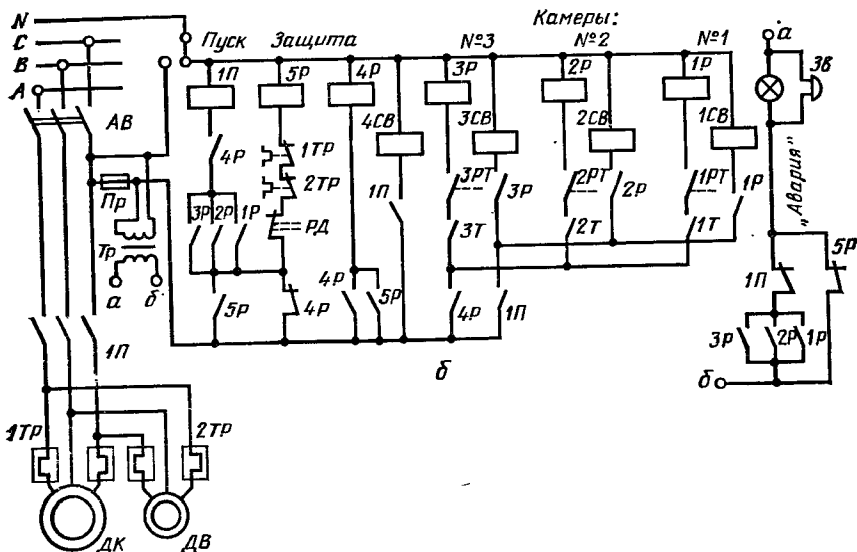
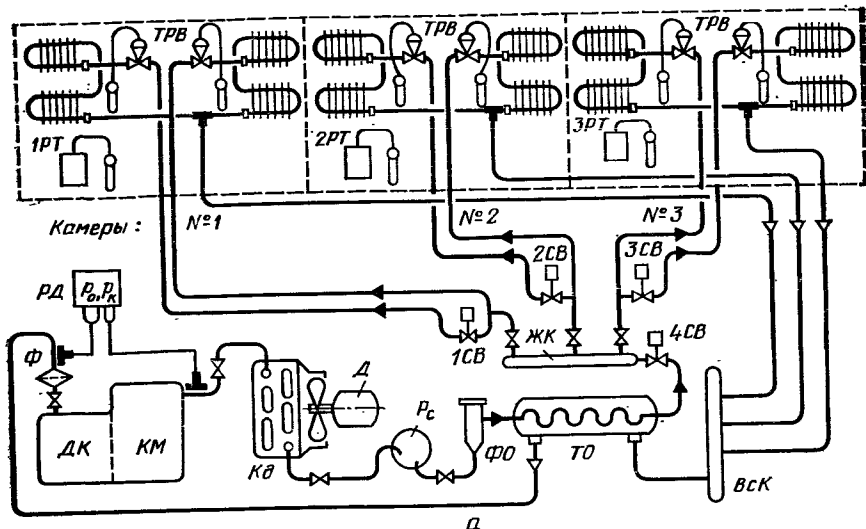


Рис. 131. Схема автоматизации машины ХМВ1-6:
 а — технологическая; б — электрическая

точное реле 4Р, а другим подготовит цепи катушки пускателя 1П и самопитание. Разомкнувшийся контакт 5Р отключит аварийную сигнализацию (лампочку Л и звонок Зв). Реле 4Р своими контактами встанет на самопитание, подготовит цепи включения реле 3Р—1Р и пуска 1П, а разомкнувшимся контактом 4Р оставит цепь реле 5Р только на самопитании.

Если температура хотя бы в одной из камер (например, № 1) выше допустимой, то замкнувшийся контакт реле температуры *1PT* включает промежуточное реле *1P*, которое одним контактом подготавливает включение соленоидного вентиля *1CB*, а другим включает пускатель компрессора *1П*. Три главных контакта пускателя *1П* включают двигатели компрессора и вентилятора (силовая цепь), а блок-контакты *1П* включают цепь питания соленоидных вентилях *1CB—3CB* и общий соленоидный вентиль *4CB*. Компрессор работает, и жидкий R12 поступает во все испарители камеры № 1 (*1CB* и *4CB* открыты).

При достижении заданной температуры в первой камере *1PT* отключит *1P*, а следовательно, и *1CB*. При этом отключаются только два испарителя камеры № 1. Два других продолжают работать. Отключение сразу всех испарителей вызвало бы большее колебание температуры в камере и общее снижение давления всасывания (менее экономичный режим). При достижении заданной температуры одновременно во всех камерах контакты *1P*, *2P* и *3P* разомкнут цепь пускателя *1П* и компрессор остановится. Соленоидные вентили *1CB—3CB* и *4CB* закроются.

При срабатывании приборов защиты (*РД*, *1ТР*, *2ТР*) отключается реле *5P*, которое отключит пускатель *1П* и включит аварийную сигнализацию. После прекращения опасного режима сработавший контакт прибора защиты снова замкнется, но реле *5P* уже самопроизвольно не включится, так как контакты *4P* и *5P* в цепи реле *5P* разомкнуты. Для повторного пуска машины надо отключить автомат *АВ* (обесточив реле *4P*) и снова его включить.

Сигнал «Авария» включается также в случае остановки компрессора, когда в одной из трех камер температура выше допустимой (замкнут контакт *1П* и один из контактов *1P—3P*).

Цепь сигнализации питается от трансформатора *Tr* напряжением 36 В.

Схемой предусмотрен автоматический запуск включенной машины при исчезновении и повторном появлении напряжения в сети. Проследите по схеме, как при этом включится холодильная машина.

Схема охлаждения трех камер с автоматическим оттаиванием. Схема охлаждения трех-четырех низкотемпературных камер машиной МКВ4, 5-2-4 с отдельным регулированием температуры в каждой камере показана на рис. 132. Жидкий R22 из конденсатора *Kд* через фильтр-осушитель *ФО* и смотровое стекло *4* поступает в теплообменник *ТО*, где охлаждается всасываемым в компрессор паром и через терморегулирующие вентили *3* подается в испарители *И* или воздухоохладители *1ВО* и *2ВО*. Пары из испарителя немного подогреваются в теплообменнике *ТО*, а затем теплом нагретых обмоток статора электродвигателя компрессора *ДК*. Непосредственное всасыва-

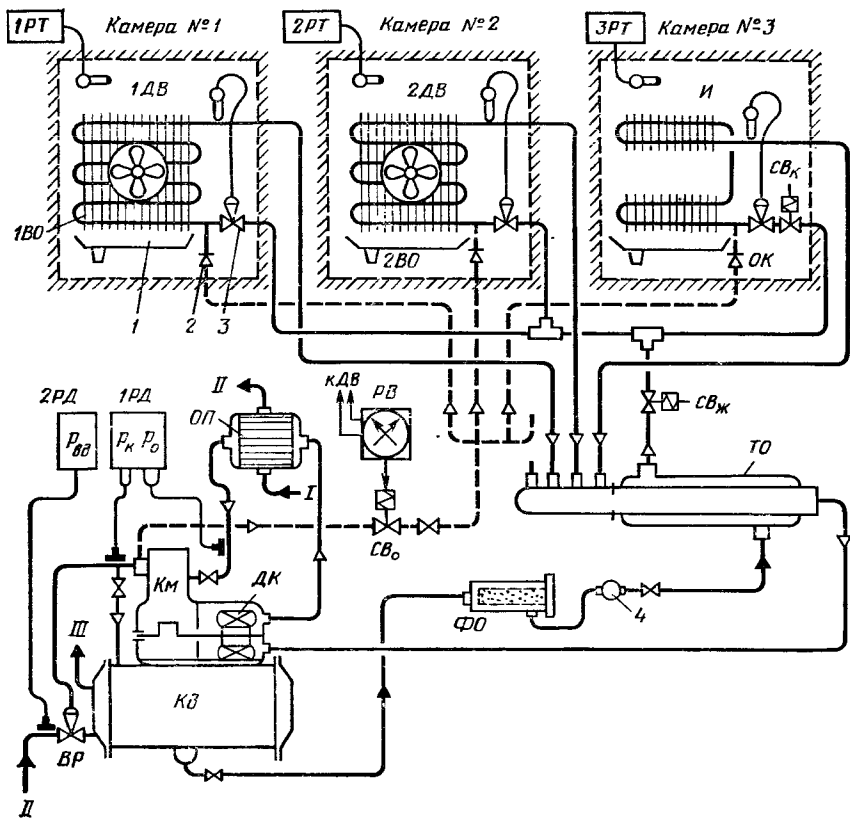


Рис. 132. Схема охлаждения трех-четырех камер машиной МКВ4,5-2-4

ние этих перегретых паров компрессором привело бы к слишком высокой температуре в конце сжатия. Поэтому перед всасыванием в компрессор горячие пары охлаждаются водой в охладителе пара ОП и только после этого всасываются компрессором.

Автоматическое поддержание температуры в камерах осуществляется при помощи реле температуры 1РТ—3РТ, которые при достижении заданных температур отключают двигатели вентиляторов воздухоохладителей (1ДВ, 2ДВ) в камерах №1 и 2 или прекращают подачу жидкого R22 в испарители И, закрывая соленоидный клапан СВк (в камере №3). При установке в камерах 4—6 испарительных батарей лучше отключать не все испарители, а только половину их.

При опасном давлении в конденсаторе [$p_k = (14 \div 15) 10^5 \text{ Па}$] и пониженном — в испарителе компрессор отключается реле 1РД, а при снижении давления воды — 2РД.

Автоматическое оттаивание испарителей горячим паром производится одновременно во всех камерах один-два раза в сутки

в течение 40—50 мин. По команде реле времени *PВ* открывается соленоидный вентиль подачи горячего пара *СВ*₀ и останавливаются двигатели вентиляторов воздухоохладителей *1ДВ* и *2ДВ*. Горячий пар, минуя ТРВ (*З*), через обратные клапаны *ОК* (*2*) поступает в воздухоохладители *1ВО*, *2ВО* и испаритель *И*. Талая вода стекает в поддон *1* и по резиновым трубкам удаляется в канализацию.

Благодаря нижней подаче хладагента в испарители горячий пар прогревает поддон *1*, исключая накопление в нем льда. Кроме того, исключается работа компрессора влажным ходом в начальный период оттаивания. Нижняя подача также обеспечивает равномерное распределение хладагента по секциям воздухоохладителя (не требуется распределитель жидкости после ТРВ).

Составьте самостоятельно принципиальную электрическую схему автоматизации этой машины. Для этого используйте электрическую схему машины ХМВ1-6 (см. рис. 131, б). Подключите программное реле времени *PВ*, чтобы его контакт раз в сутки включал промежуточное реле оттаивания *РО*. Контакт этого реле *РО-1* должен включать соленоидный вентиль *СВ*₀; контакт *РО-2* — шунтировать контакты *ЗР-1Р* в цепи пускателя *1П* (чтобы компрессор работал, даже если во всех камерах достигнута заданная температура); контакт *РО-3* (нормальнозамкнутый) должен отключать питание катушек пускателей двигателей вентиляторов *1ДВ* и *2ДВ*, чтобы при оттайке камеры быстро не отеплялись (катушки пускателей *1ДВ*, *2ДВ* заменят катушки *1СВ* и *2СВ*).

§ 38. АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВОК СРЕДНЕЙ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Машины средней холодопроизводительности (от 20 до 100 кВт) применяют в основном в установках с рассольным охлаждением нескольких камер или для охлаждения воды в установках кондиционирования воздуха. Они работают на R12, R22, и еще продолжают выпускать аммиачные машины.

Автоматизация установок с машинами на R12 и R22 и с рассольным охлаждением камер предусматривает:

регулирование температуры рассола на выходе из испарителя пуском и остановкой компрессора от реле температуры или путем электромагнитного отжима всасывающих клапанов (марки машин с регулируемой производительностью имеют в конце нечетную цифру: 1, 3 или 5 в зависимости от режима, например МКТ40-2-1 или МКТ80-2-1);

раздельное регулирование температуры в каждой камере (реле температуры управляют соленоидными вентилями на подаче рассола);

регулирование заполнения испарителя (ТРВ с внешним отбором или реле разности температур РРТ в комплекте с СВ);

регулирование давления конденсации (ВРВ) или прекращение подачи воды при остановке компрессора;

защиту от высокого давления в конденсаторе и низкого давления в испарителе (двухблочное реле давления);

защиту от недостаточного давления масла, подаваемого маслонасосом;

защиту электродвигателей от токовой перегрузки (тепловые реле в автоматах и магнитных пускателях) и от короткого замыкания; электродвигатели бессальниковых компрессоров имеют еще защиту от превышения допустимой температуры обмоток;

блокировку, т. е. остановку насоса при достижении заданной температуры во всех камерах и остановку компрессора при остановке насоса;

общую или дифференцированную аварийную сигнализацию.

В установках кондиционирования воздуха во избежание замерзания воды в испарителе кроме защиты от низкого давления и отключения компрессора при остановке насоса предусматривают еще остановку компрессора при уменьшении протока воды через испаритель (струйное реле или реле протока) или при понижении температуры испарителя до $1-2^{\circ}\text{C}$ (датчик реле температуры встраивают в испаритель). В последнее время для уменьшения опасности замерзания воды применяют испарители с кипением R22 внутри трубок. Дополнительная защита от замерзания при этом не требуется.

На аммиачных установках предусмотрена защита от влажного хода: на отделителе жидкости устанавливают два аварийных реле уровня (см. главу 8). Для защиты от опасной концентрации аммиака целесообразно ставить реле СКА-1 (см. рис. 100).

Во всех установках желательно максимально автоматизировать процесс оттаивания испарителей.

Рассмотрим типовую схему работы машины с рассольным охлаждением трех камер (рис. 133, а). Отопленный в камерах рассол (хлористый кальций или этиленгликоль) насосом *ИН* подается в испаритель *И*, где охлаждается на $2-3^{\circ}\text{C}$ кипящим при низком давлении хладоном-12 и температурой $t_{p2} = -10 \div -12^{\circ}\text{C}$ снова поступает в камеры. Пары R12 через теплообменник *ТО* отсасываются компрессором и сжимаются до давления в конденсаторе $(6 \div 7) 10^5$ Па. Охлаждаясь водой, пары R12 конденсируются, сливаются в ресивер *ЛР* и, охлаждаясь в теплообменнике, дросселируются в *ТРВ* и поступают в испаритель.

При остановке машины рассол теплеется. Уровень жидкости в расширительном бачке *РБ* увеличивается, и излишний рассол переливается в дополнительный бак *Б*, который используется при разведении рассола и при оттаивании рассольных батарей.

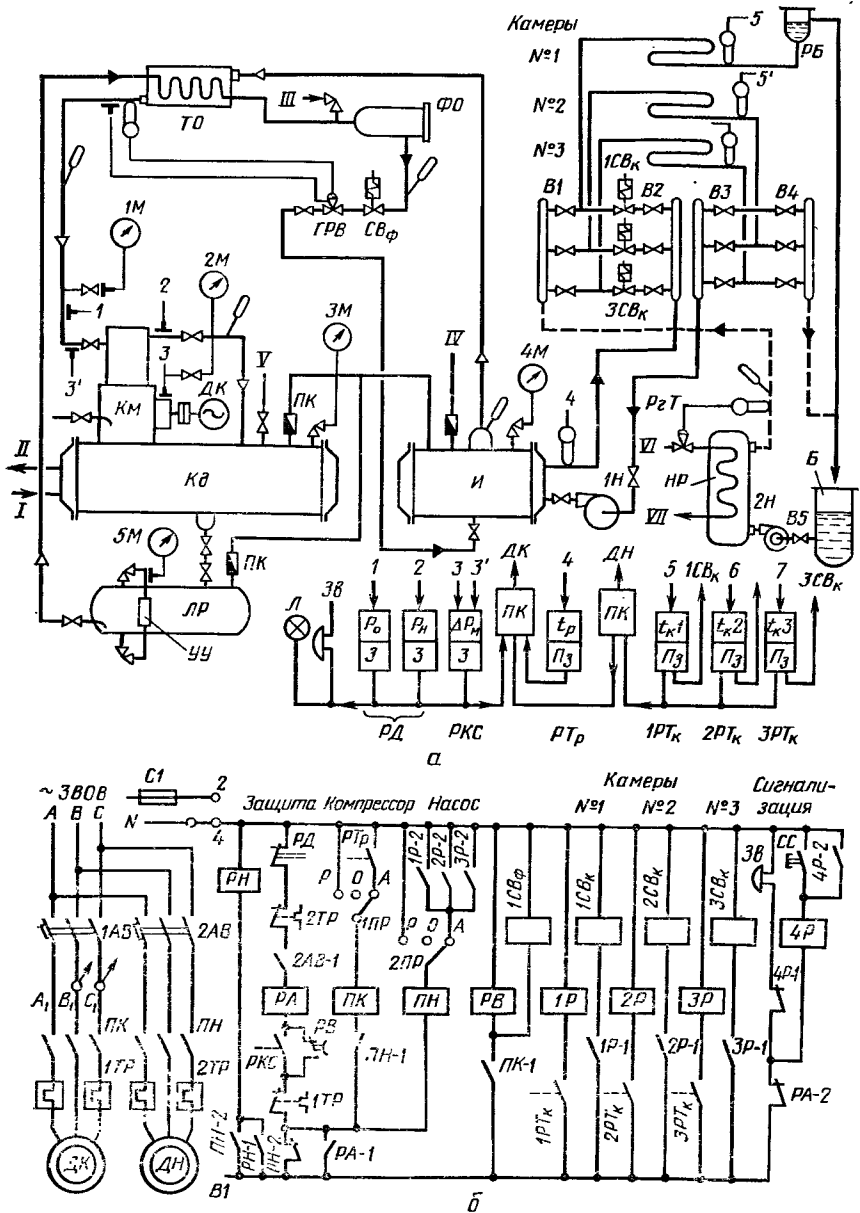


Рис. 133. Схема установки с тремя камерами с рассольным охлаждением фреоновой машины средней холодопроизводительности:
 а — технологическая; б — электрическая; I — вход воды на конденсатор; II — выход воды из конденсатора на градирню; III — зарядка хладагентом; IV — аварийный выпуск фреона; V — выпуск воздуха; VI и VII — подача и выход горячего пара

Для оттаивания одной из батарей (например, в камере № 1) надо закрыть подачу и отвод холодного рассола (вентили $B2$ и $B3$) и, открыв вентили $B1$, $B4$ и $B5$, включить насос $2H$. В нагревателе HP рассол подогревается проходящим по змеевику горячим паром или горячей водой до $35\text{--}40^\circ\text{C}$, через вентиль $B1$ поступает в батарею камеры № 1 и через $B4$ сливается в бак B , откуда снова забирается насосом. Составьте самостоятельно схему автоматизации оттаивания.

Автоматическое регулирование заполнения испарителей осуществляется при помощи TPB с внешним отбором. Чувствительный патрон TPB и уравнительную трубку для отбора давления кипения крепят на выходе пара из теплообменника. Установливая перегрев $12\text{--}15^\circ\text{C}$, обеспечивают 100% -ное заполнение испарителя и частичный выход жидкого $R12$ и масла из испарителя. $R12$ довыкипает в начале теплообменника, а оставшееся масло стекает в картер компрессора. При остановке машины соленоидный вентиль CB_ϕ (перед TPB) закрывается, надежно перекрывая подачу жидкости в испаритель.

Температура в каждой камере регулируется отдельно при помощи камерных реле температуры $1PT_k\text{--}3PT_k$, которые при достижении заданных температур с дифференциалом около 2°C открывают и закрывают соответствующие соленоидные вентили $1CB_k\text{--}3CB_k$. Это позволяет поддерживать в камерах разные температуры независимо от загрузки камер. Разность температур между наиболее холодной и теплой камерами не должна превышать $5\text{--}6^\circ\text{C}$.

Температура рассола на выходе из испарителя поддерживается автоматически включением и остановкой компрессора от реле температуры рассола PT_r , датчик которого 4 крепится на выходе из испарителя.

Температура горячего рассола при оттаивании испарителей автоматически поддерживается $35\text{--}40^\circ\text{C}$ регулятором температуры PzT , который при повышении температуры на выходе из нагревателя уменьшает подачу горячего пара или воды в нагреватель.

Для защиты машины от высокого давления нагнетания (выше $11 \cdot 10^5$ Па) и слишком низкого давления (ниже $0,5 \cdot 10^5$ Па по мановакуумметру $4M$) служит двухблочное реле давлений RD (типа $RD3-01$ или $D220$). При давлении ниже $0,5 \cdot 10^5$ Па из-за низкой температуры кипения возникает опасность замерзания рассола в трубках испарителя. Дополнительно для защиты от замерзания предусмотрена блокировка: при остановке насоса $1H$ должен остановиться компрессор.

Давление масла на выходе из маслонасоса должно быть на $2 \cdot 10^5$ Па выше давления всасывания. При разности давлений ниже $2 \cdot 10^5$ Па реле контроля смазки PKC останавливает компрессор.

Защиту электродвигателей от перегрузки осуществляют тепловые реле в магнитных пускателях и автоматических выключо-

чателях. Последние также защищают установку от токов короткого замыкания.

Взаимодействие приборов автоматического регулирования и защиты можно проследить по электросхеме (рис. 133, б). Для работы в режиме «Автоматика» переключатели *1ПР* и *2ПР* надо повернуть в положение *А* и включить автоматы *1АВ* и *2АВ*. С клеммы силовой цепи *В₁* (а при напряжении 220 В с клемм *В₁* и *С₁*) получит питание цепь управления. В цепи защиты (*В₁*, *РН₂*, *1ТР*, *РВ*, *РА*, *2АВ-1*, *2ТР*, *РД*, *Н*) сработает аварийное реле *РА* и контактом *РА-1* станет на самопитание и подготовит цепи катушек пускателей компрессора *ПК* и насоса *ПН*. Если температура хотя бы в одной из камер (например, № 1) выше заданной, то реле температуры *1РК_к* включит промежуточное реле *1Р*, которое контактом *1Р-1* откроет соленоидный вентиль подачи холодного рассола *1СВ_к*, а вторым контактом *1Р-2* включит пускатель насоса *ПН*. При этом контакт *ПН-2* включает реле напряжения *РН*, а контакт *ПН-1* подготовит цепь пускателя компрессора *ПК*.

Реле температуры *РТ_р* автоматически включает и останавливает компрессор, поддерживая заданную температуру рассола. При включении компрессора контакт *ПК-1* включает соленоидный вентиль подачи фреона *1СВ_ф* и реле времени *РВ*. Через 10—15 с контакт *РВ* в цепи защиты разомкнется, но к этому времени давление масла в компрессоре замкнет контакт *РКС* и цепь *РА* останется замкнутой.

При срабатывании прибора защиты (*РД*, *РКС*, *1ТР* или *2ТР*) обрывается цепь *РА*. Контакт *РА-1* останавливает компрессор и насос, а контакт *РА-2* включает аварийную сигнализацию. Выключить звонок *Зв* можно нажатием кнопки сброса сигнала *СС*. При этом реле *4Р* контактом *4Р-2* встанет на самопитание, а контактом *4Р-1* отключит звонок. Если после остановки компрессора контакты *РД* и тепловых реле замкнутся, то компрессор самопроизвольно не включится (разомкнуты контакты *РН-2* и *РА-1*). Для повторного пуска надо выключить и включить автомат *1АВ*. При этом снимется напряжение с реле *РН* и замкнувшийся контакт его *РН-2* подготовит повторный пуск установки. При ручном режиме (*Р*) компрессор и насос включаются независимо от температур рассола и камер. Приборы защиты продолжают выполнять свои функции.

Холодильные машины *МКТ40-2-1* и *МКТ80-2-1* выпускают с пультами *УК-74* или *А80* (см. главу 9) и с блоком регулирования холодопроизводительности (см. рис. 104).

§ 39. АВТОМАТИЗАЦИЯ КРУПНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Общие сведения

Крупные холодильные установки применяют в основном на производственных и распределительных холодильниках, для кондиционирования воздуха и для специальных целей (искус-

ственные катки, замораживание грунта при строительстве и т. д.).

На крупных установках используют как поршневые компрессоры типов П110, П220, так и винтовые — ВХ350. Автоматизация последних имеет и свои особенности.

На холодильниках емкостью 500—1500 т, имеющих 5—6 крупных камер, применяют в основном аммиачные безнасосные схемы с непосредственным охлаждением. На более крупных холодильниках с большим числом камер экономичнее применение насосно-циркуляционной системы, так как не требуются автоматические приборы (ТРВ) для заполнения испарителей (см. главу 1, рис. 14). Для фруктохранилищ широко применяют схемы с рассольным охлаждением (см. § 38), что позволяет зимой поддерживать нулевые температуры подогревом теплым рассолом.

Для камер хранения охлажденных продуктов (от -2 до $+2^{\circ}\text{C}$) и для камер мороженых грузов с температурой до -15°C применяют схемы одноступенчатого сжатия. На более крупных холодильниках, где температуру хранения мороженых грузов поддерживают равной -20°C , и для морозильных камер с температурой $-30 \div -40^{\circ}\text{C}$ применяют двухступенчатое сжатие.

Автоматическое регулирование температуры в камерах осуществляется двухпозиционным изменением подачи в батарею хладагента. В каждой камере имеется реле температуры, которое циклично включает и отключает соленоидный вентиль на входе в батарею. С возрастанием тепловой нагрузки увеличивается продолжительность открытия вентиля. Для регулирования температуры в 12—24 камерах применяют мосты КСМ4 и др. (см. рис. 79). Когда число камер велико (более 25—30), применяют многоточечные реле температуры АМУР-80 и М4.

Автоматическое регулирование температуры кипения обеспечивают согласованием общей холодопроизводительности всех компрессоров с суммарной тепловой нагрузкой. С увеличением нагрузки и температуры кипения реле давления или реле температуры подключают нужное число компрессоров или отдельных цилиндров по схеме статического или астатического многопозиционного регулирования (см. рис. 27—29). Увеличивается число компрессоров с регулируемой производительностью.

Заполнение испарителей в безнасосных схемах регулируется по перегреву при помощи ТРВ или реле разности температур, которое управляет соленоидным вентилем на входе в испаритель. В насосных схемах автоматически регулируют лишь общее количество жидкости в испарительной системе по уровню в циркуляционном ресивере.

Влажность воздуха в камерах на холодильниках обычно не регулируют. Во фруктовых холодильниках, где требуется высокая влажность при плюсовых температурах, применяют спе-

циальные увлажнители, которые периодически включаются от датчиков влажности, и только в отдельных случаях (в камерах хранения и созревания сыра, хранения сухофруктов и др.), когда требуется поддерживать относительную влажность 70—75%, применяют кондиционеры, в которых воздух осушается охлаждением до низкой температуры и затем подогревается.

Оттаивание инея с батареей обычно полуавтоматическое: нажатием кнопки отключают охлаждение и подают в батарею горячий пар, конденсат сливается в дренажный ресивер.

Автоматическая защита предусматривает остановку компрессора в следующих случаях:

- опасность попадания жидкого хладагента в компрессор;
- чрезмерное повышение давления нагнетания;
- понижение давления кипения;
- повышение температуры нагнетания;
- уменьшение разности давлений между нагнетательной ступенной масляного насоса и в картере;
- прекращение подачи воды в водяную рубашку;
- температура масла выше или ниже допустимой (для винтовых компрессоров);
- перегрузка электродвигателя;
- появление токов короткого замыкания;
- опасная концентрация аммиака в камерах, при этом дополнительно включается аварийная вентиляция.

Система сигнализации должна обеспечивать:

подачу аварийного сигнала, т. е. зажигание табло с надписью «Авария» и включение красной лампочки и звонка при аварийной остановке компрессора;

зажигание лампочки, указывающей, какой из приборов защиты остановил компрессор, и «запоминание» этого сигнала, т. е. лампочка должна гореть при исчезновении опасного режима до момента устранения причины его возникновения;

подачу предупредительных сигналов о повышении уровня в линейном ресивере, в отделителе жидкости и при снижении уровня в линейном ресивере, которое указывает на недостаток холодильного агента.

Электрическая схема должна обеспечить предусмотренный порядок пуска компрессоров и взаимодействие всех приборов автоматики.

Не допускается одновременное включение двух и более компрессоров. Схемой предусматривают три режима пуска компрессоров: автоматический (А), полуавтоматический (П) и ручной (Р), иногда называемый местным (см. главу 9).

Для разгрузки крупных компрессоров при пуске раньше обычно применяли байпасы. Однако практика последних лет показала, что необходимости в них нет: мощность двигателя позволяет включать компрессоры П110, П220 без байпасов. Обратные клапаны на нагнетательной стороне при этом необходимы.

Установки с поршневыми компрессорами

Безнасосные одноступенчатые аммиачные установки. Типовая схема безнасосной аммиачной установки с компрессорами П110 и П220 для охлаждения нескольких камер с общей температурой кипения (например, $-10 \div -12^\circ\text{C}$) показана на рис. 134.

Жидкий аммиак давлением $(10 \div 12) 10^5$ Па из линейного ресивера *ЛР* поступает через переохладитель жидкости *ПО*, а при отсутствии источника холодной воды (*Их*) через обводной вентиль, на распределительный жидкостный коллектор *РЖК* и далее через жидкостный коллектор *ЖК* распределяется по камерам № 1—3. Пары из испарителей через всасывающий коллектор *ВК* попадают в отделитель жидкости *ОЖ*. Попавшие в *ОЖ* с парами капли жидкого аммиака стекают в защитный ресивер *ЗР*, а пары отсасываются компрессорами трех параллельно работающих агрегатов. Сжатые пары через маслоотделители *ИМО—ЗМО* поступают в конденсаторы *ИКд—ЗКд*, и после конденсации жидкий аммиак сливается в общий линейный ресивер *ЛР*.

Иногда предусматривают возможность подачи жидкого аммиака из конденсаторов на *РЖК*, минуя *ЛР*.

Вода, отопленная в конденсаторе на $3-5^\circ\text{C}$ (*Ит*), поступает на вентиляторную градирню *Гр*, где, охладившись за счет частичного испарения, сливается в бак, расположенный в прохладном подвальном помещении. Из бака охлажденная вода насосом *Н* снова подается на конденсаторы *ИКд—ЗКд*, а часть ее (4—5%) — в водяные рубашки компрессоров. При понижении уровня воды в баке поплавковый регулятор обеспечивает добавление холодной воды из городской сети (*Их*). Эту же воду можно подавать прямо на конденсатор в случае ремонта или неэффективной работы градирни. При остановке компрессора *1Км* соленоидные вентили *1СВ_в* и *2СВ_в* закрываются.

Для оттаивания испарителей одной из камер (например, № 1) надо открыть вентиль *В5* работающего агрегата для подачи горячего пара *Г_о* в оттаивательный коллектор *ОтК*. Вентили *В2* и *В3* на всасывающем и жидкостном коллекторах *ВК* и *ЖК* надо закрыть, а подачу пара *Г_о* через вентиль *В1* и отвод жидкости *В4* — открыть. Через дренажный коллектор *ДК* жидкий аммиак после оттаивания испарителя поступает на поплавковый регулятор высокого давления *ПР*, и поплавок, открывая клапан, перепускает жидкость в дренажный ресивер *ДР*. При переполнении ресивера реле уровня 8 включит красную лампочку. При этом надо горячим паром *Г_о* выдуть жидкий аммиак в жидкостный коллектор *ЖК*. Остальные вентили, кроме манометрового, надо закрыть. При достаточном снижении уровня реле 9 включает зеленую сигнальную лампочку. Аналогично удаляется жидкость и из защитного ресивера.

Для удаления воздуха, попавшего в систему, установлен отделитель воздуха *ОВ* (автоматизированные типов *АВ2*, *АВ4*). Отделившийся воздух выпускают через сосуд *С* с водой.

Все сосуды большой вместимости имеют предохранительные клапаны, указатели уровней и манометры. Для удаления паров хладагента предусмотрены вентили, соединяющие сосуды со стороны всасывания (*Г*).

Система почти полностью автоматизирована.

Для заполнения испарителя служат ТРВ с внешним отбором, которые поддерживают заданный перегрев пара на выходе из испарителя.

Температура в камерах регулируется с помощью реле температуры (*ИТ—ЗТ*), которые открывают и закрывают соленоидные вентили подачи жидкости *ICB_к—ЗCB_к* (перед ТРВ).

Температура кипения поддерживается в заданных пределах пуском и остановкой компрессоров. Каждый компрессор включается своим реле давления (*РД-1к—РД-3к*), настройка которых может быть осуществлена по схеме пропорционального или астатического шагового регулирования (см. рис. 27—29). Если один из компрессоров имеет регулируемую холодопроизводительность (электромагнитным отжимом всасывающих клапанов), то предпочтительнее астатическая схема настройки (см. рис. 28), причем настройка *РД* этого компрессора должна иметь дифференциал меньше, чем у двух других, чтобы он раньше других включался и останавливался.

Автоматически регулируется возврат масла из маслоотделителей *МО—ЗМО* в картеры компрессоров.

Для защиты от влажного хода на отделителе жидкости смонтированы два реле уровня *РУ* (типа ПРУ-5М), которые отключают одновременно все три компрессора.

Кроме того, на каждом компрессоре имеются приборы защиты, которые останавливают компрессор при наступлении опасного режима:

давление нагнетания по манометру выше $14,8 \cdot 10^5$ Па (контролируется РД типа Д220А-13);

температура нагнетания t_n более 145—150 °С (реле температуры типа ТР-ОМ5-09);

разность между давлением масла и давлением всасывания Δp менее $2 \cdot 10^5$ Па (реле контроля смазки РКС-1-ОМ5-01А-2);

расход воды в водяной рубашке менее 30% номинального (реле расхода *РР*). Эта профилактическая защита необязательна.

Приборы защиты подключаются к пульту УК-74 или А80 (см. главу 9), который останавливает компрессор, включает сигнальные устройства *СУ* (звонок и красную лампу) и лампочку, указывающую на причину срабатывания.

Профилактическая защита предусматривает блокировку: при остановке водяного насоса (например, при пониженном давлении воды — датчик 7) останавливается компрессор.

На каждую группу камер имеется 4 коллектора: ЖК—жидкостный — для подачи жидкого аммиака; ВК — всасывающий; ОК — оттаивательный (подача горячего пара G_0 в испарители) и ДК — дренажный, через который жидкий аммиак после оттаивания стекает в дренажный ресивер. Имеются свой циркуляционный ресивер ЦР и аммиачный насос.

Рассмотрим для примера, как охлаждается морозильная камера. Аммиачный насос забирает из циркуляционного ресивера ЦР-40 жидкий аммиак и через коллектор ЖК подает его в воздухоохладитель ВО. Количество подаваемой насосом жидкости в 3—4 раза превышает количество жидкости, выкипающей в испарителях. Поэтому жидкость снова сливается в циркуляционный ресивер ЦР-40, а пары из него отсасывают компрессорами 1Км и 2Км, которые поддерживают давление $0,7 \cdot 10^5$ Па, соответствующее температуре кипения -40°C . Сжатые пары через маслоделители 1МО и 2МО поступают в общий промежуточный сосуд ПС и, пробулькивая через жидкий аммиак, охлаждаются до температуры -10°C , соответствующей промежуточному давлению ($2,5 \cdot 10^5$ Па). Пары отсасываются из промежуточного сосуда компрессорами второй ступени 5Км и 6Км и сжимаются до давления в общих конденсаторах (1КД, 2КД). Здесь пары охлаждаются водой, поступающей из градирни Гр, конденсируются и сливаются в общие линейные ресиверы 1ЛР, 2ЛР. Выходя из ресиверов, аммиак с давлением $(10 \div 12) \cdot 10^5$ Па охлаждается в переохладителе ПО артезианской или холодной городской водой 1х и поступает на распределительный жидкостный коллектор РЖК. Часть аммиака отбирается и через 4РВ подается в промежуточный сосуд, а основной поток охлаждается в змеевике ПС и через 1РВ поступает в ЦР-40.

Аналогично охлаждаются камеры замороженных грузов. Компрессоры 3Км и 4Км отсасывают пары из ЦР-30, поддерживая в нем давление $1,2 \cdot 10^5$ Па, и сжимают их до давления в промсосуде ($2,5 \cdot 10^5$ Па).

Компрессоры 1Км—4Км имеют по два всасывающих вентиля («мосты»), что позволяет в случае большой тепловой нагрузки на одну группу камер подключить к ней дополнительный компрессор (закрывая левый вентиль и открывая правый, подключаем компрессор к ЦР-30).

В холодное время года при низком давлении в конденсаторе [$(7 \div 8) \cdot 10^5$ Па] компрессорами 3Км и 4Км целесообразнее работать в режиме одноступенчатого сжатия, т. е. из ЦР-30 после сжатия подавать пары сразу в конденсатор (минуя ПС). Для этого установлены мосты после 3МО и 4МО. Закрывая левые вентили и открывая правые, можно подать пары через общий маслоделитель ОМО прямо в конденсаторы.

Для оттаивания испарителя морозильной (или любой другой) камеры надо закрыть соответствующие вентили подачи жидкости и отсоса пара (на коллекторах ЖК и ВК) и открыть

вентили подачи горячего пара G_0 (на коллекторе OK) и слива жидкости в дренажный ресивер $Ж_0$ (на коллекторе DK). При оттаивании пары G_0 , поступающие в испаритель, не могут пройти через поплавковый регулятор $ПР$. Поэтому давление в испарителе растет, пары конденсируются, отдавая теплоту конденсации образовавшемуся на испарителях снеговому слою, и жидкий аммиак, стекая в поплавковый регулятор $ПР$, поднимает поплавок и стекает в ресивер $ДР$. Для последующего удаления жидкости из дренажного ресивера надо на время перекрыть вентиль слива под $ПР$ и паром G_0 выдавить жидкость на распределительный коллектор $РЖК$.

При небольшом числе камер с нулевыми температурами (одна-две камеры) можно обойтись без циркуляционного ресивера $ЦР_{-10}$, забирая жидкость промежуточного давления насосом непосредственно из промежуточного сосуда.

В схеме предусмотрено периодическое удаление воздуха через отделитель воздуха $ОВ$. Обычно устанавливают автоматические воздухоотделители типа $AB-2$ или $AB-4$.

Автоматическое поддержание заданной температуры в камерах осуществляется при помощи камерных реле температуры, которые управляют соленоидными вентилями подачи жидкого аммиака в камеры (CB_k).

Температура кипения в циркуляционных ресиверах (например, $ЦР_{-40}$) поддерживается в заданных пределах пуском и остановкой компрессоров. Компрессор $1Км$ включается от реле температуры 11 , а компрессор $2Км$ — от реле температуры 21 . Настройка реле может быть пропорциональной или астатической (см. рис. 27—29).

Уровень жидкости в циркуляционных ресиверах (например, $ЦР_{-40}$) поддерживается при помощи реле уровня типа ПРУ-5М (19), которое открывает и закрывает соленоидный вентиль $1СВ$ (перед $1РВ$).

Для защиты у каждого компрессора имеются реле давления типа Д220А-13 (датчики 12 и 13), реле температуры ТР-ОМ5-09 (14), реле контроля смазки РКС-1-ОМ5-01А (15 и $15'$) и реле расхода воды (16). Настройка их такая же, как и в безнасосной схеме (см. рис. 134).

На каждом циркуляционном ресивере имеются по два реле уровня типа ПРУ-5М, которые одновременно отключают все компрессоры, работающие на данный ресивер при переполнении его жидкостью.

Каждый компрессор имеет пульт управления (типа УК74 или А80), который обеспечивает автоматический пуск и остановку компрессора, отключение его при опасном режиме работы с включением расшифровывающей сигнализации (указывающей на причину срабатывания) и подачи аварийного сигнала на главный щит автоматики (ГЩА).

Схема крупной аммиачной установки с бесколлекторным подсоединением испарителей. На крупных холодильниках с

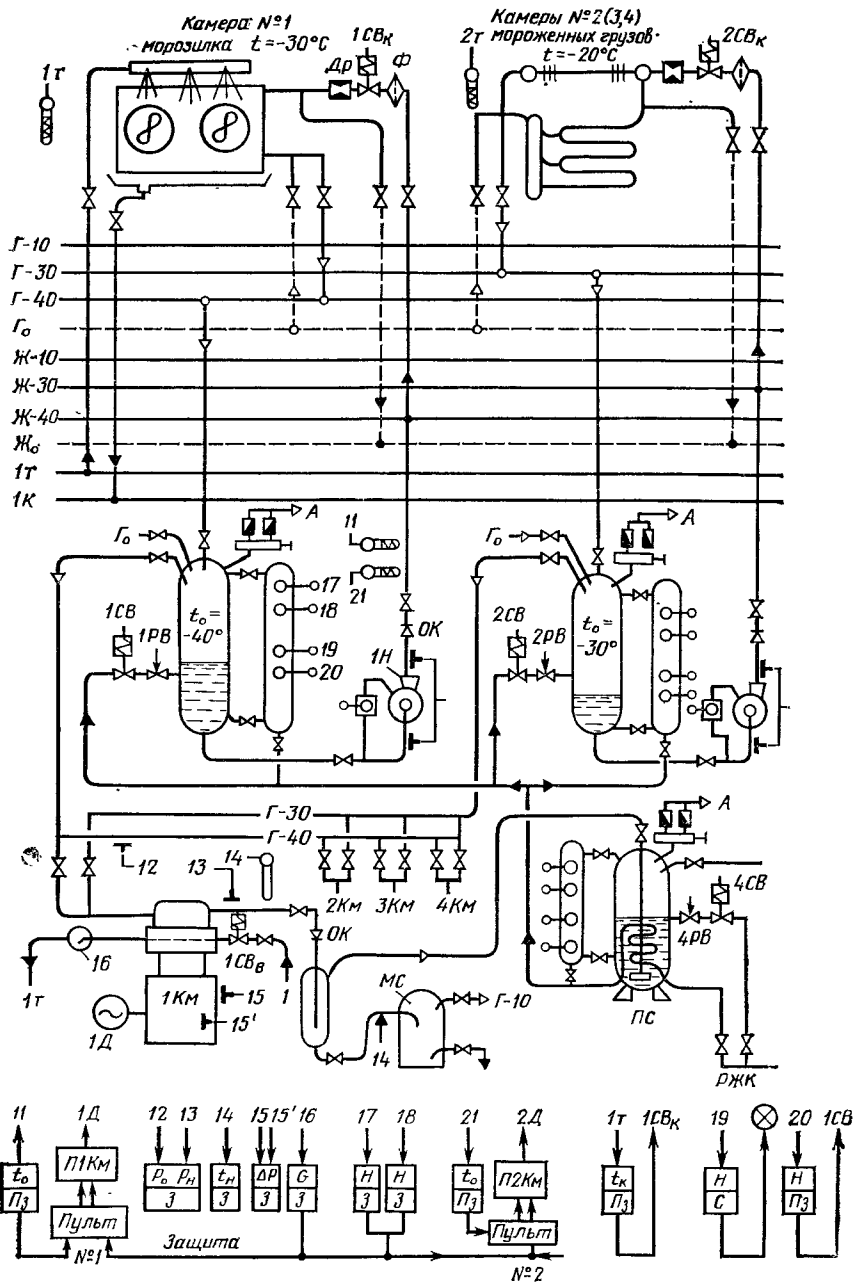
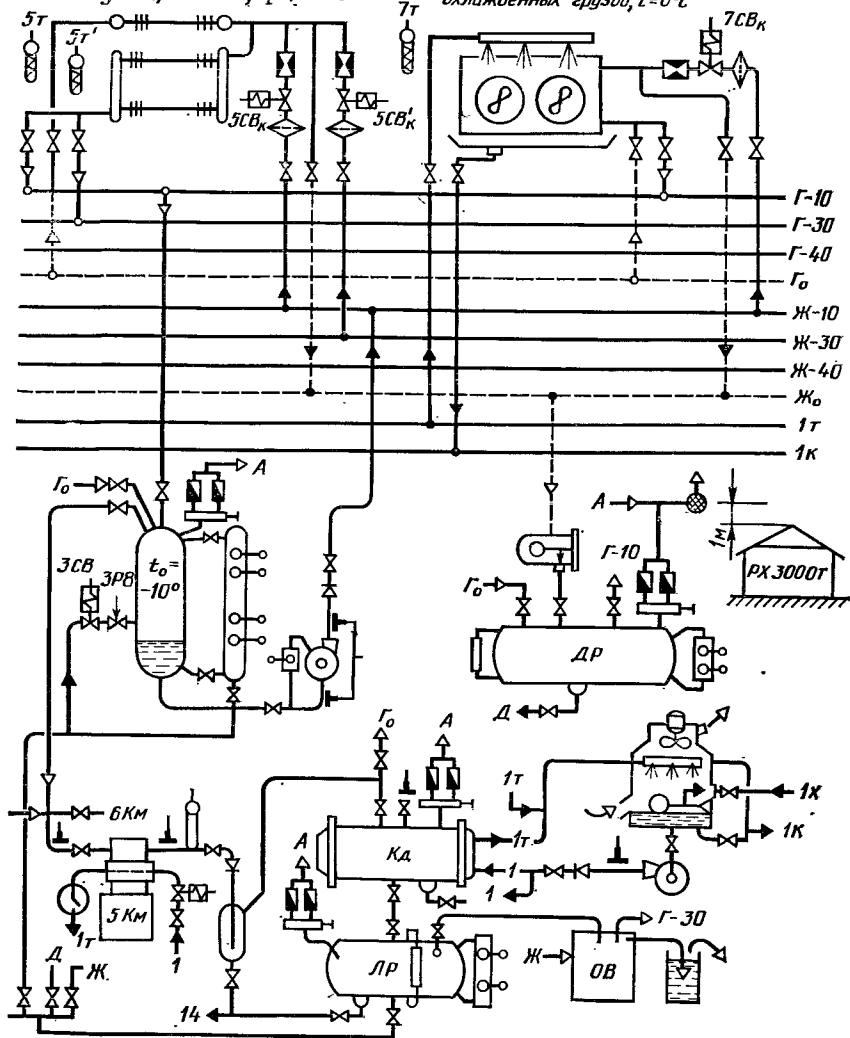


Рис. 136. Схема крупной аммиачной насосной установки на три температуры

Камеры №5(6)
универсальные, $t_2 = 0^{\circ} - 20^{\circ}\text{C}$

Камеры №7(8,9)
охлажденных грузов, $t = 0^{\circ}\text{C}$



кипения с бесколлекторным подсоединением испарителей

большим числом камер для уменьшения общей длины трубопроводов целесообразно применять схемы с бесколлекторным присоединением испарителей (рис. 136). При этом независимо от количества камер вдоль коридоров проходят десять трубопроводов: отсос пара в ресиверы с температурой кипения —10, —30 и —40°С (*Г-10*, *Г-30*, *Г-40*); подача горячего пара для оттаивания (*Г_о*) и отвод жидкости в дренажный ресивер (*Ж_о*); подача жидкости из ресиверов с соответствующей температурой кипения (*Ж-10*, *Ж-30*, *Ж-40*); подача теплой воды *IT* для ускорения оттаивания воздухоохладителей и сток воды в канализацию *IK*.

В группе универсальных камер (№ 5, 6) может поддерживаться температура 0 либо —20°С. Для этого у них подача жидкого аммиака идет либо от линии *Ж-10* через соленоидный вентиль *5CB_к*, либо от линии *Ж-30* через *5CB'_к*. Соответственно и всасывающая линия присоединяется к *Г-10* либо к *Г-30*. В электросхеме должен быть переключатель, включающий нужное реле температуры (*5T* или *5T'*), чтобы не производить перенастройку приборов.

Схема компрессорно-конденсаторной группы такая же, как и в аналогичной коллекторной схеме (см. рис. 135). Для защиты аммиачных герметичных насосов здесь предусмотрены реле разности давлений (типа *PKC*) и реле уровня, которое отключает насос при снижении в нем уровня аммиака во избежание перегрева электродвигателя.

Автоматизация установок с винтовыми компрессорами

Машины с одноступенчатым винтовым компрессором. Агрегаты с винтовым компрессором ВХ350 выпускаются для R22 и аммиака. Машины МКТ-350-2-1, работающие на R22 (рис. 137), предназначены для охлаждения воды на установках кондиционирования воздуха. Основная особенность машин с винтовым компрессором — обильная подача масла в полость сжатия. Масло снижает температуру нагнетания и уменьшает зазоры между винтами и корпусом, что позволяет значительно увеличить степень повышения давления. Масло выбрасывается со сжатым паром в маслоотделитель *МО* и затем шестеренчатым насосом *Н* подается в маслоохладитель *МОх*, где охлаждается водой, и после фильтра *ФМ₂* вновь впрыскивается в полость сжатия и сальника. Температура подаваемого масла не должна быть ниже 25°С, чтобы не повышалась его вязкость. Поэтому для запуска компрессора надо сначала ключом управления *КУ* включить маслонасос *Н* и нагреватель *Нг*. Масло начинает циркулировать по кольцу *МО—Н—МОх—РгД—МО* и нагреваться. При достижении температуры масла 30—35°С срабатывает реле температуры *ЗРТ* (ТР-ОМ5-03), которое снимает блокировку пуска компрессора и отключает нагреватель. Загорается лампочка. Открыв вентили подачи масла на комп-

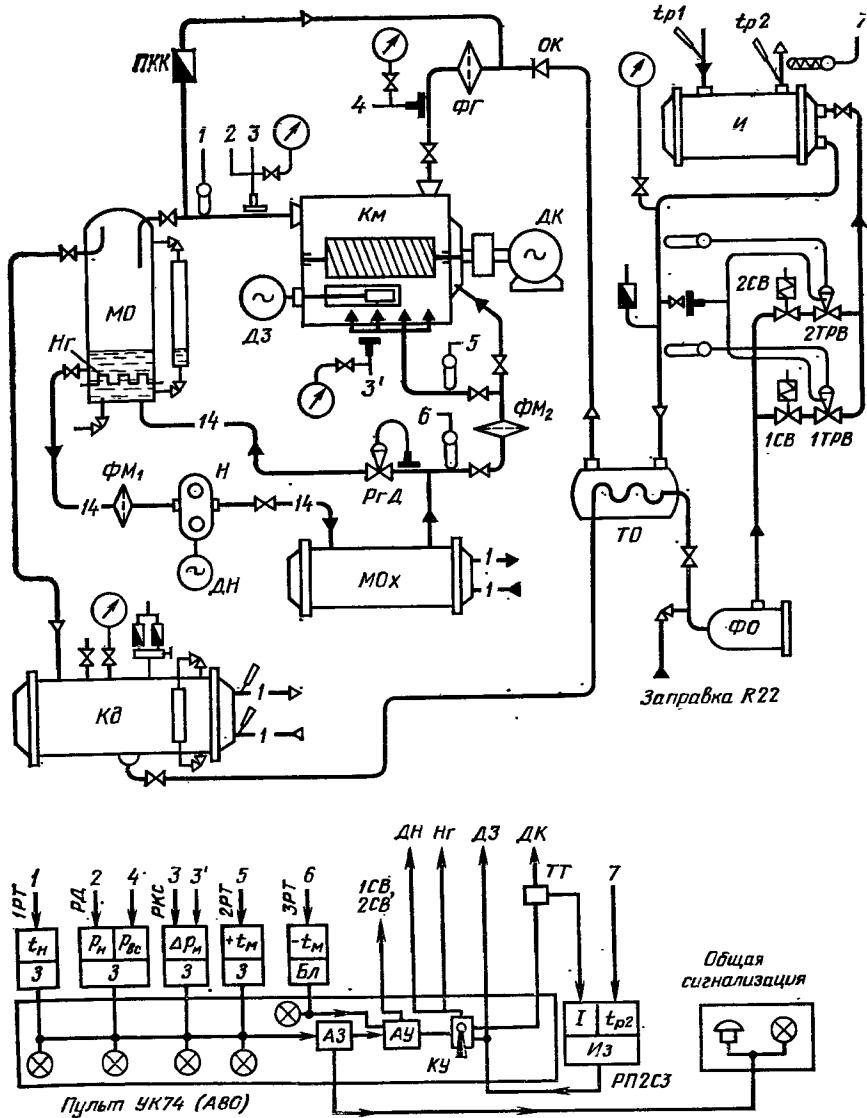


Рис. 137. Схема холодильной машины с винтовым компрессором МКТ-350-2-1

рессор, включают компрессор. При работе масло в компрессоре нагревается, а в маслоохладителе охлаждается.

Приборы защиты при опасных режимах отключают компрессор. На пульте загорается лампочка, указывающая причину остановки, и дается сигнал на пульт общей сигнализации. От высокой температуры нагнетания защищает реле темпера-

туры *1PT* (ТР-ОМ5-09), от высокого давления нагнетания и низкого давления всасывания — реле давления *РД* (Д220-12), от высокой температуры подаваемого масла (более 50°C) — реле *2PT* (ТР-ОМ5-04). При понижении разности между давлением подаваемого масла и давлением нагнетания срабатывает реле контроля смазки (РКС-1-ОМ5-03-2). При чрезмерно высоком давлении масла регулятор давления *РгД* сбрасывает масло в маслоотделитель *МО*.

Автоматическое поддержание заданной температуры воды или рассола на выходе из испарителя t_{p2} осуществляется изменением холодопроизводительности компрессора золотниковым устройством. При перемещении золотника (от реверсивного двигателя золотника *ДЗ*) увеличение всасывающего отверстия приводит к снижению производительности, так как уменьшается объем заполнения винтовой полости. Происходит как бы уменьшение рабочей длины винтов (хода сжатия). При понижении температуры рассола изодромный регулятор температуры типа РП2С3 (см. рис. 77) дает команду двигателю золотника *ДЗ* на снижение производительности. Дополнительный канал этого прибора, включенного через трансформатор тока *ТТ*, при увеличении силы тока сверх допустимого значения берет управление на себя, не допуская перегрузки компрессора. Когда сила тока падает, вновь включается в управление регулятор температуры. При остановке компрессора золотник полностью открывается, что облегчает последующий пуск компрессора.

Для регулирования заполнения испарителя хладагентом служат два ТРВ (22ТРВ400) с внешним отбором. При снижении температуры кипения требуемый расход хладагента уменьшается и одно ТРВ можно автоматически отключить. Это позволяет уменьшить колебание перегрева.

Машины укомплектованы измерительными приборами (пять манометров, термометры, амперметр, указатели уровней) и предохранительными клапанами на сосудах и на компрессоре.

Аммиачные машины с винтовым компрессором аналогичны описанной, но не имеют теплообменника, а имеют отделитель жидкости. Возможны некоторые модификации в схеме автоматики. Например, можно поставить регулятор температуры подаваемого масла изменением подачи воды в маслоохладитель и т. д.

Рассмотрим взаимодействие автоматических приборов по электрической схеме (рис. 138).

Система автоматики состоит из пульта управления типа *A80* (см. рис. 123), к которому подключен щит регулирования ЩР27. На щите расположены изодромный регулятор температуры *РТ* (типа Р25.2); трехпозиционный узкопрофильный амперметр *УА* (типа Э39ОК), промежуточные реле *1Р...6Р* и кнопки ручного открытия и закрытия золотника (*Кн-0* и *Кн-3*).

При снижении температуры рассола или превышении силы

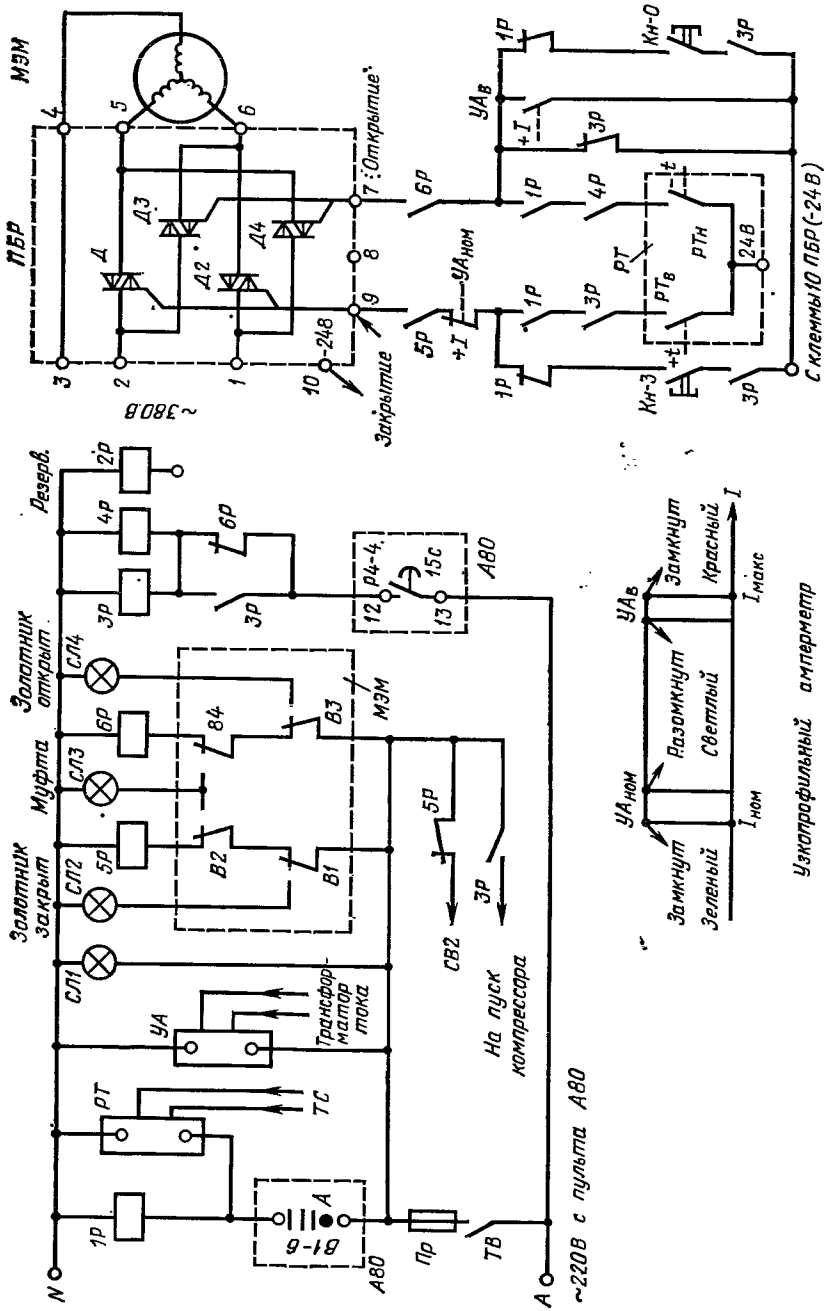


Рис. 138. Схема регулирования температуры изменением производительности винтового компрессора с коррекцией по максимальному току

тока, потребляемого электродвигателем компрессора, со щита регулирования поступает команда («Открытие») на бесконтактный реверсивный пускатель ПБР (типа ПБР-3А), который включает электропривод (типа МЭМ-100/400-63Б) в сторону открытия золотника, что приводит к снижению холодопроизводительности компрессора. Кроме того, щит обеспечивает полное открытие золотника после любой остановки компрессора, что облегчает последующий пуск компрессора.

Рассмотрим работу схемы в автоматическом режиме.

При включении силовых цепей питание подается на пульт А80 и на щит регулирования. Тумблером ТВ включают амперметр УА и реле 5Р и 6Р. Через замкнутый контакт переключателя В1-6 (на пульте А80) включается регулятор температуры РТ и реле 1Р. Реле 1Р своими контактами отключает кнопочное управление и подключает к управлению РТ. А по цепи кл. 10ПБР, 3Р, 6Р, кл. 7 отпираются симисторы Д3 и Д4 на ПБР, и двигатель МЭМ начинает перемещать золотник до полного открытия. Когда сработает концевой выключатель В3, отключится реле 6Р (загорится лампочка СЛ4 — «Золотник открыт») и контакт 6Р разомкнется, прекратив питание цепи «Открытие». Другой контакт 6Р (в цепи реле 3Р и 4Р) замкнется, подготовив включение реле 3Р и 4Р.

Если на пульте А80 компрессор подготовлен к пуску (в цепи реле управления Р1 на рис. 123 вместо РТ установлена перемычка), то включенное реле времени Р4 через 15 с контактом Р4-4 включит реле 3Р на щите регулирования, которое встанет на самопитание и контактом 3Р со щита даст сигнал на катушку пускателя ПК для включения компрессора.

При высокой температуре рассола контакт регулятора температуры РТ_в замкнут, и на клемму 9ПБР поступает сигнал на закрытие золотника (по цепи 24В, РТ_в, 3Р, 1Р, УА_{ном}, 5Р, клемма 9). Симисторы Д1 и Д2 откроются (Д3 и Д4 закрыты из-за размыкания контакта Р3), и фаза 2 ПБР вместо клеммы 6 соединится с выходной клеммой 5, а фаза 1 — с клеммой 6 (вместо клеммы 5), двигатель МЭМ изменит направление вращения в сторону закрытия. Закрытие происходит с определенной скоростью, так как изодромный регулятор температуры включает контакт РТ_в импульсами: чем больше отклонение температуры, тем больше длительность импульсов, т. е. увеличивается скорость закрытия. При достижении заданной температуры рассола контакт РТ_в размыкается и золотник устанавливается в определенном положении.

Если в процессе закрытия золотника сила тока достигла номинальной [$I_{ном} \pm (5 \div 10) \%$], то контакт УА_{ном} разомкнется и дальнейшее закрытие прекратится. А при дальнейшем повышении тока до верхнего предела замкнется контакт УА_в и начнется открытие золотника, т. е. разгрузка компрессора, пока контакт УА_в не разомкнется. Таким образом, регулирование температуры может происходить только при условии, что ток

в электродвигателе меньше номинальной установки ($U_{\text{ном}}$ замкнут, и горит зеленый светофильтр). Если ток больше $I_{\text{ном}}$ ($U_{\text{ном}}$ разомкнут — зона светлого света), то регулируется уже не температура, а сила тока (в пределах от $I_{\text{ном}}$ до $I_{\text{макс}}$).

При полном закрытии золотника концевой выключатель $B1$ отключает реле $5P$, закрытие прекращается, и подается сигнал на включение $CB2$ для дополнительной подачи жидкого хладагента в испаритель. При достижении нижнего предела заданной температуры импульсами начинает замыкаться контакт $PT_{\text{н}}$, подавая сигналы на открытие золотника.

Электропривод $MЭМ$ имеет муфту, которая отключает выключателями $B2$ и $B4$ соответствующие реле $5P$ или $6P$ в случае превышения крутящего момента, и двигатель $MЭМ$ останавливается.

В ручном и полуавтоматическом режимах контакт выключателя $B1-6$ разомкнут, реле $1P$ отключает PT . Для открытия или закрытия золотника надо нажать на кнопки $Кн-0$ или $Кн-3$. Коррекция по току действует, как и в автоматическом режиме.

Двухступенчатая машина с винтовым бустер-компрессором (МКТД30-2-5). Эта машина (рис. 139) предназначена для охлаждения хладоносителя — этиленгликоля ($R30$) до -65°C . Жидкий $R22$ из конденсатора $Кд$ через фильтр-осушитель ΦO поступает в теплообменник $1TO$, где частично охлаждается парами, идущими из испарителя в компрессор $Км1$. В теплообменнике $2TO$ жидкий $R22$ дополнительно охлаждается за счет кипения $R22$ при промежуточном давлении. Для этого часть $R22$ в точке A отбирается от основного потока и через $2TPB$ подается в $2TO$. Основной поток жидкости через $1TPB$ поступает в испаритель. Пары из испарителя подогреваются в

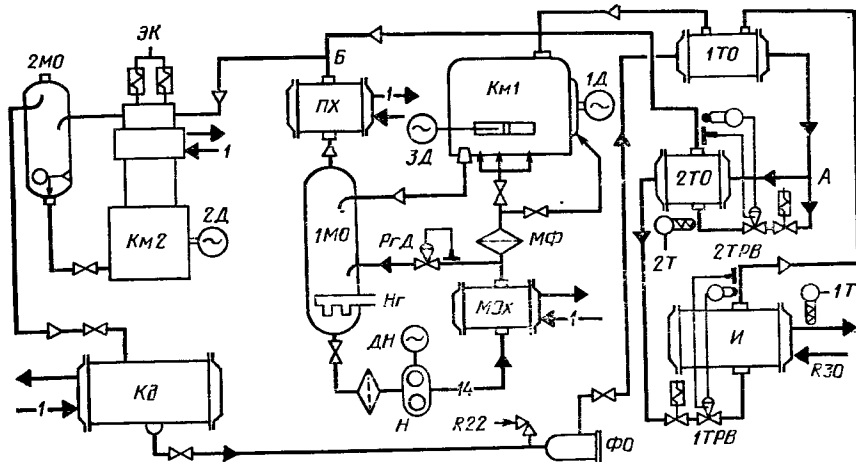


Рис. 139. Упрощенная схема двухступенчатой машины с винтовым бустер-компрессором МКТД-30-2-5

ТТО и после сжатия в компрессоре первой ступени *Км1* через маслоотделитель *МО* поступают в промежуточный холодильник *ПХ*, где охлаждаются водой до 30°C , а затем, смешиваясь в точке *Б* с холодными парами из теплообменника *ТТО*, охлаждаются еще на $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$ и поступают в поршневой компрессор второй ступени *Км2*, где сжимаются до давления в конденсаторе и конденсируются.

Циркуляция и охлаждение масла, выбрасываемого в *МО* из компрессора *Км1*, такие же, как и в схеме с одноступенчатым винтовым компрессором (см. рис. 137).

Автоматическое изменение холодопроизводительности компрессора низкой ступени такое же, как и в одноступенчатом винтовом компрессоре. При снижении температуры хладоносителя *R30* на выходе из испарителя изодромный регулятор температуры с датчиком *ТТ* дает команду двигателю золотника *ЗД* на плавное снижение холодопроизводительности. При этом компрессор верхней ступени, продолжая работать на полную нагрузку, начинает понижать промежуточное давление в теплообменнике *ТТО*. Регулятор температуры с датчиком *ТТ* дает команду на ступенчатое уменьшение холодопроизводительности компрессора верхней ступени поочередным отжимом всасывающих клапанов в цилиндрах электромагнитами *ЭК*. Таким образом обеспечивается заданное значение t_{p2} и промежуточные давления и температура.

В компрессорах обеих ступеней предусмотрена защита от высокого и низкого давлений, от нарушения режима смазки и от высокой температуры нагнетания. В винтовом бустер-компрессоре, как и в одноступенчатом, дополнительно имеется защита от чрезмерно высокой и низкой температуры масла. Приборы защиты и контроля на схеме не показаны. Расположение их см. на рис. 137.

В схемах крупных установок с аммиачными винтовыми компрессорами на первой ступени на отделителях жидкости или циркуляционных ресиверах ставят реле уровня для защиты от влажного хода, хотя винтовые компрессоры в этом отношении менее опасны, чем поршневые.

Схемы автоматизации крупных установок продолжают совершенствоваться, но основные принципы, изложенные в этой главе, в общем уже определились.

В каскадных установках автоматически поддерживается температура кипения верхнего каскада (что определяет давление конденсации нижнего каскада) и температура объекта или хладоносителя в нижнем каскаде.

Кроме того, при длительной остановке должна автоматически подключаться расширительная емкость, чтобы давление в нижнем каскаде не оказалось выше допустимого. Это можно осуществить датчиком давления, который при повышении давления в системе до заданного значения открывает соленоидный вентиль, соединяющий расширительную емкость со стороной всасывания.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВОК КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**§ 40. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Классификация кондиционеров. Кондиционирование воздуха предназначено для одновременного поддержания в помещении требуемой температуры, относительной влажности, а также для создания оптимальных санитарных условий (удаление диоксида углерода и вредных запахов, добавление свежего воздуха, богатого кислородом, очистка воздуха от загрязнений, а иногда и добавление ароматических веществ). Эти параметры создают оптимальные условия для труда и отдыха людей (комфортное кондиционирование) и необходимы для различных производственных процессов (технологическое кондиционирование).

По месту расположения различают центральные и местные кондиционеры. В центральных — воздух обрабатывается централизованно и по воздуховодам раздается в кондиционируемые помещения. Местные кондиционеры устанавливаются около каждого кондиционируемого помещения (шкафные кондиционеры) или непосредственно в самом помещении (оконные и внутристенные кондиционеры). Имеются также смешанные системы кондиционирования воздуха (СКВ) — местно-центральные, в которых обработка внутреннего воздуха осуществляется в местных агрегатах, а наружного — в центральном кондиционере. Оба потока смешиваются в необходимой пропорции у входа в помещение.

По способу снабжения холодом различают автономные кондиционеры (со встроенной или рядом стоящей холодильной машиной) и неавтономные — с централизованным холодоснабжением (от общей холодильной станции или артезианской водой). Местные кондиционеры в большинстве автономные.

Регулирование температуры. В летнее время в основном требуется охлаждать помещение. Для этого в кондиционере имеется сухой воздухоохладитель или форсуночная камера, где воздух охлаждается от соприкосновения с водой (мокрый воздухоохладитель). Температура воздуха, подаваемого в помещение для отвода теплоты, должна быть на 4—6 °С ниже требуемой температуры в помещении.

При зимнем кондиционировании наружный воздух подогревают в калорифере горячей водой, а в местных кондиционерах обычно ставят электронагреватели. Выпускают также кондиционеры с реверсивным циклом: в холодное время года автоматический переключатель режимов (см. рис. 49) изменяет направление потоков хладагента и холодильная машина превращается в тепловой насос (воздухоохладитель становится конденсатором, а конденсатор — испарителем). У всех кондиционеров температура t_n регулируется автоматически.

Регулирование влажности. При летнем кондиционировании относительная влажность в помещении выше оптимальной (30—60%). Для удаления влаги в основном применяют охлаждение воздуха ниже точки росы. Чем ниже температура, тем больше выпадает влаги. Если при этом температура воздуха слишком низкая, то его, прежде чем подать в помещение, надо подогреть. Для этого воздух после охлаждения можно частично смешивать с теплым воздухом, взятым из помещения. Если этого недостаточно, то его подогревают во втором калорифере.

В зимнее время наружный воздух имеет низкую абсолютную влажность. Поэтому, если его просто подогреть и подать в помещение, то он будет отводить влагу и снижать относительную влажность. Для увлажнения подогретый воздух пропускают через оросительную камеру, и он увлажняется (при постоянной энтальпии) до точки росы. При увлажнении температура воздуха снижается, и для подачи в помещение его иногда приходится подогревать. В местных кондиционерах для увлажнения иногда применяют форсунки, которые распыляют подаваемую воду. Химические методы осушки (цеолитовые осушители и др.) применяются сравнительно редко.

Для регулирования относительной влажности, когда требуется точное ее поддержание (например, на предприятиях текстильной промышленности, при производстве сыров), датчик влажности устанавливают в кондиционируемом помещении. При повышении влажности он дает команду увеличить подачу холодной воды, т. е. снизить «точку росы»* и подать более сухой воздух.

Если же жестких требований на относительную влажность нет (комфортное кондиционирование), то достаточно автоматически поддерживать точку росы. Подаваемый сухой воздух отнимает расчетное количество влаги, и если влагоприток колеблется не в больших пределах, то и относительная влажность устанавливается в допустимых пределах.

Регулирование состава воздуха. Для удаления диоксида углерода и вредных запахов желательнее удалять весь воздух из помещения вытяжной вентиляцией, а кондиционером обрабатывать только наружный воздух и подавать его в помещение. Однако в летнее время охлаждение всей массы воздуха до температуры помещения слишком неэкономично. Поэтому в СКВ помещений, где нет вредных запахов, применяют схемы с рециркуляцией, стараясь максимально использовать рециркулируемый воздух, а наружный подавать только для обеспечения санитарной нормы (20 м³/ч, или 5,5 л/с на человека). И только при понижении температуры наружного воздуха мож-

* Здесь и далее под принятым термином «точка росы» (t_p) понимают температуру после оросительной камеры или воздухоохладителя, которая ниже действительной точки росы, т. е. точки начала выпадения влаги.

но автоматически увеличивать его подачу, уменьшая при этом количество рециркулируемого воздуха.

Для очистки воздуха от пыли в кондиционерах устанавливают фильтры. Периодическую очистку их можно автоматизировать.

Защита от опасных режимов. Защита холодильных установок в кондиционерах не отличается от защиты в обычных установках (см. гл. 10). В самом кондиционере ставят защиту от замерзания воды в калориферах. При температуре воздуха на входе в калорифер менее 3°C и на выходе менее 25°C реле температуры должны отключать циркуляцию воздуха. А в неработающем кондиционере при температуре помещения ниже 3°C надо автоматически периодически включать подачу горячей воды на калорифер.

Степень автоматизации зависит от схемы кондиционера и его производительности. Рассмотрим несколько конкретных типовых схем.

§ 41. МЕСТНЫЕ АВТОНОМНЫЕ КОНДИЦИОНЕРЫ

Оконные кондиционеры. Эти кондиционеры предназначены только для охлаждения воздуха помещения (при его рециркуляции) и частичной добавки свежего воздуха. Влажность они не регулируют. Некоторые модели имеют еще электроподогрев. Рассмотрим типовую схему комнатного кондиционера БК-1500 (БК-2500). Для охлаждения использован агрегат с герметичным ротационным компрессором *Км* (рис. 140, а). Кондиционер

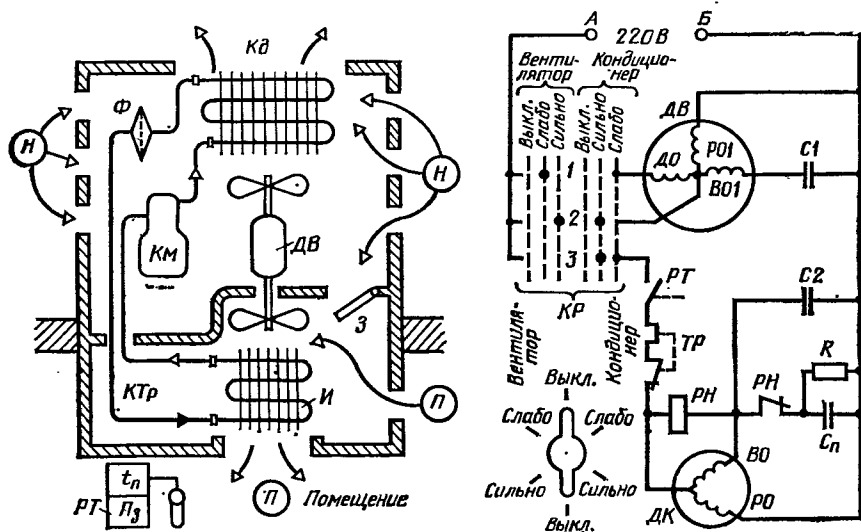


Рис. 140. Комнатный оконный кондиционер БК-1500:

а — технологическая схема; б — электрическая

устанавливается в проеме стены или на окне. Во внутреннем отсеке расположен испаритель I с вентилятором, обеспечивающим циркуляцию воздуха в помещении P . Количество добавляемого наружного воздуха H регулируется ручной заслонкой $З$. Через жалюзи наружного отсека поступает воздух H для охлаждения конденсатора $Kд$.

Температура в помещении регулируется при помощи реле температуры PT , которое периодически включает и останавливает компрессор. При невысокой температуре наружного воздуха холодильную машину можно отключить ключом KP , оставив в работе только вентилятор. Ключ KP позволяет установить вентилятор на малую частоту вращения (625 об/мин)—режим «Слабо» и на большую (810 об/мин)—режим «Сильно». В обоих режимах может быть подключен компрессор (режим «Кондиционер»).

Рассмотрим работу кондиционера в режиме «кондиционер—слабо» (рис. 140, б). При установке ключа KP в это положение замыкаются контакты $KP-1$ и $KP-3$. Включение двигателя вентилятора $ДВ$ на малую скорость обеспечивается дополнительной обмоткой $ДО$, которая увеличивает число пар полюсов электродвигателя $ДВ$ с трех до четырех. Для создания вращающегося магнитного поля вспомогательная обмотка $ВО1$ подключается к сети через фазосмещающий конденсатор $C1$. Двигатель $ДВ$ работает непрерывно. При повышении температуры воздуха PT включает двигатель компрессора $ДК$. Рабочая обмотка $РО$ двигателя $ДК$ непосредственно подключается к сети по цепи $A, KP-3, PT, TP, РО, Б$, а вспомогательная — $ВО$ — через фазосмещающий конденсатор $C2$ и пусковой конденсатор $Cп$ (для увеличения пускового момента). При разгоне двигателя $ДК$ полное сопротивление обмотки $ВО$ увеличивается за счет ее индуктивной составляющей. Падение напряжения на обмотке, которое поступает и на катушку реле напряжения $РН$, возрастает.

При 140—190 В реле $РН$ срабатывает и контактом $РН$ отключает пусковой конденсатор $Cп$, который затем разряжается через сопротивление R .

Тепловое реле TP с самовозвратом защищает двигатель $ДК$ от перегрузки, отключая его при токе 4,5—6,5 А для БК-1500 и при 7,5—10,5 А для БК-2500.

В режиме «Сильно» контакт $KP-1$ размыкается, а $KP-2$ замыкается, что отключает дополнительную обмотку $ДО$ двигателя вентилятора, увеличивая его скорость снижением числа пар полюсов до трех.

Шкафные кондиционеры. Шкафные кондиционеры (рис. 141, а) кроме воздухоохладителя $ВО$ имеют еще и электронагреватель $ЭН$, который включают для подогрева воздуха в переходные сезоны, отключая при этом холодильную машину. Ручные заслонки $1з$ и $2з$ позволяют установить желаемое соотношение наружного воздуха H и рециркулируемого из помеще-

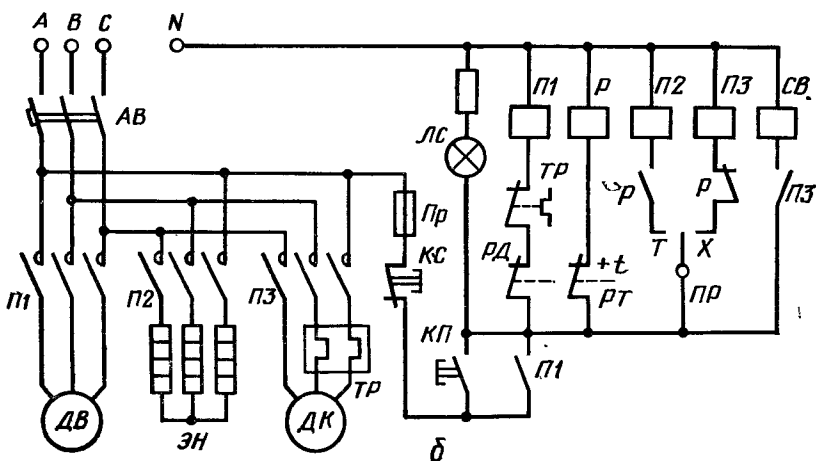
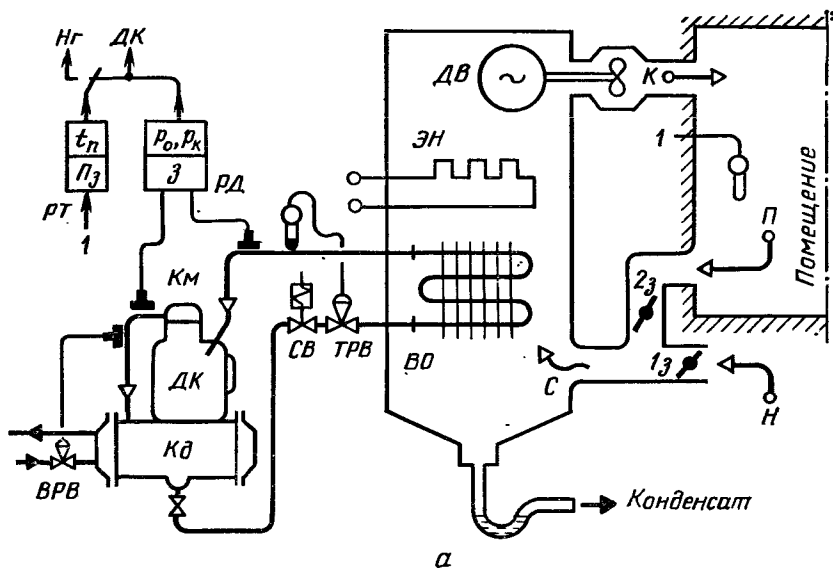


Рис. 141. Схема шкафного автономного кондиционера:
 а — технологическая; б — электрическая

ния П. Смесь С охлаждается в ВО до 16—18 °С, а затем, проходя через вентилятор, нагревается примерно на 0,5 °С (точка К) и подается в помещение.

Влажность воздуха в этой схеме не регулируется. Некоторая подсушка воздуха в летнее время возможна лишь тогда, когда относительная влажность или температура наружного воздуха достаточно высоки — точка росы выше 16—18 °С. Тогда при охлаждении до 16—18 °С часть влаги выпадает.

Для косвенного регулирования относительной влажности можно увеличить эффективность осушки, охлаждая воздух не до 16—18 °С, а до 9—10 °С. Для этого надо установить второе реле температуры (2РТ), регулирующее точку росы (датчик его укрепить после ВО), а температуру в помещении поддерживать включением и отключением нагревателя ЭН от 1РТ.

В электрической схеме (рис. 141, б) переключатель Пр может быть установлен на цикличное включение только компрессора (режим «Холод» Х) или только нагревателя (режим «Тепло» Т). При рассмотрении схемы обратите внимание, что реле температуры РТ (типа ДТКБ-50) при повышении температуры размыкает свои контакты. Тогда промежуточное реле Р отключается и в режиме «Холод» своим нормально замкнутым контактом включает пускатель компрессора ПЗ. При срабатывании приборов защиты (ТР или РД) отключается пускатель вентилятора П1 и блок-контакт П1 снимает самопитание, останавливая при этом компрессор или нагреватель. Для повторного пуска надо нажать кнопку КП.

Упражнение. Продумайте, какие нужно внести изменения в обе схемы на рис. 141, чтобы обеспечить регулирование относительной влажности по точке росы.

Для увлажнения воздуха в шкафных кондиционерах иногда предусматривают водораспылитель.

Кондиционер-осушитель. В некоторых помещениях (сырых подвалах, складах гигроскопических товаров, новостройках) требуется только осушение воздуха (без охлаждения). Для этого используют холодильную машину с воздушным охлаждением конденсатора. Влажный воздух из помещения вентилятором подается на испаритель, излишняя влага конденсируется и удаляется, а сухой холодный воздух направляется на конденсатор, где он подогревается и подается в помещение.

При необходимости кроме осушки еще и охлаждать помещение, на конденсатор можно подавать только часть холодного воздуха, чтобы подогреть его до нужной температуры и подавать в помещение смесь холодного и теплого воздуха.

Для упражнения составьте принципиальную и электрическую схемы такого кондиционера-осушителя.

§ 42. ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КОНДИЦИОНЕРЫ

Для кондиционирования нескольких больших помещений применяют центральные кондиционеры. Типовая схема такого кондиционера показана на рис. 142. Кондиционер имеет несколько секций: калорифер 1К (1-й подогрев) для подогрева воздуха зимой; фильтр Ф; оросительную камеру ОК, в которую насосом Н из бака холодной воды подается вода 1Х и разбрызгивается через форсунки (отепленная вода 1Т сливается в бак теплой воды); калорифер 2К (2-й подогрев). Кроме оросительной камеры иногда ставят сухой воздухоохладитель, а

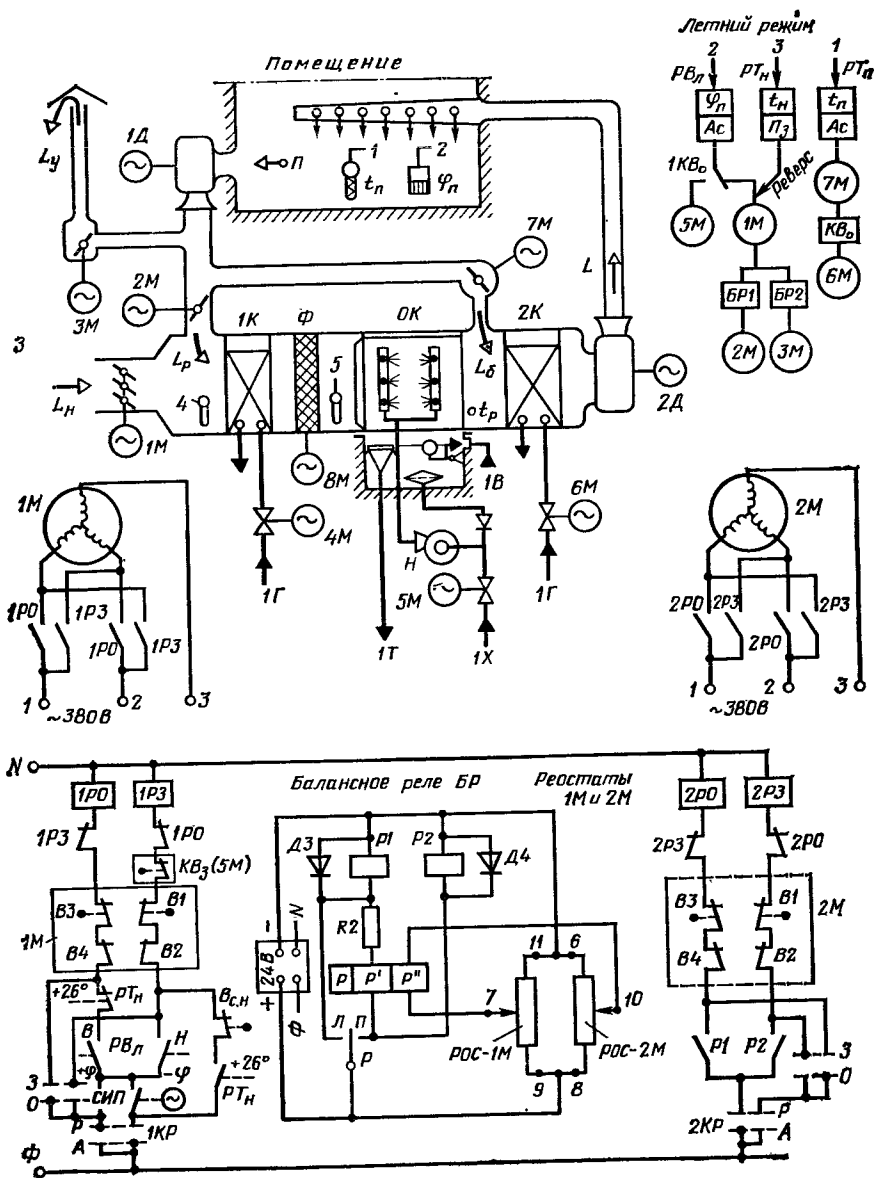


Рис. 142. Схемы автоматизации центрального кондиционера: технологическая и электрические (регулирование влажности)

оросительную камеру используют только зимой для увлажнения воздуха.

После обработки в кондиционере воздух (L , кг/с) вентилятором с двигателем $2Д$ подается в помещение. Вследствие тепло- и влагопритоков (зимой—тепло- и влагопотери) температура и относительная влажность воздуха в помещении отклоняются от оптимальных значений. Воздух из помещения удаляется вытяжным вентилятором с двигателем $1Д$. Часть воздуха L_p снова поступает в кондиционер, где смешивается с наружным воздухом L_n и обрабатывается в кондиционере, а другая часть L_y —удаляется наружу ($L_y \approx L_n$). Часть воздуха L_6 по линии байпаса может подаваться к калориферу $2К$ (минуя $1К$ и $ОК$). Рассмотрим работу кондиционера в летнем и зимнем режимах.

Летний режим. В летнем режиме обычно требуется охладить помещение и отводить из него влагу. Смесь наружного и рециркулируемого воздуха ($L_n + L_p$) очищается от пыли в масляном фильтре Φ (калорифер $1К$ не работает) и в оросительной камере охлаждается водой до температуры t_p ($6-12^\circ\text{C}$). Часть влаги из теплого воздуха конденсируется (на поверхности холодных капель) и стекает в поддон оросительной камеры.

После оросительной камеры сухой и холодный воздух надо подогреть до $16-18^\circ\text{C}$. Это можно сделать в калорифере $2К$, но экономичнее использовать для этого теплый воздух из помещения, который подается по линии байпаса (L_6). Однако возможность подогрева таким способом ограничена, так как с увеличением L_6 падает доля осушаемого воздуха ($L_n + L_p$) и для отвода тех же влагопритоков приходится еще более снижать его температуру t_p . Поэтому, когда возможности байпасирования исчерпаны, приходится включать калорифер $2К$.

Для автоматического регулирования температуры в помещении применяют реле температуры $РТ_n$ (типа ТМ8—трехпозиционное с импульсным прерывателем, см. с. 137). При низкой температуре t_n это реле (I) включает двигатель $7М$ (типа МЭМ-40), управляющий заслонкой на линии байпаса. При полном открытии заслонки, если t_n осталась ниже заданной, концевой выключатель $КВ_0$ двигателя $7М$ включает двигатель $6М$, который увеличивает количество горячей воды $1Г$, поступающей на калорифер $2К$.

Относительная влажность автоматически поддерживается регулятором влажности $РВл$ (для точного регулирования применяют регулятор влажности ВВ4 с датчиком типа ДИВТ).

Когда температура наружного воздуха ниже, чем в помещении, то с повышением ϕ_n регулятор 2 , воздействуя на двигатель $1М$, увеличивает подачу наружного воздуха. При этом через балансное реле $БР1$ уменьшается количество рециркулируемого воздуха (двигателем $2М$), а через $БР2$ двигателем $3М$ больше удаляется воздуха из помещения. При полном открытии L_n концевой выключатель $1КВ_0$ двигателя $1М$ переключает управле-

ние на двигатель $5M$, который увеличивает подачу холодной воды, снижая точку росы.

Если температура наружного воздуха φ_n стала выше 26°C (т. е. выше, чем температура в помещении), то регулятор 3 переключает двигатель $1M$ на закрытие (реверс). При снижении L_n до санитарной нормы выключатель $B_{с.н}$ остановит $1M$ и даст команду в схему $5M$ на регулирование влажности изменением подачи холодной воды (t_p).

Рассмотрим, как осуществляется взаимодействие двигателей $1M$ и $2M$ (следящая схема) по электрической схеме на рис. 142.

При повышении φ_n замыкается контакт B («выше») регулятора влажности $PВл$. Если ключ $1KP$ установлен на режим A («Автоматика»), то включается реле открытия $1PO$ реверсивного пускателя, которое двумя своими контактами включает двигатель исполнительного механизма $1M$ (типа МЭМ-40), и клапан подачи наружного воздуха L_n начинает открываться. Движок реостата обратной связи двигателя $1M$ ($POC-1M$), включенного в мостовую схему балансного реле BP (типа БРЗ), начинает перемещаться. Мост выходит из равновесия (определяемого равенством $R_{7,11}R_{8,10}=R_{7,9}R_{6,10}$), и в диагонали $7, P''$, 10 появляется ток. Правая катушка P'' поляризованного реле P срабатывает, и контакт $П$ реле P включает выходное реле $P2$, одновременно по цепи «+», $П$, P' , R_2 , P^1 , «—» запитывается дополнительная катушка P' реле P , которая удерживает контакт $П$ от вибрации. Контакт $P2$ включает реле $2P3$, обеспечивающее включение двигателя $2M$ на закрытие подачи рециркулируемого воздуха.

При этом на $POC-2M$ изменяется соотношение сопротивлений $R_{8,10}$ и $R_{6,10}$ и мост приходит в равновесие. При остановке $M1$ реле $P2$ отключается, останавливая двигатель $2M$.

По аналогичной следящей схеме увеличение L_n двигателем $1M$ вызывает увеличение L_y двигателем $3M$.

Если влажность продолжает увеличиваться и двигатель $1M$ открыл клапан до предела, то один из концевых выключателей $1KB_0$ дает команду двигателю $5M$ на увеличение подачи холодной воды, т. е. на снижение температуры росы t_p (на электрической схеме не показано).

При уменьшении влажности сначала закрывается подача холодной воды двигателем $5M$, а затем его концевой выключатель KB_2 включает на закрытие двигатель $1M$. Соотношение сопротивлений на $POC-1M$ изменяется в обратную сторону, и катушка P'' балансного реле замыкает левый контакт $Л$ реле P . При этом включается реле $P1$ и контакт его включает реле $2P3$, которое меняет фазы на обмотках двигателя $2M$. Количество L_p уменьшается.

Зимний режим. В зимнем режиме надо обогревать и увлажнять помещение. Наружный воздух подогревается до такой температуры, чтобы после увлажнения в оросительной камере (на-

сос H работает на циркуляцию, так как клапан, управляемый двигателем $5M$, закрыт) абсолютная влажность подаваемого воздуха стала выше, чем в помещении. При адиабатическом увлажнении в OK воздух охлаждается. Поэтому его еще подогревают в калорифере $2K$ и затем подают в помещение.

При автоматическом регулировании влажности регулятор с понижением φ_n (или температуры росы) обеспечивает увеличение L_p двигателем $2M$ и одновременное уменьшение L_n (двигателем $1M$) и L_y ($3M$) по той же следящей схеме, как и в летнем режиме. После полного открытия рециркуляции L_p конечным выключателем двигателя $2M$ включается 1-й подогрев (двигатель $4M$ увеличивает подачу на калорифер горячей воды $1Г$). Более теплый воздух больше увлажняется.

Температура в помещении регулируется изменением интенсивности подогрева в калорифере $2K$.

Для защиты от замерзания воды зимой при работе кондиционера реле температуры с датчиком 4 и 5 включают двигатель $4M$ для прогрева калорифера при температуре t_4 ниже 3°C и температуре t_5 (за калорифером) ниже 25°C . Кроме того, реле температуры наружного воздуха (трехпозиционное) отключает подачу L_n при $t_n < 3^\circ\text{C}$ (зимой), летом при $t_n > 26^\circ\text{C}$ переключает на максимальную рециркуляцию.

При отключенном кондиционере при температуре ниже 3°C в калориферы также автоматически подается горячая вода для прогрева.

В электрических схемах кроме регулирования и защиты предусматривают различную блокировку, обеспечивающую последовательность включения отдельных узлов.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ**

	Отбор давления
	Чувствительные элементы температуры: а) общее обозначение; б) манометрические; в) термосопротивления
	Чувствительный элемент уровня поплавковый
	Преобразователь расхода жидкости
	Чувствительный элемент относительной влажности
	Запорные вентили: проходной и трехходовой
	Регулирующий вентиль
	Электромагнитный (соленоидный) вентиль
	Регулирующий клапан с электроприводом
	Регулирующие клапаны с мембранным и поршневым приводом
	Поток газа (светлый треугольник) и жидкости (темный треугольник)
	Нерегулируемое отверстие (дрозсель)



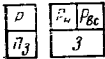
Фильтр



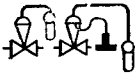
Обратный (невозвратный) клапан



Предохранительный клапан



Приборы регулирующие, сигнализирующие*



ТРВ с внутренним и внешним отбором



Реле разности давлений с целью защиты (например, РКС)



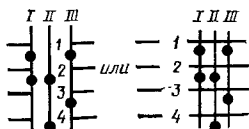
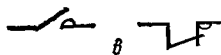
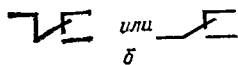
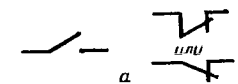
Реле времени, программное реле



Показывающий прибор (например, манометр)

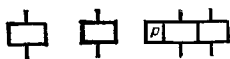
* Над чертой указывается воспринимаемый параметр, под чертой функции прибора: Пз — двухпозиционное регулирование; Ст — статическое (плавное) регулирование и т. д.; З — защита; Сг — сигнализация; П — показывающий

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ**

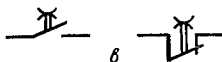
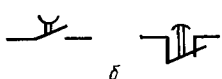
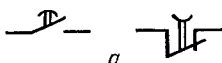


Контакты электромагнитного реле, магнитного пускателя, включателя, переключателя: *а* — замыкающий (слева); *б* — размыкающий (справа); *в* — в силовой цепи

Переключатель четырех цепей на три положения



Обмотка электромагнитного реле, магнитного пускателя, реле времени (слева), электромагнита (в центре), поляризованного реле с двумя обмотками (справа)



Контакт реле времени: *а* — с замедлителем; замыкающий (справа); *б* — с замедлителем, действующим при возврате; *в* — с замедлителем, действующим при срабатывании и возврате



Тепловое реле: нагреватель (слева), контакт (справа)



Выключатель кнопочный с самовозвратом



Автоматический выключатель (автомат) однополюсный и трехполюсный

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. УСЛОВНЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ ПРИБОРОВ

Тип прибора	Обозначения		
	Принятые в учебнике	В электро-схемах по ГОСТ 2.710—75	В технологических схемах по ОСТ 3627—77*
Преобразователь температуры	T, R_t	<i>BK</i>	<i>TE</i>
Термометр	<i>T</i>	—	<i>TI</i>
Реле температуры	<i>PT</i>	<i>SK</i>	<i>TC(TS)</i>
Реле разности температур	<i>PPT</i>	—	<i>TDC(TDS)</i>
Регулятор температуры	<i>PeT</i>	—	<i>TC</i>
Преобразователь давления	—	<i>BP</i>	<i>PE</i>
Манометр	<i>M</i>	—	<i>PI</i>
Реле давления	<i>PД</i>	<i>SP</i>	<i>PC (PS)</i>
Регулятор давления	<i>PeД</i>	—	<i>PC</i>
Реле разности давлений	<i>PPД (PKC)</i>	—	<i>PDC₁(PDS)</i>
Преобразователи уровня	—	—	<i>LE</i>
Реле уровня	<i>PУ</i>	<i>SL</i>	<i>LC(LS)</i>
Реле расхода	<i>PP</i>	—	<i>FC (FS)</i>
Соленондные вентили	<i>CB</i>	<i>YA</i>	—
Двигатели	<i>Д</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
Автоматические выключатели	<i>A(AB)</i>	<i>QE(SE)</i>	—
Магнитные пускатели	<i>П</i>	<i>KM</i>	<i>NS</i>
Реле напряжения	<i>P</i>	<i>KV</i>	—
Реле токовое (пусковое)	<i>P, (PP)</i>	<i>KA</i>	—
Реле времени	<i>PВ</i>	<i>KT</i>	—
Программное реле	<i>ПрP</i>	—	<i>KIS</i>
Выключатели ручные	<i>B</i>	<i>SA</i>	<i>HS</i>
Переключатель режимов	<i>PP, KP</i>	<i>SA</i>	<i>HS</i>
Выключатель концевой	<i>BК</i>	<i>SQ</i>	—
Тепловое реле	<i>TP</i>	<i>KK</i>	—
Нагреватель	<i>He</i>	<i>EK</i>	—

* Регулируемые параметры (указываются на 1-м месте): *T* — температура; *P* — давление; *L* — уровень; *F* — расход; *M* — влажность; *K* — время; *H* — ручное воздействие. Функции прибора:

I — многоточечное (с обеганием); *I* — показание; *Q* — витеррирование; *R* — регистрация (запись); *S* — включение, переключение; *A* — сигнализация; *C* — регулирование.

Дополнительные обозначения:

D(d) — разность, перепад (ставится после параметра); *E* — первичный преобразователь; *T* — дистанционная передача; *H* и *L* — верхний и нижний пределы (указывается в конце).

Например:

Реле температуры

для защиты (отключения)

TS;

для защиты и сигнализации

TSA;

для двухпозиционного регулирования

TC.

Аналогично и для других реле.

Первичные преобразователи и приборы по месту на схемах обозначаются кружком (овалом). Буквы ставятся внутри круга. Цифры означают номер по спецификации. Приборы на щите, пульте внутри круга (овала) имеют горизонтальную черту. Буквы пишутся над чертой.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ
ХЛАДАГЕНТОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ [$p_{\text{нас}} \cdot 10^5$, Па; t , °C]**

t	R12BI	R142	R12	R717	R22	[R502	R13BI	R13
—100			0,012		0,021		0,077	0,333
—95			0,019		0,03		0,112	0,462
—90			0,029		0,048		0,160	0,628
—85			0,043		0,071	0,101	0,223	0,837
—80			0,062		0,103	0,143	0,305	1,10
—75			0,088	0,075	0,147	0,200	0,410	1,42
—70			0,123	0,11	0,205	0,274	0,542	1,80
—69			0,131	0,118	0,218	0,291	0,575	1,89
—68			0,139	0,126	0,232	0,309	0,608	1,98
—67			0,148	0,136	0,247	0,328	0,641	2,07
—66			0,158	0,146	0,263	0,348	0,674	2,17
—65			0,168	0,156	0,279	0,369	0,707	2,27
—64			0,178	0,167	0,297	0,390	0,747	2,37
—63			0,190	0,179	0,315	0,413	0,787	2,47
—62			0,201	0,192	0,334	0,437	0,827	2,58
—61			0,213	0,205	0,354	0,462	0,867	2,69
—60		0,072	0,226	0,219	0,375	0,488	0,908	2,81
—59		0,077	0,240	0,233	0,397	0,516	0,95	2,93
—58		0,082	0,254	0,249	0,420	0,544	1,0	3,05
—57		0,088	0,268	0,266	0,444	0,574	1,05	3,18
—56		0,094	0,284	0,283	0,470	0,605	1,10	3,31
—55		0,100	0,300	0,302	0,496	0,637	1,15	3,45
—54		0,107	0,317	0,321	0,523	0,671	1,21	3,59
—53		0,114	0,334	0,342	0,552	0,706	1,27	3,73
—52		0,121	0,353	0,363	0,582	0,742	1,33	3,88
—51		0,128	0,373	0,386	0,613	0,781	1,39	4,03
—50		0,136	0,393	0,409	0,646	0,820	1,45	4,19
—49		0,145	0,414	0,434	0,680	0,861	1,51	4,36
—48		0,154	0,435	0,459	0,715	0,903	1,58	4,52
—47		0,163	0,458	0,487	0,752	0,948	1,65	4,69
—46		0,172	0,481	0,515	0,790	0,994	1,72	4,87
—45	0,140	0,182	0,506	0,546	0,830	1,04	1,79	5,05
—44	0,151	0,193	0,531	0,577	0,872	1,09	1,87	5,23
—43	0,162	0,204	0,556	0,610	0,915	1,14	1,95	5,42
—42	0,173	0,216	0,585	0,644	0,956	1,19	2,03	5,62
—41	0,185	0,228	0,613	0,681	1,01	1,25	2,11	5,82
—40	0,197	0,240	0,643	0,718	1,05	1,31	2,20	6,03
—39	0,208	0,254	0,674	0,757	1,10	1,37	2,29	6,24
—38	0,220	0,268	0,705	0,798	1,15	1,43	2,38	6,46
—37	0,232	0,282	0,738	0,841	1,20	1,49	2,47	6,68
—36	0,244	0,296	0,773	0,885	1,26	1,56	2,57	6,91
—35	0,257	0,312	0,808	0,932	1,32	1,63	2,67	7,14
—34	0,270	0,329	0,845	0,981	1,38	1,69	2,78	7,38
—33	0,284	0,346	0,883	1,03	1,44	1,76	2,89	7,63
—32	0,298	0,364	0,922	1,08	1,50	1,84	3,00	7,88
—31	0,313	0,382	0,963	1,14	1,57	1,92	3,11	8,14
—30	0,329	0,400	1,005	1,2	1,64	2,00	3,22	8,40
—29	0,345	0,421	1,05	1,25	1,71	2,08	3,34	8,67
—28	0,362	0,443	1,09	1,32	1,79	2,16	3,46	8,94
—27	0,379	0,465	1,14	1,38	1,86	2,25	3,59	9,22
—26	0,397	0,487	1,19	1,45	1,94	2,34	3,72	9,52
—25	0,416	0,509	1,24	1,52	2,02	2,43	3,85	9,81
—24	0,436	0,535	1,29	1,59	2,10	2,53	3,99	10,1

<i>t</i>	R12B1	R142	R12	R717	R22	R502	R13B1	R13
-23	0,457	0,561	1,34	1,66	2,18	2,63	4,13	10,4
-22	0,478	0,587	1,39	1,74	2,27	2,73	4,27	10,7
-21	0,499	0,613	1,45	1,82	2,36	2,83	4,42	11,1
-20	0,520	0,639	1,51	1,90	2,46	2,94	4,57	11,4
-19	0,546	0,670	1,57	1,99	2,55	3,05	4,73	11,7
-18	0,572	0,701	1,63	2,08	2,65	3,16	4,89	12,1
-17	0,598	0,732	1,69	2,17	2,75	3,27	5,05	12,5
-16	0,624	0,763	1,76	2,26	2,86	3,39	5,21	12,8
-15	0,650	0,795	1,83	2,36	2,97	3,51	5,38	13,2
-14	0,679	0,832	1,90	2,46	3,08	3,64	5,56	13,5
-13	0,708	0,869	1,97	2,57	3,19	3,77	5,74	13,9
-12	0,737	0,906	2,04	2,68	3,31	3,90	5,92	14,3
-11	0,766	0,943	2,11	2,79	3,43	4,03	6,10	14,7
-10	0,795	0,98	2,19	2,91	3,55	4,17	6,29	15,1
-9	0,83	1,02	2,27	3,03	3,68	4,32	6,49	15,5
-8	0,865	1,06	2,35	3,15	3,81	4,46	6,69	16,0
-7	0,90	1,10	2,43	3,28	3,94	4,61	6,89	16,4
-6	0,935	1,15	2,52	3,41	4,08	4,76	7,10	16,8
-5	0,97	1,20	2,61	3,55	4,22	4,92	7,31	17,3
-4	1,01	1,25	2,70	3,69	4,37	5,08	7,53	17,7
-3	1,05	1,30	2,79	3,83	4,52	5,24	7,76	18,2
-2	1,09	1,35	2,89	3,98	4,67	5,41	7,99	18,7
-1	1,13	1,40	2,99	4,14	4,82	5,59	8,22	19,2
0	1,17	1,45	3,09	4,30	4,98	5,76	8,45	19,7
1	1,21	1,50	3,19	4,46	5,15	5,94	8,70	20,2
2	1,26	1,55	3,30	4,63	5,32	6,13	8,95	20,7
3	1,31	1,61	3,41	4,80	5,49	6,32	9,20	21,2
4	1,36	1,67	3,52	4,98	5,66	6,51	9,46	21,7
5	1,41	1,73	3,63	5,16	5,84	6,71	9,72	22,3
6	1,46	1,80	3,75	5,35	6,03	6,91	9,9	22,8
7	1,51	1,87	3,87	5,54	6,22	7,11	10,2	23,4
8	1,56	1,94	3,99	5,74	6,41	7,32	10,5	24,0
9	1,62	2,01	4,11	5,94	6,51	7,54	10,8	24,6
10	1,68	2,08	4,24	6,15	6,81	7,76	11,1	25,2
11	1,74	2,15	4,37	6,37	7,02	7,98	11,4	25,8
12	1,80	2,22	4,50	6,59	7,23	8,21	11,7	26,4
13	1,86	2,30	4,64	6,81	7,44	8,45	12,0	27,0
14	1,92	2,38	4,78	7,04	7,66	8,69	12,3	27,7
15	1,99	2,46	4,93	7,28	7,89	8,93	12,7	28,3
16	2,06	2,54	5,07	7,53	8,12	9,18	13,0	29,0
17	2,13	2,63	5,22	7,78	8,36	9,43	13,3	29,7
18	2,20	2,72	5,37	8,04	8,60	9,69	13,6	30,4
19	2,27	2,81	5,53	8,30	8,84	9,95	14,0	31,1
20	2,34	2,90	5,69	8,57	9,09	10,2	14,4	31,8
21	2,42	3,0	5,85	8,85	9,35	10,5	14,7	32,5
22	2,50	3,1	6,02	9,13	9,61	10,8	15,0	33,3
23	2,58	3,2	6,19	9,43	9,88	11,1	15,4	34,0
24	2,66	3,3	6,36	9,72	10,2	11,4	15,8	34,8
25	2,74	3,4	6,54	10,0	10,4	11,7	16,2	35,6
26	2,83	3,51	6,72	10,3	10,7	12,0	16,6	36,4
27	2,92	3,62	6,91	10,7	11,0	12,3	17,0	37,2
28	3,01	3,73	7,10	11,0	11,3	12,6	17,4	38,0
29	3,10	3,84	7,29	11,3	11,6	12,9	17,8	38,7
30	3,19	3,95	7,48	11,7	11,9	13,2	18,2	
31	3,29	4,07	7,68	12,0	12,2	13,5	18,6	

<i>t</i>	R12B1	R142	R12	R717	R22	R502	R13B1	R13
32	3,39	4,2	7,88	12,4	12,5	13,8	19,0	
33	3,49	4,33	8,09	12,7	12,9	14,2	19,4	
34	3,59	4,45	8,30	13,1	13,2	14,6	19,9	
35	3,7	4,58	8,52	13,5	13,5	14,9	20,4	
36	3,81	4,72	8,74	13,9	13,9	15,3	20,8	
37	3,92	4,86	8,96	14,3	14,2	15,7	21,3	
38	4,03	5,00	9,19	14,7	14,6	16,0	21,8	
39	4,14	5,13	9,42	15,1	14,9	16,4	22,3	
40	4,25	5,27	9,65	15,5	15,3	16,8	22,8	
45	4,87	6,05	10,9	17,8	17,3	18,8	25,4	
50	5,55	6,9	12,3	20,3	19,4	21,0	28,3	
55	6,31	7,84	13,7	23,1	21,7	23,3	31,4	
60	7,14	8,87	15,2	26,2	24,2	25,8	34,7	
65	8,04	10,0	16,9	29,5	27,0	28,6	38,3	
70	9,03	11,3	18,8	33,2	29,9	31,7		
75	10,1	12,7	20,8	37,2	33,1	35,0		
80	11,3	14,1	23,0	41,5	36,3	39,0		
85	12,5	15,7	25,3	46,1	40,3	41,3		
90	13,9	17,4	27,8	51,2	44,5			
95	15,3	19,3	30,5	56,7	49,4			
100	16,9	21,3	33,4	62,6				

Примечание. Значение давлений для R12B1, R142, R13B1, приводимые в справочниках с интервалом 5 °С, здесь интерполированы автором.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайнштейн В. Д., Канторович В. И. Низкотемпературные холодильные установки. — М.: Пищевая промышленность, 1972.—371 с.
2. Зелниковский И. Х., Каплан Л. Г. Малые холодильные машины и установки. — М.: Пищевая промышленность, 1978—1979.
 - Т.1. Малые холодильные машины, 1978.
 - Т.2. Малые холодильные установки, 1979.
3. Каплан Л. Г. Торговое холодильное оборудование. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.—288 с.
4. Канторович В. И. Основы автоматизации холодильных установок. — М.: Пищевая промышленность, 1968.—280 с.
5. Канторович В. И., Гиль И. М. Устройство, монтаж и ремонт холодильных установок. — М.: Агропромиздат, 1985.—320 с.
6. Канторович В. И., Свищев В. В., Ямпольский Е. Г. Лабораторные работы по холодильным установкам. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. — 160 с.
7. Ключев А. С., Глазов Б. В., Миндлин М. Б. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля. — М.: Энергоиздат, 1983. — 375 с.
8. Мальгина Е. В., Мальгин Ю. В., Суедов В. П. Холодильные машины и установки. — М.: Пищевая промышленность, 1980.—592 с.
9. Нуждин А. С., Ужанский В. С. Измерения в холодильной технике. — М.: Агропромиздат, 1986. — 367 с.
10. Основы промышленной электроники [Под ред. В. Г. Герасимова]. Изд. 3-е. — М.: Высшая школа, 1986. — 336 с.
11. Правила устройства и безопасной эксплуатации аммиачных холодильных установок. — М.: ВНИКТИхолодпром, 1981.—157 с.
12. Свердлов Г. З., Явнель Б. К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и установок кондиционирования воздуха. — М.: Пищевая промышленность, 1978. — 264 с.
13. Ужанский В. С. Автоматизация холодильных машин и установок. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.—304 с.
14. Ямпольский Е. Г., Рябов В. И. Основы электротехники и электрооборудование холодильных установок и торгово-технологических машин и аппаратов. — М.: Пищевая промышленность, 1979.—207 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

- Абсолютная погрешность 63
- Аварийная защита 12
- Автоматизация кондиционеров 263
 - — оконных 265
 - — центральных 269
 - — шкафных 267
- Автоматический контроль 10
- Автоматическое регулирование 4, 11
- Автоматический регулятор, классификация, подбор 11, 38, 50
 - — астатический 40
 - — двухпозиционный 47
 - — интегральный 44
 - — многоточечный 38
 - — пропорциональный 41
 - — пропорционально-дифференциальный 43
 - — пропорционально-интегральный 46
 - — прямого и непрямого действия 36, 37
 - — трехпозиционный 49
- Автоматические системы 10
 - — защиты 12
 - — контроля 10
 - — отслеживания нагрузки 12, 17
 - — регулирования 4, 11, 14
 - — управления 4, 10
- Автоматическое управление 4, 10
- Астатическая система автоматического регулирования 21
- Астатическое шаговое регулирование 59
 - — с одним реле температуры 61

Б

- Безразмерные параметры 19, 32
- Бесконтактные реле 86

В

- Визуальный указатель уровня 150
- Время регулирования 23

Г

- Генераторы прямоугольных электрических колебаний 85
- Геркон 71

Д

- Датчики емкостные 71
 - индуктивные 71
 - омические 69
- Диапазон изменения контролируемой величины 69
- Диапазон пропорциональности 42
 - регулирования начала открытия 43
- Дифференциал регулятора 48
- Динистор 74

З

- Задающее устройство 36
- Закон регулирования (основной) 9
- Запаздывание чистое (транспортное) 32
 - инерционное (переходное) 31
- Защита аварийная 12
 - компрессора и аммиачного насоса 203
 - от влажного хода 201
 - от высокого давления 198
 - от нарушения системы смазки 200
 - от перегрева компрессора 199
 - от перегрева обмоток электродвигателя 202
 - от пониженного давления 200
 - профилактическая 12
- Защитные приборы 204
- Защитные схемы (электрические) 206
- Зона нечувствительности (гистерезис) 48, 69

И

- Изменение холодопроизводительности 166
 - — винтового компрессора 259
 - — пуском и остановкой компрессора 167

- — изменением частоты вращения 171
- — отжимом всасывающих клапанов астатическое 172
- — — — пропорциональное 174

- Измерительный прибор 63
- Импульсный прерыватель 62, 90
- Индикатор 189
- Исполнительный механизм 37, 65
- — поршневого типа 92
- — мембранный 93
- — электромагнитный 94
- — — переключающий 96
- — электромоторный 97

К

- Капиллярная трубка 187
- Качество регулирования 22
- Класс точности прибора 67
- Коэффициент рабочего времени 49
- усиления объекта 28
- — регулятора 41

Л

- Логические элементы 76
- Логометр 23

М

- Магнитоуправляемые контакты — см. герконы
- Манометрические термосистемы 115
- — газовые 116
- — жидкостные 116
- — порожидкостные 116
- — с твердым адсорбентом 117
- Манометры 103
- Мосты равновесные 73
- неравновесные 73
- Мультивибратор 85

Н

- Нагрузка 9
- ступенчатая 19
- импульсная 19
- синусоидальная 20
- Неравномерность регулятора 42

О

- Обратная связь 11
- — в электронных усилителях 83
- Объект 9
- без самовыравнивания 25
- двухъёмкостный 26
- одноёмкостный 26
- с распределенными параметрами 9
- с самовыравниванием 26

- Основной закон регулирования 9
- Операционные усилители 76
- Оптимизирующие системы 11
- Оптроны 75

П

- Переходное запаздывание (время регулирования) 23, 31
- Переходный процесс 20
- — аperiodический 20
- — объекта 29
- Погрешность абсолютная 66
- приведенная 66
- относительная 67
- срабатывания 68
- Полупроводниковый диод 74
- Помехи 12
- Поплавковые регуляторы прямого действия 153
- — непрямого действия ПРУД 154
- — — — ПРУДВ 155
- — — — РУКЦ 157
- — выбор и установка 184
- Пороговый элемент 69, 65
- Постоянная времени 31
- Преимущества автоматизации 13
- Преобразователи влажности 161
- концентрации аммиака 164
- расхода 158
- температуры 113
- уровня 148, 149
- Приборы автоматизации, общие показатели 63, 65
- — специфические 66
- защиты 204
- Программные системы 11
- Пропорциональное шаговое регулирование 57
- Пропускная способность регулятора 68
- Профилактическая защита 12
- Процесс регулирования 18
- Пульсы управления компрессорами, назначение 214
- — — ПУСК-11 215
- — — УК-74 218
- — — А-80 220
- Пьезоэлектрический датчик 103

Р

- Рассогласование 9
- Регулирование давления конденсации с воздушным охлаждением 190
- — — с водяным охлаждением 191
- Регулирование заполнения испарителей 178
- — — под действием разности давления 180

— — — под напором столба жидкости 181
 — — — насосно-циркуляционная схема 183
 Регулирование по нагрузке 12, 17
 — температуры в шкафу 167
 — — рассола 168
 — — в нескольких объектах 176
 Регулирование холодопроизводительности — см. изменение холодопроизводительности
 Регулируемые параметры 9
 — — холодильных установок 33
 Регулирующее воздействие 9
 Регулирующий орган 37, 100
 Регулятор — см. автоматический регулятор
 — влажности 163
 — давления прямого действия 111
 — — непрямого действия 112
 — перегрева — см. ТРВ
 — уровня — см. поплавковые регуляторы
 — температуры 134
 — — электронные РТ-П 136
 — — — ТМ14 137
 Реле 64
 — влажности 163
 — времени многоцепное моторное 89
 — — пневматические 88
 — — программные 90
 — — тепловые 89
 — — электронные 89
 — давления одиоблочные 106
 — — двублочные 107
 — контроля смазки (РКС) — см. реле разности давлений
 — концентрации аммиака 164
 — разности давлений 109
 — разности температур РРТ-2 и РРТ-3 136
 — расхода РП67 160
 — — — РП-ГК-М 161
 — температуры, схема, настройка 47, 49
 — — биметаллические 127
 — — домашних холодильников 130
 — — манометрические 128
 — — многоточечные типа М4, АМУР 139
 — — — на базе моста КСМ4 139
 — — оттаивания испарителей 131
 — — ртутно-стеклянные 126
 — — — электронные РТ-2 и РТ-3 135
 — — — РТ-ПИ (с защитой двигателя от перегрузки) 137
 — — — ТМ2 137
 — — уровня ПРУ-5В 152
 — — ПРУ-ГК-03 153
 — электромагнитные нейтральные 87

С

Самовыравнивание 24, 25
 Светодиод 74
 Сигнализация 209, 212
 Сильфон 102
 Система автоматической защиты (САЗ) — см. автоматическая система защиты
 Система автоматического регулирования — см. автоматическая система регулирования
 Следящие системы 11
 Соленоидные вентили 94
 Стабилизирующие системы 11 (§ 2)
 Стабилитрон 74
 Статическая ошибка 21
 Статическая система автоматического регулирования 21
 — — — шаговая (пропорциональная) 57
 Статическая характеристика системы 21
 — — объекта 25, 27
 Статическое шаговое регулирование — см. пропорциональное шаговое регулирование
 Суммирующий прибор 63
 Схемы автоматизации 224
 — — аммиачных безнасосных установок 250
 — — — насосных установок 250
 — — — бесколлекторная 254
 — — винтовых компрессоров 257
 — — домашних холодильников 225
 — — малых машин 230
 — — торгового оборудования 228
 — — установок с рассольным охлаждением 242

Т

Термометры 121
 — жидкостные 121
 — дилатометрические 121
 — биметаллические 121
 — манометрические 121
 — электрические 122
 Термомпары 119
 Термосопротивление (терморезисторы) металлические 118
 — полупроводниковые 119
 Тиристор 74
 Точность (приведенная погрешность) 63
 Транзистор 75
 — полевой 90
 ТРВ 145
 — выбор 185
 — диапазон температур кипения 146

— динамика процесса регулирования 186
— номенклатура 147
— производительность 146
— прямого действия 144
— с внешним отбором 143
— с внутренним отбором 141
Триггеры 84
Трубчатая пружина 102

У

Удаление инея 192
— — внутренним обогревом 195
— — горячим паром с конденсацией его 196
— — наружным обогревом 194

Ф

Фотодиод 75

Фотосопротивление 75
Фототиристор 75

Ц

Цена деления 63

Ч

Чувствительность прибора 42
Чувствительный элемент 36

Э

Электроконтактные манометры 105
Электромоторные вентили 97
Электронные мосты уравновешенные КСМ4 123
Электронные патенциометры 125
Элемент сравнения (сумматор) 37

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к 3-му изданию	3
Введение	4
Основные обозначения	6
Глава 1. Основы автоматического управления	9
§ 1. Общие сведения	9
§ 2. Примеры систем автоматического регулирования	14
§ 3. Основные показатели систем автоматического регулирования	18
§ 4. Объекты регулирования	23
Самовыравнивание и статическая характеристика объекта	23
Холодильная камера как объект с самовыравниванием	26
Переходные характеристики объектов	29
Параметры, регулируемые в холодильных установках	33
§ 5. Автоматические регуляторы	36
Основные элементы	36
Классификации регуляторов	38
Характеристика основных типов регуляторов	41
§ 6. Подбор типа регуляторов и их настройка	50
Плавное регулирование	50
Двухпозиционное регулирование	54
Многопозиционное регулирование	57
Глава 2. Общие элементы приборов автоматики	63
§ 7. Основные типы приборов	63
Классификация	63
Технические показатели	65
§ 8. Преобразователи перемещений в изменение электрических величин	69
§ 9. Полупроводниковые элементы и микросхемы	73
Основные элементы	74
Фотоэлементы	75
Сложные элементы, микросхемы	76
§ 10. Усилители	78
Механические усилители	78
Электронные усилители	80
Электронные ключевые схемы	84
§ 11. Электрические реле	86
Электромагнитные реле	87
Реле времени	88
Программные реле времени	90
§ 12. Исполнительные механизмы	92
Пневматические исполнительные механизмы	92
Электромагнитные (соленоидные) вентили	94
Электромоторные вентили	97
§ 13. Регулирующие органы	99
Глава 3. Приборы измерения и регулирования давления	101
§ 14. Преобразователи давления. Манометры	101
§ 15. Реле давлений	105
§ 16. Регуляторы давления	111

Глава 4. Приборы измерения и регулирования температуры	113
§ 17. Преобразователи температуры	113
Термоэлементы расширения	113
Манометрические термосистемы	115
Электрические термопреобразователи	118
§ 18. Термометры показывающие и записывающие	121
Термометры расширения и манометрические	121
Электрические термометры	122
§ 19. Реле и регуляторы температуры	126
Жидкостные и биметаллические реле	126
Манометрические реле и регуляторы температуры	128
Электронные реле и регуляторы температуры	135
Глава 5. Регуляторы перегрева и уровня	141
§ 20. Регуляторы перегрева (ТРВ)	141
ТРВ с внутренним отбором	141
ТРВ с внешним отбором	143
Техническая характеристика ТРВ	145
§ 21. Приборы для измерения и регулирования уровня	148
Элементы преобразования и указатели уровня	148
Регуляторы и реле уровня	152
Глава 6. Реле расхода, влажности воздуха и концентрации паров аммиака	158
§ 22. Реле расхода жидкости и газа	158
§ 23. Регуляторы влажности	161
§ 24. Реле концентрации паров аммиака	163
Глава 7. Регулирование основных параметров	165
§ 25. Регулирование температуры	165
Регулирование температуры в одном охлаждаемом объекте	165
Способы изменения холодопроизводительности компрессора	171
Регулирование температуры в нескольких объектах	176
§ 26. Регулирование заполнения испарителей	178
Оптимальное заполнение испарителей и способы его контроля	178
Основные схемы заполнения испарителей	179
Выбор и установка регуляторов уровня	184
Выбор и установка регуляторов перегрева	185
Косвенные методы регулирования заполнения испарителей	187
§ 27. Регулирование давления конденсации	190
§ 28. Автоматическое удаление неия	192
Глава 8. Автоматическая защита и сигнализация	198
§ 29. Основные параметры, требующие защиты	198
§ 30. Электрические схемы включения приборов защиты	206
§ 31. Приборы и схемы сигнализации	209
Глава 9. Пульты управления компрессорами	214
§ 32. Назначение пультов	214
§ 33. Пульт «ПУСК-11»	215
§ 34. Пульт УК-74	218
§ 35. Пульт А80	220
Глава 10. Схемы автоматизации холодильных установок	224
§ 36. Основные требования к схемам автоматизации	224
§ 37. Автоматизация малых холодильных установок	225

	Домашние холодильники	225
	Торговое оборудование с герметичными агрегатами	228
	Малые холодильные машины с открытыми и бессальниковыми компрессорами	230
§ 38.	Автоматизация установок средней холодопроизводительности	240
§ 39.	Автоматизация крупных холодильных установок	244
	Общие сведения	244
	Установки с поршневыми компрессорами	247
	Автоматизация установок с винтовыми компрессорами	256
Глава 11. Автоматизация установок кондиционирования воздуха		263
§ 40.	Общие сведения	263
§ 41.	Местные автономные кондиционеры	265
§ 42.	Центральные кондиционеры	268
	Приложение 1. Условные обозначения в технологических схемах	273
	Приложение 2. Условные обозначения в электрических схемах	275
	Приложение 3. Условные наименования приборов	276
	Приложение 4. Зависимость давления насыщенных паров хладагентов от температуры	277
	Список рекомендуемой литературы	280
	Предметный указатель	281

ВАДИМ ИЗРАЙЛЕВИЧ КАНТОРОВИЧ
ЗОЯ ВАДИМОВНА ПОДЛИПЕНЦЕВА

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Зав. редакцией Л. В. Корбут
Редактор Г. А. Гусева
Художник Д. И. Бочаров
Художественный редактор Т. И. Мельникова
Технический редактор Г. Г. Хацкевич
Корректоры Л. И. Боршова и М. И. Писарева

ИБ № 4988

Сдано в набор 19.11.86. Подписано к печати 16.01.87. Т-00835. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 18,0+0,25 форзац. Усл. кр.-отт. 18,5. Уч.-изд. л. 18,63+0,30 форзац. Изд. № 29. Тираж 15 000 экз. Заказ № 688. Цена 90 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО «Агропромиздат», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 113105, Москва, Нагатинская ул., д. 1.