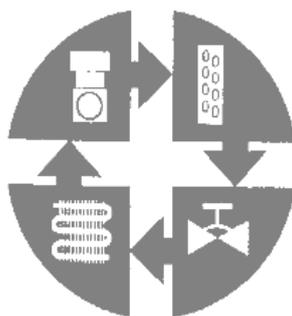


**С.М. Горев**

**АВТОМАТИКА  
ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК  
И АППАРАТУРА КОНТРОЛЯ**

*Курс лекций*



Петропавловск-Камчатский  
2008

Камчатский государственный технический университет  
Камчатский государственный политехнический техникум

**С.М. Горев**

**АВТОМАТИКА ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК  
И АППАРАТУРА КОНТРОЛЯ**

*Курс лекций*

*2-е издание*

Петропавловск-Камчатский  
2008

2

УДК 621. 5(07)  
ББК 31. 392  
Г69

Рецензент:

*Л.И. Балыкова,*  
кандидат технических наук, профессор

**Горев Сергей Михайлович**

Г69 Автоматика холодильных установок и аппаратура контроля. Курс лекций / С.М. Горев. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2008. – 116 с.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с требованиями к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по специальности 150414 «Монтаж и техническая эксплуатация холодильно-компрессорных машин и установок» государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования

В курсе лекций рассмотрены теоретические основы автоматизации, основные элементы и приборы автоматизации, регулирование и защита основных параметров, схемы холодильных установок.

Взаимодействие автоматических приборов рассмотрено на примере конкретных технологических и электрических схем холодильных установок.

Рекомендовано к изданию решением президиума учебно-методического совета КамчатГТУ (протокол № 3 от 21 февраля 2008 г.).

**УДК 621. 5(07)**  
**ББК 31. 392**

© КамчатГПТ, 2004  
© Горев С.М., 2004  
© КамчатГТУ, 2008  
© КамчатГПТ, 2008  
© Горев С.М., 2008

## Содержание

Введение .....	5
<b>Раздел 1. Основы автоматического управления .....</b>	<b>7</b>
<b><i>Глава 1. Основные положения теории систем автоматического управления и регулирования .....</i></b>	<b>7</b>
1.1. Общие сведения .....	7
1.2. Примеры систем автоматического регулирования .....	11
1.3. Объекты регулирования .....	14
1.4. Параметры, регулируемые в холодильных установках .....	17
<b><i>Глава 2. Автоматические регуляторы (АР) .....</i></b>	<b>21</b>
2.1. Основные элементы АР .....	21
2.2. Основные типы регуляторов .....	23
<b>Раздел 2. Контрольно-измерительные и регулирующие приборы .....</b>	<b>33</b>
<b><i>Глава 3. Приборы измерения и регулирования давления .....</i></b>	<b>33</b>
3.1. Преобразователи давления .....	33
3.2. Манометры. Конструкция трубчато- пружинного манометра .....	35
3.3. Реле давлений .....	37
3.4. Регуляторы давления .....	42
<b><i>Глава 4. Приборы измерения и регулирования температуры .....</i></b>	<b>44</b>
4.1. Преобразователи температуры .....	44
4.2. Термометры расширения .....	44
4.3. Манометрические термометры .....	45
4.4. Электрические термометры .....	46
4.4.1 Термометры сопротивления .....	46
4.4.2. Потенциметрические термометры .....	49
4.5. Реле и регуляторы температуры .....	52
4.6. Электронные реле и регуляторы температуры .....	56
<b><i>Глава 5. Регуляторы перегрева и уровня .....</i></b>	<b>60</b>
5.1. Регуляторы перегрева (ТРВ) .....	60
5.1.1. ТРВ с внутренним отбором .....	60
5.1.2. ТРВ с внешним отбором .....	62

5.1.3. ТРВ непрямого действия .....	64
5.2. Приборы для измерения и регулирования уровня .....	64
<b>Глава 6. Исполнительные механизмы и электромагнитные вентили .....</b>	<b>71</b>
6.1. Исполнительные механизмы .....	71
6.2. Электромагнитные (соленоидные) вентили .....	73
<b>Глава 7. Реле концентрации паров аммиака и преобразователи расхода вещества .....</b>	<b>76</b>
7.1. Преобразователи расхода и количества вещества .....	76
7.2. Реле концентрации паров аммиака .....	78
<b>Раздел 3. Автоматизация процессов в холодильной установке .....</b>	<b>80</b>
<b>Глава 8. Регулирование основных параметров .....</b>	<b>80</b>
8.1. Регулирование температуры .....	80
8.1.1. Способы изменения холодопроизводительности машины .....	80
8.1.2. Регулирование температуры в шкафу пуском и остановкой компрессора .....	81
8.1.3. Способы изменения холодопроизводительности компрессора .....	82
8.1.4. Регулирование температуры в нескольких объектах .....	84
8.2. Регулирование заполнения испарителей .....	87
8.3. Регулирование давления конденсации .....	93
<b>Глава 9. Автоматическая защита и сигнализация .....</b>	<b>97</b>
9.1. Основные параметры, требующие защиты .....	97
9.2. Включение приборов защиты .....	101
<b>Глава 10. Автоматизация холодильных установок .....</b>	<b>105</b>
10.1. Автоматизация малых холодильных установок .....	105
10.2. Автоматизация холодильных установок средней производительности .....	107
10.3. Автоматизация холодильных установок большой производительности .....	108
10.4. Автоматические системы регулирования производительности компрессора .....	112
Список литературы .....	116

## 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», «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 помогут учащимся после окончания техникума адаптироваться к условиям производства. Они смогут легко осваивать новые выпускаемые приборы и схемы автоматизации холодильных установок, информация о которых еще не вошла в учебники и отсутствует в технической литературе.

## Раздел I. ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

### Глава 1. Основные положения теории систем автоматического управления и регулирования

#### 1.1. 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. 1.1а).

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  $\varphi$  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:  $X = \text{const}$  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.*

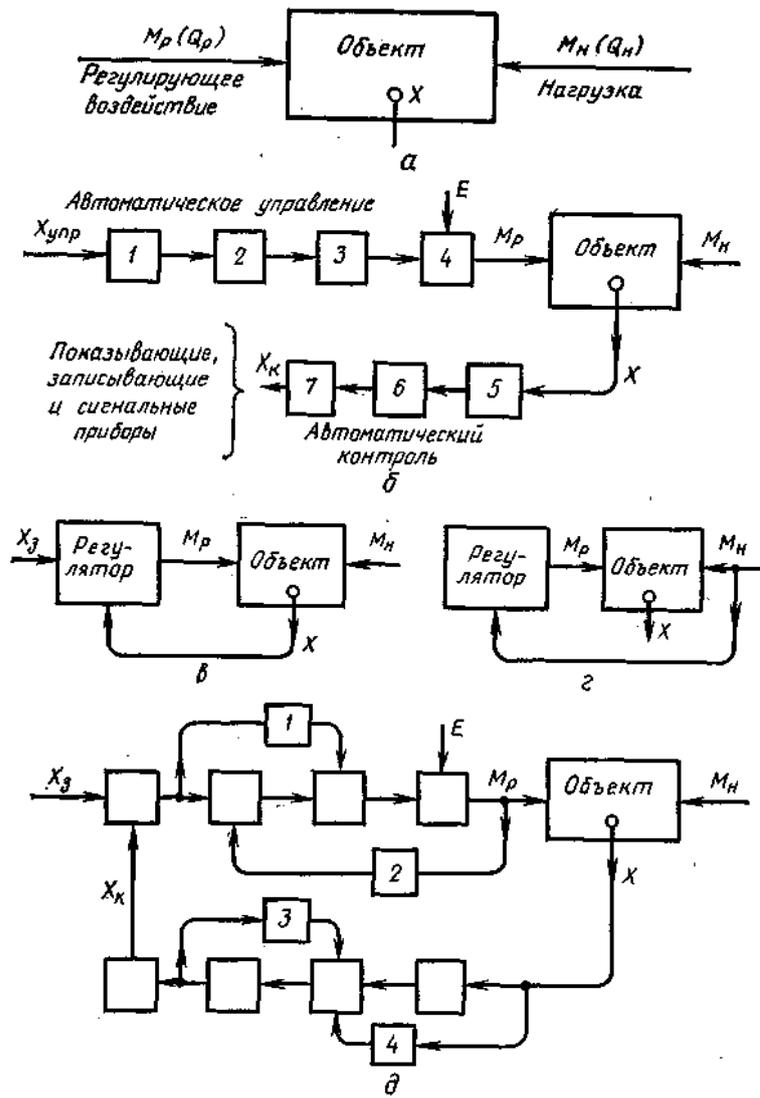


Рис. 1.1. Блочные схемы автоматических систем управления:  
 а – внешние воздействия на объект; б – автоматическое управление и контроль; в – автоматическая система регулирования;  
 г – автоматическая система отслеживания нагрузки;  
 д – схема автоматического регулирования с дополнительными связями

*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 производительности 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. 1.1б. 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  $X_{впр}$  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  $\Delta X$ . Этот процесс также можно автоматизировать (автоматический контроль), т. е. установить приборы, которые будут показывать, записывать величину  $\Delta X$  или подавать сигнал при выходе  $\Delta X$  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  $X_3$ . Чем больше рассогласование  $\Delta X$ , тем больше разность  $X_k - X_3$  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 автоматиче-

ский регулятор. Таким образом, автоматическая система регулирования состоит из объекта и автоматического регулятора (рис. 1.1в).

*Автоматическим регулятором* (или просто *регулятором*) называют устройство, которое воспринимает рассогласование и воздействует на объект так, чтобы уменьшить это рассогласование.

Для поддержания заданного значения регулируемого параметра  $X_0$ , кроме автоматических систем регулирования, иногда применяют автоматическую систему отслеживания нагрузки (рис. 1.1г). 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 (помех) равенство  $M_p = M_n$  может нарушиться. Возникающее при этом рассогласование  $\Delta X$  оказывается значительно больше, чем в системе автоматического регулирования, так как в системе отслеживания нагрузки отсутствует обратная связь, т. е. она не реагирует на рассогласование  $\Delta X$ .

В сложных автоматических системах (рис. 1.1д) наряду с основными цепями (прямой и обратной связи) могут быть и дополнительные цепи прямой и обратной связи. 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 пре-

кращается, 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 многократного 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).

Опыт эксплуатации показал, что автоматические установки работают значительно надежнее и обеспечивают 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 обоснованно, 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.

### ***1.2. 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 па-

раметра, создает сигнал, соответствующий величине рассогласования, и изменяет регулирующее воздействие;

5) как задается начальное значение  $X_0$ .

Рассмотрим несколько примеров стабилизирующих автоматических систем. На *рис. 1.2* 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), а 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 возрастать до тех пор, пока не установится равенство  $M_p = M_n$ .

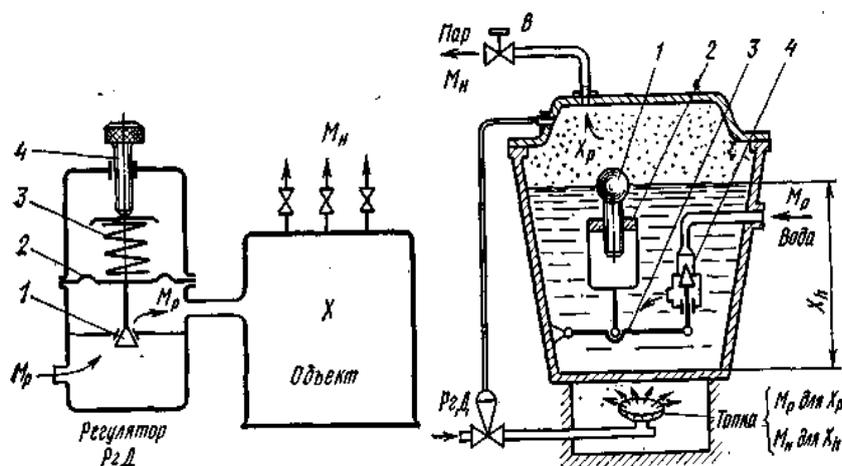


Рис. 1.2. Автоматическая система регулирования давления газа в газгольдере

Рис. 1.3. Автоматические системы регулирования давления пара и уровня воды в паровом котле И.И. Ползунова

Принцип работы регулятора, когда ясно его назначение, становится очень простым. Начальное (заданное) давление  $X_0$ , действующее снизу на упругую мембрану 2, уравнивается си-

лой 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. 1.3).

Пар подается по мере надобности через вентиль  $B$  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. увеличить 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  $PzD$  (как на рис. 1.2). 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  $X_h$  поверхность нагрева может оголиться и выйти из строя. 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, 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.

### **1.3. Объекты регулирования**

*Самовыравнивание и статическая характеристика объекта.* Для изучения основных свойств объекта рассмотрим простой объект (рис. 1.4), 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 ( $M_n$ ). 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,  $M_{n0} = 100$  л/мин), вентиль  $B$  открыт так, чтобы и начальный расход  $M_{p0}$  был равен 100 л/мин. Начальное значение уровня при этом равно  $X_0$ . При увеличении нагрузки, например, до  $M_{n1} = 104$  л/мин уровень начнет повышаться. С увеличением уровня  $X$  (высоты столба) расход жидкости через вентиль  $B$  возрастает.

*Влияние изменения регулируемого параметра  $X$  на регулирующее воздействие  $M_p$  или на нагрузку  $M_n$  называют **самовыравниванием**.* Это весьма важное свойство объекта.

В данном примере параметр  $X$  влияет только на регулирующее воздействие. На нагрузку изменение уровня здесь не влияет. Но бывают объекты и с самовыравниванием на стороне нагрузки.

При ступенчатом увеличении нагрузки до 104 л/мин уже в первую минуту в сосуде прибавится 4 л воды, уровень ее возрастет и расход через вентиль  $B$  станет больше (например, 102 л/мин). В следующую минуту прибавится только 2 л (104 – 102 л/мин), и скорость повышения уровня будет меньше. Когда высота уровня возрастет настолько, что расход через вен-



нимальной нагрузках) выходят за допустимые значения  $X_B$  и  $X_A$ . Поэтому, несмотря на самовыравнивание, требуется регулирование. При частых изменениях нагрузки – лучше автоматическое.

Рассмотрим несколько объектов с различной степенью самовыравнивания (рис. 1.5).

При отводе жидкости из объекта центробежным насосом (рис. 1.5а) 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 (рис. 1.4) можно по высоте сосуда сделать отверстия (рис. 1.5б). Тогда с повышением уровня не только увеличится 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. 1.5в. 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.

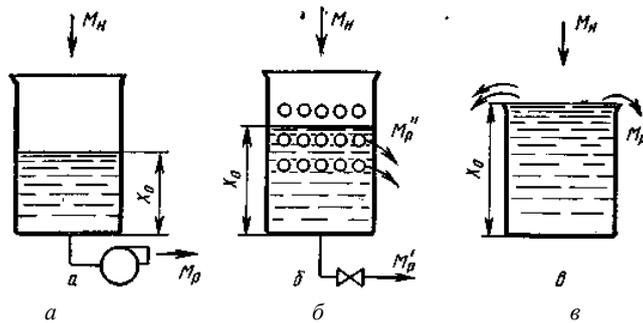


Рис. 1.5. Объекты с различной степенью самовыравнивания:  
а – без самовыравнивания; б – с большим самовыравниванием;  
в – с полным самовыравниванием

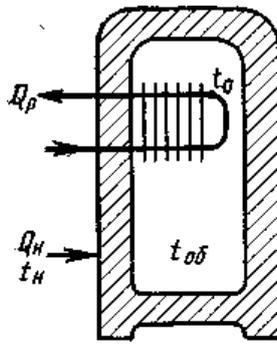


Рис. 1.6. Холодильная камера

Холодильная камера как объект с самовыравниванием. Рассмотрим холодильную камеру (рис. 1.6) с испарителем, в который непрерывно подается жидкий хладагент с постоянной температурой кипения  $t_0$  как объект с регулируемым параметром  $t_{об}$ . Нагрузкой является теплоприток в камеру через ограждения.

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

#### 1.4. 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, называется регулирующим воздействием.

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  $Q_n$ . Степень самовыравнивания объекта (охлаждаемого шкафа), как было показано, достаточно высока. Поэтому изменение температуры

помещения на  $6 - 8^{\circ}\text{C}$  вызывает изменение  $t_{об}$  всего на  $1,5 - 2^{\circ}\text{C}$ . 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. 1.7).

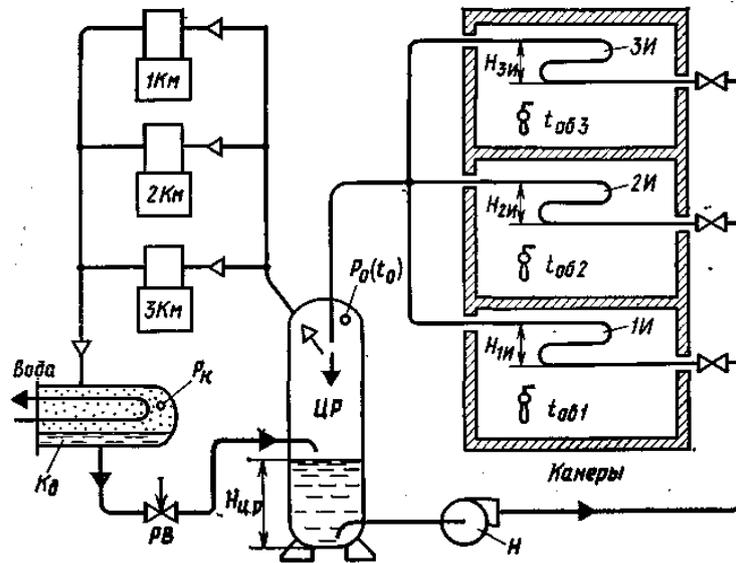


Рис. 1.7. Объекты и регулируемые параметры в холодильной установке с циркуляционным насосом

Жидкий аммиак с низкой температурой кипения  $t_0$  из циркуляционного ресивера ЦР насосом  $H$  с избытком подается в испарительные батареи камер  $II - III$ . 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  $IKM - 3KM$ , которые отсасывают пары из ЦР и сжимают их до давления в конденсаторе, где они охлаждаются водой и конденсируются. Жидкий аммиак через регулирующей вентиль  $PB$  поступает в ЦР.

В схеме есть пять параметров, которые не должны выходить за допустимые пределы:

- 1) температура в камерах ( $t_{061}, t_{062}, t_{063}$ );
- 2) уровень жидкого аммиака в испарителях ( $H_{1и}, H_{2и}, H_{3и}$ );
- 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 (рис. 1.6), имеет самовыравнивание и со стороны нагрузки, и со стороны регулирующего воздействия. Благодаря сравнительно высокой степени самовыравнивания иногда обходятся без дополнительного регулирования  $t_{об}$ . 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.

*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 выкипающей 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  $M_{нмакс}$  (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 (рис. 1.5в). Благодаря полному 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 от 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  $M_n$  здесь – суммарное количество жидкости, выкипающей во всех испарителях; регулирующее воздействие  $M_p$  – подача жидкости через РВ. Этот объект не имеет само-

выравнивания, т. к. изменение уровня  $H_{ЦР}$  не влияет ни на количество выкипающей жидкости, ни на подачу через  $PВ$ . Регулирование уровня здесь необходимо. В связи с частым изменением нагрузки в данном случае 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  $PВ$ ; 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  $Q_n$  определяется количеством подаваемого компрессором пара и его энтальпией. Регулирующее воздействие  $Q_p$  – количество теплоты, отводимой водой.

С повышением давления  $p_k$  и температуры  $t_k$  нагрузка уменьшается из-за снижения производительности компрессора, т. е. происходит самовыравнивание на стороне нагрузки. Одновременно увеличивается количество теплоты, отводимой водой, т. к. с увеличением  $t_k$  растет температура воды, выходящей из конденсатора, а следовательно, и разность  $t_{вд2} - t_{вд1}$  – происходит самовыравнивание на стороне  $Q_p$ . Однако, несмотря на самовыравни-

вание, 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  $p_k$  в случае высокого давления осуществляют путем дополнительного подключения водяных насосов.

## Глава 2. Автоматические регуляторы (АР)

### 2.1. Основные элементы АР

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. 2.1а).

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, чувствительным элементом служит термобаллон ЧЭ, заполненный легкокипящей жидкостью (рис. 2.1б).

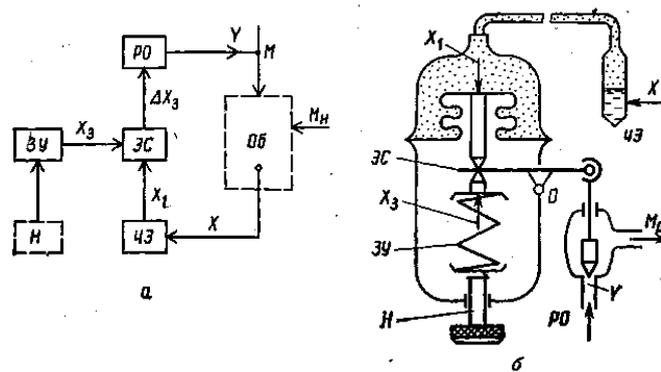


Рис. 2.1. Регулятор прямого действия: а – блочная схема; б – пример конструкции (регулятор температуры): ЧЭ – чувствительный элемент; ЗУ – задающее устройство; РО – регулирующий орган; Н – настройка; X – входной параметр регулятора; Y – выходной параметр

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. 2.1б* роль ЗУ 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. 2.1б* рычаг ЭС воспринимает разность силы давления  $X_1$  и силы пружины  $X_3$ .

*Регулирующий орган РО* преобразует сигнал элемента сравнения  $\Delta X_3$  в выходной параметр регулятора  $Y$ , непосредственно изменяющий регулирующее воздействие  $M_p$ . На *рис. 2.1б* 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* (*рис. 2.1*). В приведенном примере изменение температуры в объекте  $\Delta X$  на 2 – 3°C вызывает необходимое открытие клапана  $\Delta Y$  без постороннего источника энергии.

Если мощность сигнала рассогласования недостаточна для воздействия на РО (например, для перемещения большого клапана), то применяют регуляторы *непрямого действия* (*рис. 2.2*). 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  $\Delta X_3$  в мощный сигнал изменения внешней энергии  $X_2$ , который приводит в действие исполнительный механизм (электродвигатель, электромагнит и др.). На *рис. 2.2б* сигнал элемента сравнения  $\Delta X_3$  вызывает замыкание контактов, и возникающий ток  $X_2$  в катушке электромагнита *ИМ* создает силу, открывающую клапан РО.

Наряду с указанными основными элементами регулятор может иметь дополнительные элементы: узлы настройки отдельных параметров регулятора, компенсирующие устройства для уменьшения неточности работы в случае внешних помех, узлы для об-

легчения сборки и наладки, корректирующие элементы (позволяющие осуществить требуемый закон регулирования, т. е. определенную математическую зависимость выходного параметра регулятора  $\Delta Y$  от изменения на входе  $\Delta X$ ), элементы преобразования одного параметра в другой (для передачи на расстояние, для удобства воздействия на последующий элемент и т. д.).

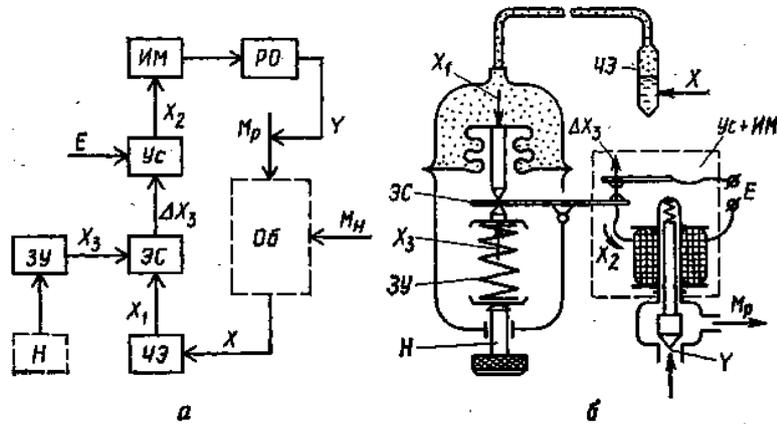


Рис. 2.2. Регулятор непрямого действия: а – блочная схема; б – пример конструкции: УС – усилитель; ИМ – исполнительный механизм; Е – внешний источник энергии (остальные обозначения см. на рис. 2.1)

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

## 2.2. Основные типы регуляторов

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

$$\Delta Y = K \Delta X,$$

где  $K$  – коэффициент усиления, показывающий чувствительность регулятора, т. е. значение перемещения РО при единичном измене-

нии входного параметра. Например, для регулятора давления (рис. 2.3) коэффициент  $K$  показывает, на сколько миллиметров переместится клапан ( $\Delta Y$ ), если давление на входе изменится на 1 Па.

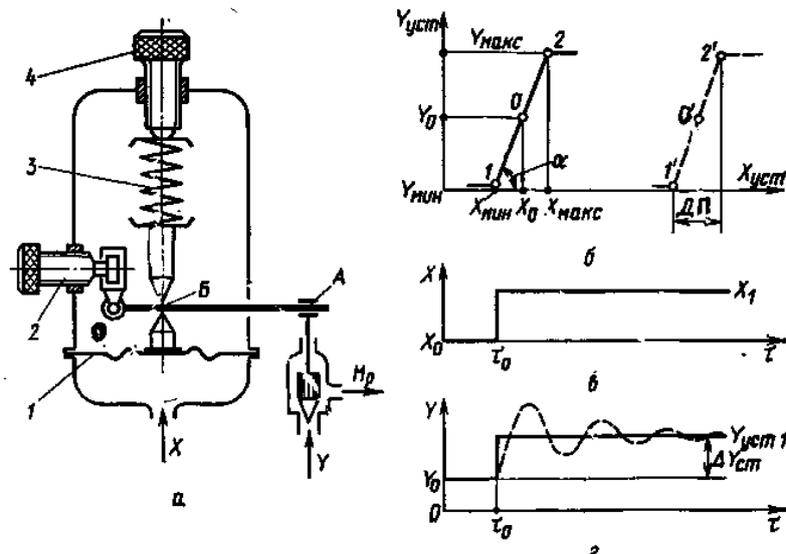


Рис. 2.3. Пропорциональный регулятор давления:  
 а – схема; б – статическая характеристика; в – ступенчатое изменение входного параметра; г – переходная характеристика

Из схемы (рис. 2.3а) видно, что с увеличением давления  $X$  гибкая мембрана 1 прогибается и точка Б рычага  $OA$ , преодолевая силу упругости сжатой пружины 3, перемещается вверх. Точка А, вращаясь относительно центра  $O$ , открывает клапан.

При  $X_{уст} < X_{мин}$  (левее точки 1, рис.2.3б) 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  $Y_{уст}$ .

Изменение регулируемой величины, которое вызывает перемещение  $PO$  из одного крайнего положения в другое, называют *диапазоном пропорциональности ДП*.

С повышением  $K$  угол наклона  $\alpha$  увеличивается, и статическая характеристика 1 – 2 (рис. 2.3б) становится почти вертикальной.

В регуляторе (рис. 2.3а) чувствительность можно повысить, 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  $I$  смещается в положение  $I'$ , отрезок  $I - I'$  представляет собой *диапазон регулирования начала открытия*. При этом на столько же изменяется и среднее значение регулируемого параметра (отрезки  $\theta - \theta'$  и  $I - I'$  равны).

У идеальных П-регуляторов ступенчатое изменение входного параметра с  $X_0$  до  $X_1$  (рис. 2.3в) почти мгновенно вызывает перемещение  $PO$  в новое установившееся положение  $Y_{уст1}$  (рис. 2.3г). 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 показана пунктиром (рис. 2.3г).

У регуляторов с высокой чувствительностью (например с мягкой пружиной) статическая ошибка значительно меньше, но в переходном процессе возникают долго не затухающие колебания с большими отклонениями  $\Delta Y$  в начале переходного процесса.

*Пропорционально-дифференциальные регуляторы.* При частых изменениях нагрузки важно улучшить качество переходных процессов, т. к. 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 ( $\Delta X$ ), но и на скорость его изменения. В установившемся состоянии эта скорость равна нулю, и данный регулятор не отличается от пропорционального, статическая характеристика его (рис. 2.4б) такая же, как у П-регулятора (рис. 2.3б). Однако при быстром изменении  $\Delta X$  клапан регулятора в первый момент откроется почти полностью. Если ступенчатое изменение входного параметра произойдет не мгновенно, а за время  $\Delta t$ , то переходная характеристика ПД-регулятора примет соответствующий вид (рис. 2.4в).

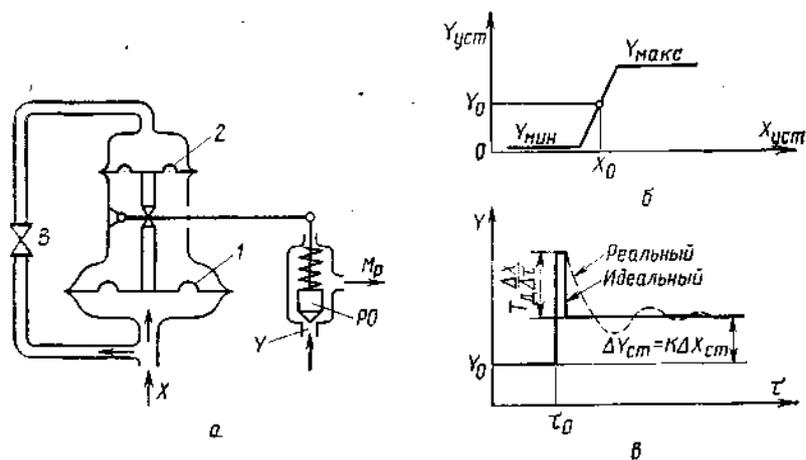


Рис. 2.4. Пропорционально-дифференциальный регулятор: а – схема; б – статическая характеристика; в – переходная характеристика

Пример конструкции регулятора давления типа ПД показан на рис. 2.4а. При медленном изменении давления на входе  $X$  нижняя 1 и верхняя 2 мембраны прогибаются почти одновременно, но поскольку площадь нижней мембраны больше, то суммарная сила давления направлена вверх. Деформация пружины и открытие клапана  $PO$  в этом случае пропорциональны силе давления. При быстром же повышении давления на входе реагирует только нижняя мембрана, т. к. через небольшое отверстие вентиля  $B$  газ не успевает пройти, чтобы воздействовать на верхнюю мембрану. Поэтому клапан в первый момент резко открывается. Затем, когда давления выравняются, открытие клапана станет пропорционально  $\Delta X$ .

Машинист при быстром возрастании температуры в камере (например, внесли 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», т. к. он заранее, до накопления отклонения  $X$ , начинает действовать на уничтожение будущего отклонения.

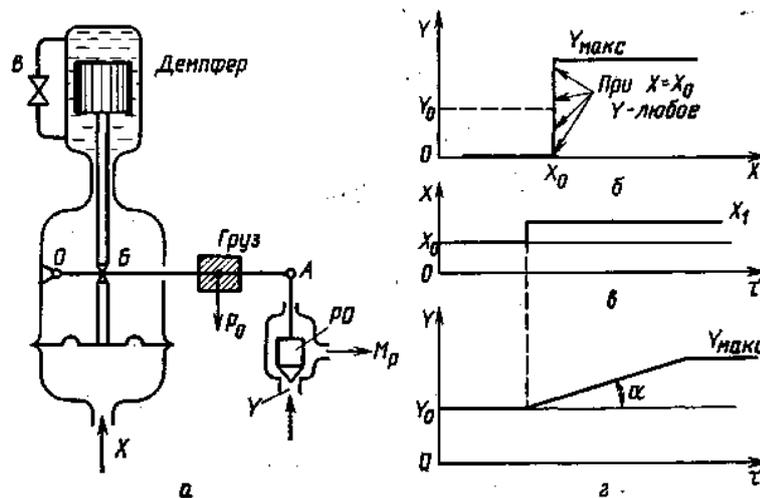


Рис. 2.5. Интегральный регулятор:  
 а – схема; б – статическая характеристика; в – ступенчатое изменение входного параметра; г – переходная характеристика

**Интегральные регуляторы.** Величина отклонения  $\Delta X$  влияет лишь на скорость перемещения  $PO$ . Установившееся положение клапана 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 при  $Y_{\min} = 0$  клапан закрыт) до  $Y_{\max}$ . Статическая характеристика И-регулятора (рис. 2.5б) определяется наличием интегрирующего звена в уравнении регулятора. Каким бы маленьким ни было рассогласование  $\Delta X$ , с течением времени суммарный сигнал увеличится и даст достаточный импульс для перемещения  $PO$ , чтобы свести статическую ошибку  $\Delta X_{\text{ст}}$  к нулю.

При ступенчатом изменении входного параметра (рис. 2.5в) на величину  $\Delta X$  выходной параметр изменяется с постоянной скоростью (рис. 2.5г).

Конструктивно закон регулирования И-регулятора можно осуществить, заменив, например, пружину постоянным грузом (рис. 2.5а). Вес груза  $P_0$  уравнивает 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 вентиля  $B$  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  $PO$  изменение нагрузки вызывает слишком большие отклонения регулируемого параметра, а при большой скорости  $PO$  возникают долго не затухающие колебания. Эти особенности И-регуляторов станут понятнее, когда будет рассмотрена совместная работа регуляторов с объектом.

*Пропорционально-интегральные регуляторы.* В первый момент  $dt = 0$ , и регулятор срабатывает как пропорциональный ( $\Delta Y = K\Delta X$ ), но затем, как в И-регуляторе,  $PO$  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. 2.6б, в.

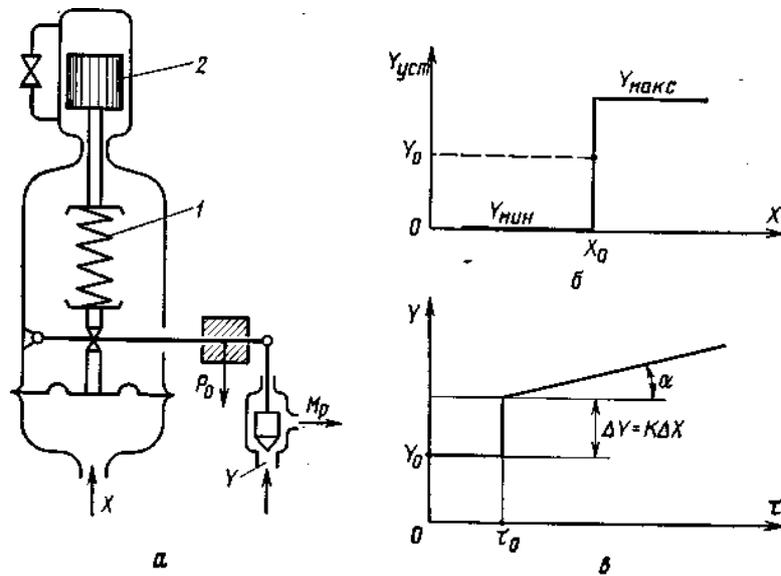


Рис. 2.6. Пропорционально-интегральный регулятор: а – схема; б – статическая характеристика; в – переходная характеристика

Для конструктивного осуществления закона ПИ-регулятора надо верхний конец пружины 1 (рис. 2.6а) 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 пропорционально силе давления). Затем сжатая пружина начнет перемещать поршень вверх, пока полностью не расслабится. Установившееся состояние возможно, как и в И-регуляторе, лишь при  $X = X_0$ , т. е. когда сила давления равна весу груза. Работа ПИ-регулятора аналогична работе машиниста, который, энергично воздействуя на объект вначале (при больших отклонениях регулируемой величины), затем осторожно сводит до нуля оставшиеся отклонения.

*Двухпозиционные регуляторы.* Регулирующий орган двухпозиционного регулятора в установившемся состоянии может занимать лишь одно из двух крайних положений ( $Y_{\max}$  или  $Y_{\min}$ ). Статическая характеристика идеального двухпозиционного регулятора показана на рис. 2.7б.

Однако *РО* двухпозиционного регулятора не может занять промежуточные положения, так как конструктивно в этих точках нет устойчивого равновесия.

Рассмотрим особенности двухпозиционных регуляторов на примере реле температуры (рис. 2.7а). В обычном понимании *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 (рис. 2.2). 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 растет и по капиллярной трубке 2 передается в сильфон 1 (рис. 2.7а). Доньшко 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 ( $O_4 - O'_3$ ) одна из составляющих сил упругости пружины (в точке  $O_4$ ) начнет действовать не вверх, а вниз, и электрические контакты  $У$  замкнутся.

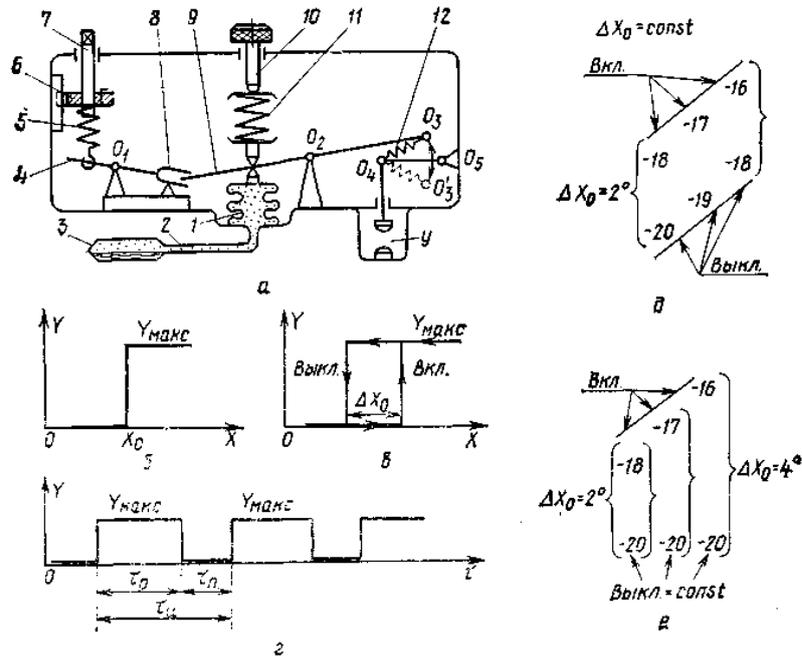


Рис. 2.7. Двухпозиционный регулятор (реле температуры): а – схема; б, в – статические характеристики идеального и реального двухпозиционного регулятора; г – динамическая характеристика; д – регулировка температуры выключения (дифференциал const); е – регулировка дифференциала (температура выключения const)

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 пружинной 11.

В реальном регуляторе значения входного параметра при включении и выключении не совпадают. Разность между значениями регулируемого параметра в момент включения и выключе-

чения 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 размыкания. 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. 2.7в*. 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  $\Delta X_0$ , контакты могут быть замкнуты и разомкнуты; при возрастании  $X$  они остаются разомкнутыми, при снижении  $X$  – замкнутыми.

Слишком малая величина дифференциала  $\Delta X_0$  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 (*рис. 2.7а*) повышение среднего значения температуры  $X_0$  достигается путем натяжения пружины  $11$  винтом  $10$ . При этом температуры включения и выключения увеличиваются на одинаковую величину (*рис. 2.7д*), 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. 2.7е*). Для перестройки прибора с одного режима на другой сначала винтом диапазона подбирают нужное выключение, а затем винтом дифференциала устанавливают определенное включение.

Динамическая характеристика двухпозиционного регулятора показана на *рис. 2.7г*. Интервал времени, в котором производительность регулятора максимальна ( $M_{\text{р макс}}$ ) (включен исполнительный механизм, клапан полностью открыт, при этом  $Y_{\text{макс}}$ ), называют периодом работы  $\tau_{\text{р}}$ . Интервалы с минимальной производительностью регулятора  $M_{\text{р мин}}$  (в частности, при  $Y = 0$ ) называют нерабочим пе-

риодом, или паузой  $\tau_{п}$ . Период работы с паузой образуют цикл  $\tau_{ц}$ . Далее циклы повторяются (циклическая работа).

*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. 2.8), которое управляет исполнительным механизмом.

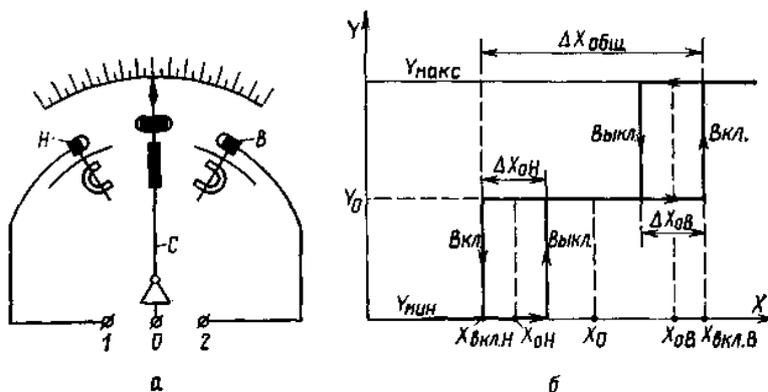


Рис. 2.8. Трехпозиционное реле:  
а – схема; б – статическая характеристика

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, например 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.

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).

## Раздел 2. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ПРИБОРЫ

### Глава 3. Приборы измерения и регулирования давления

#### 3.1. Преобразователи давления

*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. 3.1а) уровень жидкости  $H$  показывает разность между давлением в сосуде  $p$  и атмосферным давлением  $p_a$ :

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

где  $\rho$  – плотность жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения.

При постоянном давлении  $p_a$  изменение уровня  $\Delta H$  пропорционально изменению давления  $\Delta p$ , т. е.  $\Delta H = K \Delta p$ , где коэффициент  $K = 1/\rho g$ . 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. 3.1б) 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 сиффона  $D$ , толщины стенки, числа гофров и упругости материала. Упругость сиффона ( $1/K$ ) очень мала, поэтому небольшое изменение давления вызывает большие перемещения. Обычно сиффоны применяют в сочетании с пружинами, упругость которых в основном и уравнивает силу давления, равную произведению давления на площадь доньшка ( $\pi D^2/4$ ).

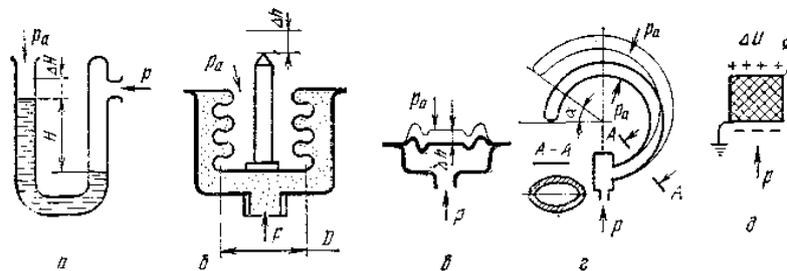


Рис. 3.1. Преобразователи изменения давления: а – U-образная трубка; б – сиффон; в – мембрана; г – трубчатая пружина; д – пьезокристалл

Когда не требуется больших перемещений, применяют обычно гофрированные мембраны (рис. 3.1в). Они компактней и дешевле сиффонов. Как и у сиффонов, здесь  $\Delta h = K\Delta p$ , 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 сиффоны, 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. 3.1г). 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. 3.1d) преобразует изменение давления в электрический заряд: на противоположных гранях специальных пьезокристаллов при их сжатии 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.

### 3.2. Манометры.

#### *Конструкция трубчато-пружинного манометра*

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. 3.2a). 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 (трибка), на которой укреплена стрелка манометра, повернется по часовой стрелке, показывая давление по шкале. Для устранения свободного хода (люфта) в зубчатом зацеплении трибки с сектором имеется упругая спиральная пружинка 5 (волосок). Внутренний конец волоска крепится к оси трибки, а внешний – к неподвижной опоре.

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 атмосферное давление). Зная  $p_a$  и  $p_{изб}$  (по манометру), найдем  $p_{абс}$ .

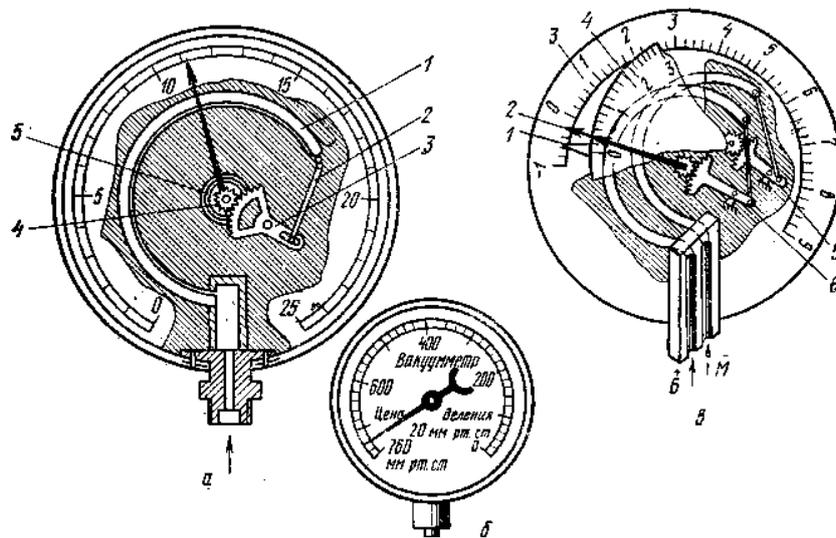


Рис. 3.2. Приборы для измерений давлений: а – трубчато-пружинный манометр; б – вакуумметр; в – дифференциальный мановакуумметр

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. 3.2б). Остаточное давление при этом находится по формуле:

$$P_{абс} = P_a - P_{изб},$$

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

Для измерения разности давлений в холодильных машинах выпускают манометры дифференциальные двухстрелочные (типа МДП4-СМ-Т). Большее давление  $B$  (рис. 3.2в) 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 па-ров аммиака или фреона в картере компрессора.

### 3.3. Реле давлений

*Электроконтактные манометры (ЭКМ).* Реле давления этого типа представляет собой манометр с двумя передвижными электрическими контактами (рис. 3.3а). При повышении давления контакт стрелки *С* замыкает верхний контакт *В*. При снижении давления на величину дифференциала  $\Delta X_{\text{ов}}$  (рис. 2.8) 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.

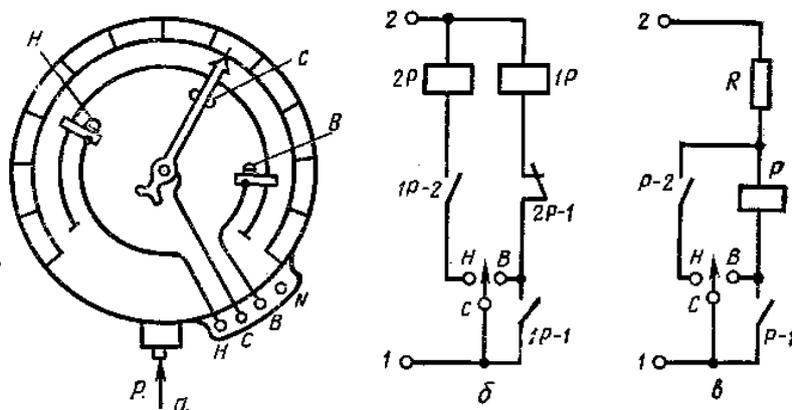


Рис. 3.3. Электроконтактный манометр (а) и схемы включения работы контактов на замыкание: с двумя реле (б) и одним реле (в)

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 пус-

кателей. Поэтому их включают через промежуточное реле по импульсным схемам, исключающим работу контактов при размыкании. В схеме, показанной на *рис. 3.3б*, при повышении давления контакт *B* включает реле *IP*, которое дает команду исполнительному механизму (на схеме не показан) и одновременно замыкает свои контакты *IP-1* и *IP-2*. Контакт *IP-1* шунтирует контакт *B*, поэтому при размыкании контакта *B* цепь реле *IP* не прерывается: ток идет по цепи *I, IP-1, 2P-1, IP, 2*, и контакт *B* не пригорает. При снижении давления замыкается контакт *H* и срабатывает реле *2P*, которое контактом *2P-1* отключает исполнительное реле *IP*, а реле *IP*, в свою очередь, контактом *IP-2* обрывает цепь питания *2P*. Поэтому при размыкании контакта *H* тока в цепи *I, H, IP-2, 2P, 2* уже нет.

Защиту контактов при размыкании можно осуществить и без дополнительного реле (*2P*), как показано на *рис. 3.3в*. 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 *I, H, P-2, R, 2*. Поэтому ток, проходящий через катушку реле *P*, резко падает, и реле 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. 3.4*. 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.

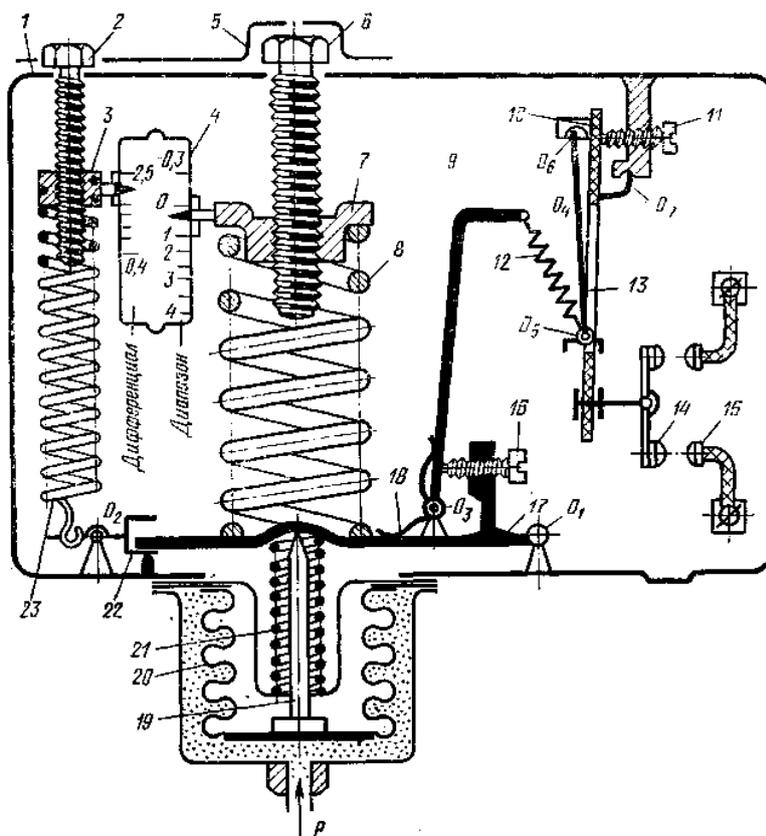


Рис. 3.4. Реле давления РД-1-01

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 обеспечивается только пружиной 8.

Регулировка давления выключения осуществляется винтом 6, который, перемещая гайку 7 по прорези в шкале 4, изменяет на-

тяжение пружины 8. При снижении давления выключения на столько же снижается давление включения, т. е. величина дифференциала ( $P_{\text{вкл}} - P_{\text{выкл}}$ ) остается постоянной.

Дифференциал регулируется путем изменения давления включения винтом 2, который, перемещая гайку 3, изменяет натяжение 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.

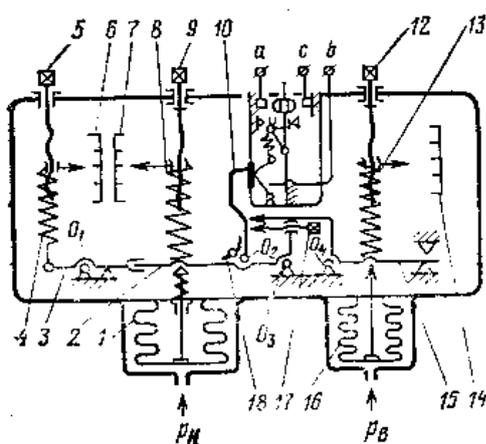


Рис. 3.5. Двухблочное реле давлений Д220

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, и 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) доньшко 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.

Двухблочные реле давлений. В этих приборах реле низкого и высокого давлений сконструированы в одном корпусе, воздействуя на общий электрический контакт (рис. 3.5). Механизм РД<sub>н</sub> аналогичен РД-1-01 (см. рис. 3.4): при повышении низкого давления  $p_n$  шток сильфона 1, преодолевая усилия пружин 8 и 4, поворачивает рычаг 2 и рычаг 10, нажимая на кнопку

Установка заданной величины выключения  $p_v$  производится винтом 12. Гайка 13, сжимая пружину, одновременно указывает по шкале 14 установленное давление.

**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 ( $1,5 - 2 \cdot 10^5$  Па), реле размыкает электрические контакты и останавливает компрессор. Такие реле называют еще реле контроля смазки (РКС).

Реле типа РКС (рис. 3.6а) имеют два сильфона 1 и 8, действующие 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, сжимая пружину 3, разность давлений увеличивается. Значение ее указывается стрелкой 5 на шкале 6.

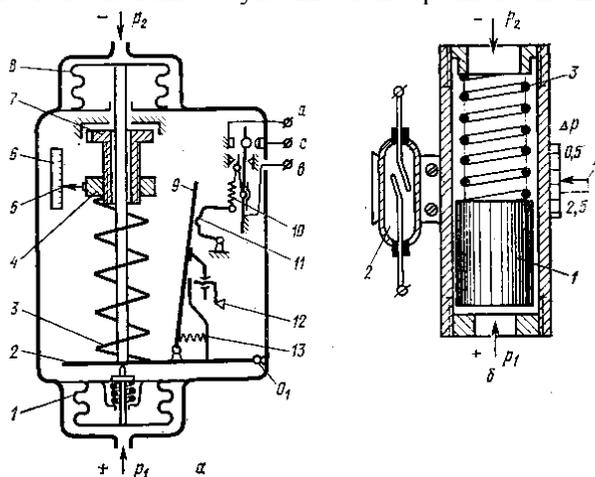


Рис. 3.6. Реле разности давлений: а – типа РКС; б – РКС-ГКА-01 (на герконе)

Реле типа РКС-ГКА-01 (рис. 3.6б) имеет герметичный магнитоуправляемый контакт 2 (геркон). С увеличением разности давлений  $p_1 - p_2$  магнит 1 перемещается вверх и сжимает пружину 3, контакты геркона замыкаются, подавая сигнал на остановку компрессора. Геркон хомутиком крепится к корпусу 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.

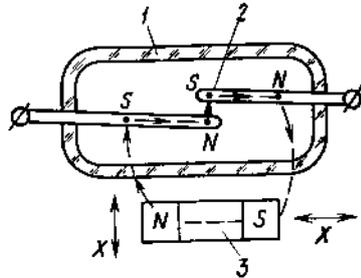


Рис. 3.7. Геркон

Рассмотрим принцип работы геркона (рис. 3.7). 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, 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.

### 3.4. 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, а также 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 изготавливают как регуляторы непрямого действия. Перемещение клапана регулятора может быть плавным (ПРД) или двухпозиционным (ДРД). Последние не получили широкого применения.

*Регуляторы давления прямого действия.* Принцип действия различных регуляторов давления был рассмотрен в п. 1.2 гл. 1. Остановимся лишь на особенностях конструкции некоторых из них.

Регулятор давления конденсации (рис. 3.8а) 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 сильфон от коррозии, 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) составляет  $(2 \div 4) \cdot 10^5$  Па.

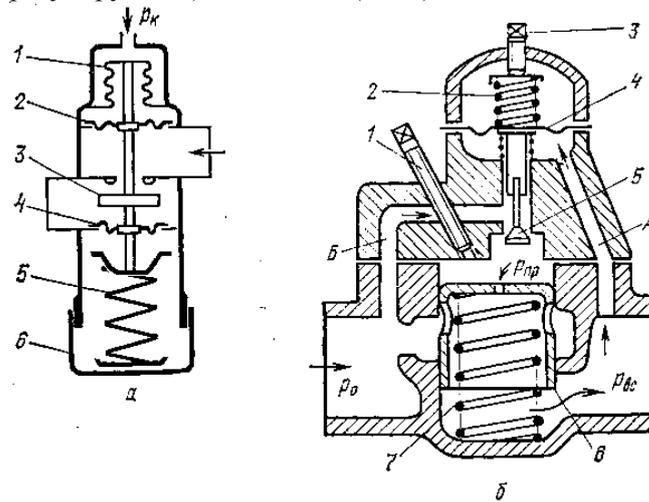


Рис. 3.8. Регуляторы давления:  
 а – конденсации (ВРВ прямого действия); б – всасывания  
 (непрямого действия типа АДД-40М со встроенным пилотным вентилем)

*Регуляторы давления непрямого действия.* Принцип действия регулятора давления непрямого действия рассмотрим на примере регулятора давления всасывания типа АДД-40М (рис. 3.8б). При повышении давления всасывания  $p_{вс}$  пар по каналу *A* 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 *B* поступит на поршень, отжимая его вниз.

Винт 1 позволяет принудительно отжать поршень, т. е. открыть клапан. Винтом 3 регулируют начало открытия от 0,3 до  $2 \cdot 10^5$  Па.

## **Глава 4. Приборы измерения и регулирования температуры**

### ***4.1. 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 расширение твердых тел и жидкостей;
- 2) манометрические термосистемы, действие которых основано на зависимости давления от температуры при постоянном объеме;
- 3) преобразователи изменений температуры в электрические величины (сопротивление или ЭДС).

Преобразователи температуры являются первичными приборами термометров.

### ***4.2. Термометры расширения***

Действие термометров расширения основано на использовании зависимости удельного объема вещества от температуры измеряемой среды, в которую оно помещено.

**Жидкостные термометры.** Измерение температуры жидкостными термометрами расширения основано на различии коэффициентов объемного расширения материала оболочки термометра и жидкости, заключенной в ней. Оболочка термометров изготавливается из специальных термометрических сортов стекла с малым коэффициентом расширения. Пределы измерения

стеклянных термометров составляют от  $-200$  до  $+750^{\circ}\text{C}$ .

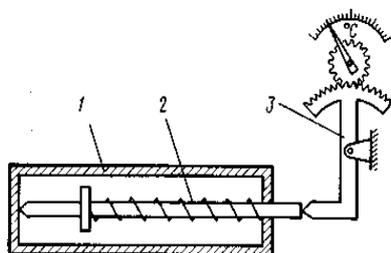


Рис. 4.1. Стержневой дилатометрический термометр

**Дилатометрические термометры.** Принцип действия стержневого дилатометрического термометра (рис. 4.1) основан на использовании разности удлинений трубки 1 и стержня 2 при нагревании вследствие различия коэффициентов их линейного расширения. Движение стержня передается стрелке прибора с помощью механической передачи 3.

**Биметаллические термометры.** Чувствительный элемент термометра (рис. 4.2) выполнен в виде спиральной или плоской пружины, состоящей из двух пластин из разных металлов, сваренных по всей длине.

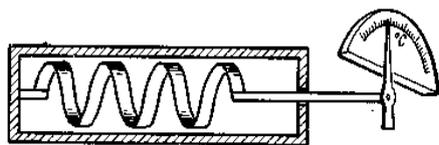


Рис. 4.2. Биметаллический термометр

Внутренняя пластина имеет больший коэффициент линейного расширения, чем внешняя, поэтому при нагревании такая пружина раскручивается, а стрелка перемещается.

Дилатометрическими и биметаллическими термометрами измеряется температура в пределах от  $-150$  до  $+700^{\circ}\text{C}$  (погрешность составляет 1 – 2,5%).

#### 4.3. Манометрические термометры

Принцип действия этих термометров основан на использовании зависимости давления рабочего вещества при постоянном

объеме от температуры. В зависимости от заполнителя (рабочего вещества) эти термометры подразделяются на газовые, жидкостные и конденсационные. Устройство всех типов манометрических термометров аналогично.

Прибор (рис. 4.3) состоит из термобаллона 1, капиллярной трубки, защищенной металлическим рукавом 7, и манометрической трубки, заключенной в специальный корпус 5.

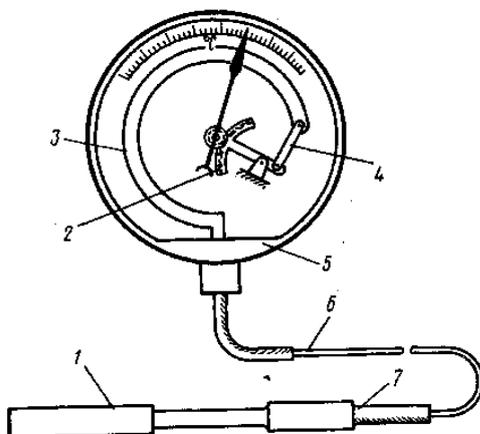


Рис. 4.3. Манометрический термометр

Вся внутренняя система прибора заполняется рабочим веществом (газом, жидкостью). При нагревании термобаллона увеличивается объем жидкости или повышается давление рабочего вещества внутри замкнутой термосистемы. Эти изменения воспринимаются манометрической трубкой

3, которая через передаточный механизм, состоящий из тяги 4 и сектора 2, воздействует через зубчатое колесо на стрелку прибора. Диапазон измерения температуры с помощью манометрических термометров составляет от  $-120$  до  $+600^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.4. Электрические термометры

Эти термометры состоят из первичного преобразователя температуры в электрическое сопротивление (термометры сопротивления) или в ЭДС (потенциометрические термометры) в сочетании с вторичным прибором, который преобразует изменение электрических параметров в показание по шкале и запись температуры.

##### 4.4.1. Термометры сопротивления

Чувствительным элементом этих термометров служат металлические или полупроводниковые термосопротивления, которые

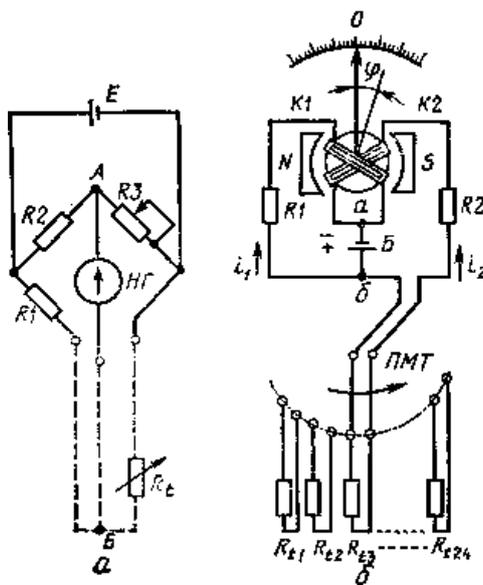


Рис. 4.4. Термометры сопротивления:  
 а – трехпроводная схема  
 уравновешенного измерительного  
 моста; б – логометр

включают в одно из плечей мостовой схемы. Для устранения погрешностей, связанных с изменением общего сопротивления вследствие изменения температуры в подводящих проводах, термосопротивления подключают к мосту по так называемой *трехпроводной* схеме (рис. 4.4а). 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 в схеме имеется переменное

сопротивление  $R_3$ . При изменении температуры и соответственно сопротивления  $R_1$  стрелка нуль-гальванометра  $HГ$  отклоняется от нуля. Изменением сопротивления  $R_3$  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. Такую схему, работающую по компенсационному методу, называют *схемой уравновешенного моста*.

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.

Для дистанционного измерения температуры в нескольких камерах применяют многоточечные переключатели (*ПМТ*), которые позволяют поочередно подключать термосопротивления, ус-

тановленные в камерах, к одному вторичному прибору. На рис. 4.4б показана схема подключения 24 термосопротивлений 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 термосопротивление одной из камер (например  $R_{13}$ ), сопротивление  $R_2$  и другую катушку логометра  $K_2$ . С возрастанием отношения токов  $i_1 / i_2$  угол поворота стрелки  $\varphi$  увеличивается.

*Электронные уравновешенные мосты.* Эти приборы применяются на крупных холодильниках для одновременной записи температур в нескольких камерах. Мост КСМ-4 (рис. 4.5) может иметь до 24 термосопротивлений ( $R_{11}$ ,  $R_{12}$  и т. д.), которые поочередно переключателем  $\Pi$  подключаются к измерительному мосту  $M$ . Переключатель приводится в действие синхронным двигателем  $СД$ , который одновременно вращает барабан с ленточной диаграммой  $ЛД$ , прижимает каретку  $K$  через окрашенную ленту к диаграмме и поворачивает колесико с цифрами, дающее на диаграмме отпечаток номера измеряемой точки.

Равновесие моста (равенство напряжений в точках  $a$  и  $b$ ) возможно только при условии  $R_1 R_2 = R_1 R_3$ . 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 движение через систему шестерен и гибкий трос каретке  $K$ .

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  $K$  займет положение, соответствующее измеряемой температуре.

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.

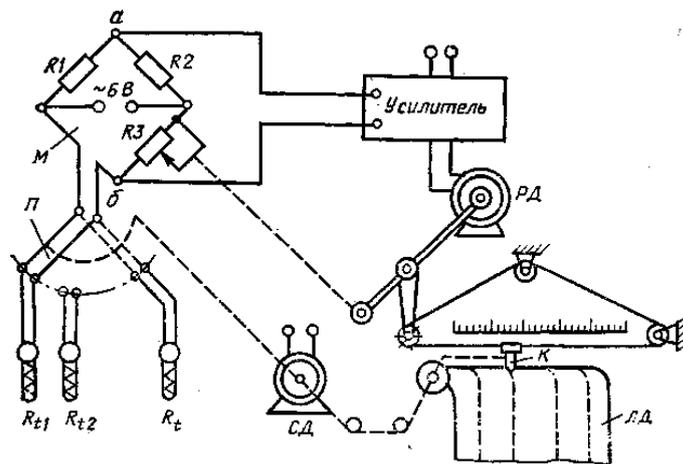


Рис. 4.5. Электронный самопишущий уравновешенный мост КСМ-4

Мосты типа КСМ-4 выпускают в различных модификациях. Класс их точности соответствует 0,25 или 0,5 (указывается при заказе). Погрешность записи составляет  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . Диапазон температуры измерения при градуировке 20 (10П) колеблется от 0 до 300, 0...400; 0...500 и 300...650 $^\circ\text{C}$ . При градуировке 23 – от  $-50$  до 0, 0...50 и 50...100 $^\circ\text{C}$ . Ширина записывающей ленты – 250 мм, масса – 50 кг.

#### 4.4.2. Потенциометрические термометры

Чувствительным элементом этих термометров служит термоэлектрический преобразователь температуры – *термопара* (рис. 4.6). В основу измерения температуры термоэлектрическими преобразователями температуры (ТПТ) положен термоэлектрический эффект, который заключается в том, что в замкнутой цепи, состоящей из двух или нескольких разнородных проводников, возникает электрический ток, если места соединения (спая) нагреты до разной температуры. Цепь, состоящая из двух разнородных проводников, образующих ТПТ, состоит из термоэлектродов А и В, места соединения



Рис. 4.6. Термопара

которых – спаи – имеют разную температуру. При нагревании рабочего спая  $t$  возникает термоэлектродвижущая сила (термоЭДС), которая является функцией двух переменных величин:  $t$  и  $t_0$  – температуры свободного спая. Чувствительные электроизмерительные приборы, работающие в комплекте с ТПТ, градуируются, как правило, при температуре свободного спая  $t_0$ , равной  $0^\circ\text{C}$ .

Создаваемая термоэлектрическим преобразователем температуры ЭДС подается на вторичный прибор: милливольтметр или потенциометр. Термометрический комплект с милливольтметром имеет класс точности 1 – 1,5.

Для более точных измерений применяют *потенциометры*, работающие по компенсационному методу (рис. 4.7). Для защиты от повреждений рабочий конец термопары  $P$  помещают в металлический чехол 3. Электроды 1 и 2 термопары изолируют фарфоровыми бусами или соломкой 4. При измерении свободные концы термопары  $C$  помещают в термостат 7, где поддерживается температура  $0^\circ\text{C}$ . Для удлинения термопары к ней подсоединяют компенсационные провода 5 и 6, термоэлектрические свойства которых аналогичны термоэлектродам 1 и 2. Медными проводами 8 свободные концы  $C$  подсоединяются к потенциометру. Источником питания служит сухой элемент  $E$ , выходное напряжение которого регулируется сопротивлением  $R$ . При замыкании контакта  $K$  (контроль) переключателя  $\Pi$  сопротивление  $R$  подбирают так, чтобы потеря напряжения от батареи  $E$  на сопротивлении  $R_v$  была равна ЭДС нормального элемента  $НЭ$  (1,018 В). При этом стрелка нуль-прибора  $НП$  остается на нуле. При замыкании контакта  $И$  (измерение) через  $НП$  пройдет ток, создаваемый термопарой. Для измерения термо-ЭДС термопары необходимо ползунком  $R_p$  создать такой ток в цепи  $E - a - б - K_n - E$ , чтобы паде-

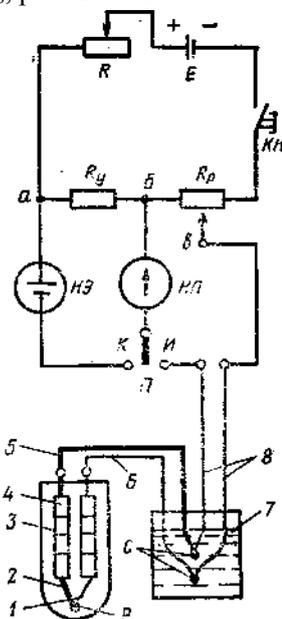


Рис. 4.7. Потенциометрический термометр

ком компенсирующие провода 5 и 6, термоэлектрические свойства которых аналогичны термоэлектродам 1 и 2. Медными проводами 8 свободные концы  $C$  подсоединяются к потенциометру. Источником питания служит сухой элемент  $E$ , выходное напряжение которого регулируется сопротивлением  $R$ . При замыкании контакта  $K$  (контроль) переключателя  $\Pi$  сопротивление  $R$  подбирают так, чтобы потеря напряжения от батареи  $E$  на сопротивлении  $R_v$  была равна ЭДС нормального элемента  $НЭ$  (1,018 В). При этом стрелка нуль-прибора  $НП$  остается на нуле. При замыкании контакта  $И$  (измерение) через  $НП$  пройдет ток, создаваемый термопарой. Для измерения термо-ЭДС термопары необходимо ползунком  $R_p$  создать такой ток в цепи  $E - a - б - K_n - E$ , чтобы паде-

ние напряжения на участке реохорда  $b - в$  было равно и противоположно по знаку термо-ЭДС 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  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . При измерении температур в нескольких точках (с многоточечным переключателем) и пользовании общим тарировочным графиком погрешность составляет  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . В этом случае используют технические потенциометры класса 0,5.

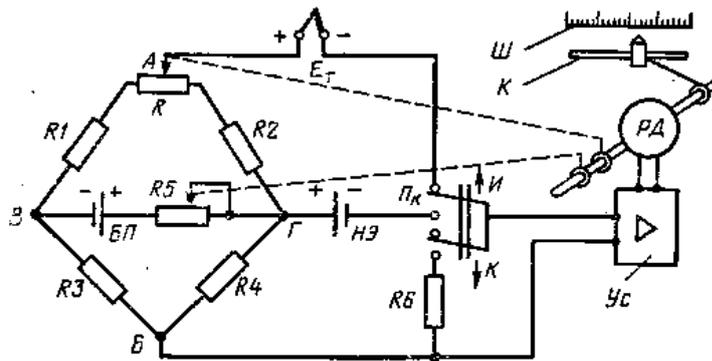


Рис. 4.8. Одноточечный самопишущий потенциометр КСП-4

*Электронные потенциометры типа КСП-4.* 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 ЭДС, величина которой близка к ЭДС, создаваемой термопарой.

Мост потенциометра (рис. 4.8) питается от батареи БП. Сопротивления плеч моста подобраны так, что при заданной средней температуре объекта разность потенциалов в точках А и Б равна ЭДС термопары  $E_T$ , но направлена в другую сторону. При измерении температуры ЭДС термопары будет больше (или меньше) потенциала  $U_{AB}$ . Этот сигнал рассогласования ( $E_T - U_{AB}$ ) подается на электронный усилитель Ус, который приводит во вращение реверсивный двигатель РД. Двигатель перемещает ка-

ретку  $K$  по шкале и движок реостата  $R$ . Когда новое значение потенциала  $U_{AB}$  станет равным новому значению  $E_r$ , двигатель остановится и каретка с указателем покажет по шкале значение измеряемой температуры (ЭДС).

Для проверки силы тока, проходящего через плечи моста, переключатель  $П_k$  автоматически через определенные интервалы времени опускается вниз ( $k$  – контроль). Падение напряжения на сопротивлении  $R_4$  должно быть равно ЭДС нормального элемента (батарея  $HЭ$ ). Если батарея питания не дает требуемой силы тока, падение напряжения будет меньше, чем  $U_{нэ}$ . 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  $П_k$  переключается на измерение  $I$ .

Приборы выпускают в различных модификациях, которые могут работать с чувствительными элементами, создающими ЭДС: 0...20; 0...50; 0...100; -10...+10 и -100...100 мВ. Соответственно термопары могут обеспечить диапазоны температур: -50...+50; -50...+100; -50...150; 0...100 и далее до 1000...1800°C. Остальные показатели такие же, как и у электронных мостов.

#### 4.5. Реле и регуляторы температуры

*Реле температуры биметаллические типа ДТКБ.* Чувствительным элементом реле ДТКБ служит спиральная биметаллическая пластина 1 (рис. 4.9). 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 замыкания 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  $O_2$  укреплен подвижная шкала 4. Деление шкалы против стрелки 5 показывает настройку

температуры выключения.

Дифференциал прибора зависит от силы притяжения биметаллической пластины к магниту. Эта сила 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 и ДТКБ-47 соответственно равен  $-30...0$ ;  $-10...+10$ ;  $10...30$ ;  $15...25$ ;  $20...50$  и  $0...30^{\circ}\text{C}$ , у ДТКБ-54 – от 0 до  $10^{\circ}\text{C}$ ; у ДТКБ-56 – от 25 до  $35^{\circ}\text{C}$ . Такие же диапазоны имеют реле ДТКБ модификаций 48, 53, 56 и 57, но замыкание контактов у них происходит при понижении температуры. Цена делений у приборов со шкалой 10 и  $20^{\circ}\text{C}$  равна  $1^{\circ}\text{C}$ , у приборов со шкалой  $30^{\circ}\text{C}$  цена деления равна  $2^{\circ}\text{C}$ . Дифференциал регулируется от 2 до  $8^{\circ}\text{C}$ . Разрывная мощность контактов при 220 В равна 50 В·А. Такие реле надежно работают в сухих помещениях.

Диапазон регулирования средней температуры по шкале у моделей ДТКБ-42 и ДТКБ-47 соответственно равен  $-30...0$ ;  $-10...+10$ ;  $10...30$ ;  $15...25$ ;  $20...50$  и  $0...30^{\circ}\text{C}$ , у ДТКБ-54 – от 0 до  $10^{\circ}\text{C}$ ; у ДТКБ-56 – от 25 до  $35^{\circ}\text{C}$ . Такие же диапазоны имеют реле ДТКБ модификаций 48, 53, 56 и 57, но замыкание контактов у них происходит при понижении температуры. Цена делений у приборов со шкалой 10 и  $20^{\circ}\text{C}$  равна  $1^{\circ}\text{C}$ , у приборов со шкалой  $30^{\circ}\text{C}$  цена деления равна  $2^{\circ}\text{C}$ . Дифференциал регулируется от 2 до  $8^{\circ}\text{C}$ . Разрывная мощность контактов при 220 В равна 50 В·А. Такие реле надежно работают в сухих помещениях.

*Реле температуры Т35В2.* Это реле местного типа (недистанционные). Термобаллон 6 (рис. 4.10), заполненный жидкостью, вставляется в отверстие объекта и крепится на прокладке гайкой 10 (S30 с резьбой M27×2). Температура кипения жидкости в термобаллоне очень высокая, поэтому при повышении температуры объекта жидкость только расширяется. Донышко сильфона 7 со штоком 8, преодолевая силу упругости пружин 9 и 5, поворачивает рычаг 4 относительно оси О. Пружина 3 растягивается и в том же направлении поворачивает рычаг 11, который нажимает на кнопку микровыключателя 1, замыкая контакт в цепи

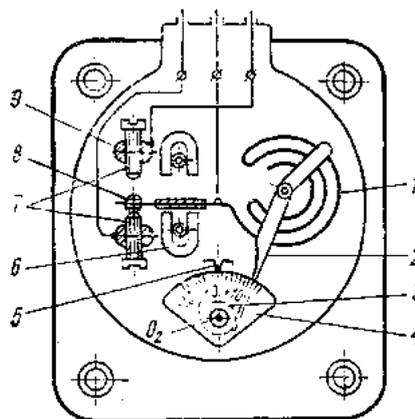


Рис. 4.9. Реле температуры типа ДТКБ

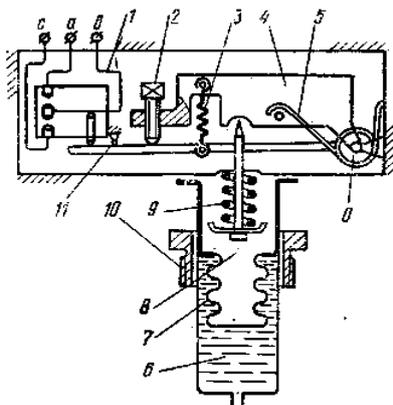


Рис. 4.10. Реле температуры Т35В2

и полуавтоматические реле температуры. В автоматических реле фиксируется момент включения компрессора: температура включения равна  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ , т. е. когда иней оттает. Температура выключения при этом устанавливается за счет изменения дифференциала.

В полуавтоматических реле для перехода на режим оттаивания надо нажать на кнопку реле температуры. Эти реле могут предназначаться только для оттаивания (например реле ТО-11). В реле температуры оттаивания ТО-11 при работе на холод контакты 1 и 3 (рис. 4.11) замкнуты. Температура размыкания реле настолько низкая, что во время работы она не достигается: остановка и включение компрессора при достижении заданных температур осуществляется другим реле температуры.

При нажатии на кнопку 7 рычаг 8 отводит ось  $O_3$  ниже линии  $O_2 - O_4$ . Пружи-

$b - a$  и размыкая контакт в цепи  $b - c$ . При снижении температуры на величину дифференциала рычаг 4 опускается вниз и, нажимая винтом 2 на рычаг 11, размыкает контакты переключателя. Отжимая винтом 2 рычаг 11 вниз, можно увеличивать температуру срабатывания во всем диапазоне.

Реле температуры для оттаивания испарителей. Для оттаивания испарителей применяют автоматические

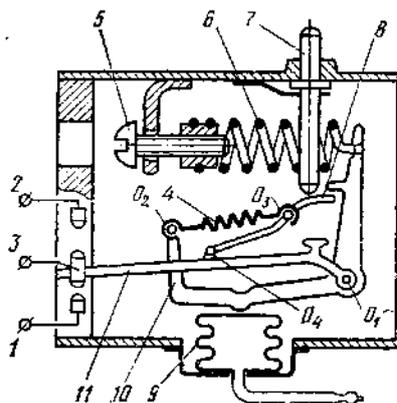


Рис. 4.11. Реле температуры оттаивания ТО-11

на 4 резко перемещается вниз, а ось  $O_4$  – вверх. Рычаг 11 перебросит подвижной контакт 3 с клеммы 1 на клемму 2. При этом компрессор остановится, а нагреватель для оттайки испарителя включится. При повышении температуры испарителя до  $4 - 6^\circ\text{C}$  доньшко сильфона 9 нажмет на рычаг 10, преодолевая усилие пружины 6, и конец  $O_2$  перекидной пружинки 4 окажется снова выше линии  $O_4 - O_3$ . Точка  $O_4$  переместится вниз, и рычаг 11, разомкнув контакты 2 – 3, замкнет контакты 3 – 1.

Температура конца оттаивания регулируется винтом 5, который изменяет натяжение пружины 6.

*Регуляторы температуры.* Эти регуляторы аналогичны пропорциональным регуляторам давления: манометрическая термосистема, отжимая пружину, открывает (или закрывает) клапан,

изменяя расход холодильного агента (дроссельные регуляторы) или воды, рассола, пара (регуляторы общего назначения).

Дроссельные регуляторы типа РТ-ДЗ прямого действия выпускают для диаметров условного прохода 15, 20 и 25 мм. Для диаметров 32, 40, 50 и 65 мм выпускают регуляторы непрямого действия (рис. 4.12). Такой регулятор состоит из пилотного вентиля ПВ (регулятора прямого действия) и исполнительного механизма ИМ (рис. 6.1а). Его применяют,

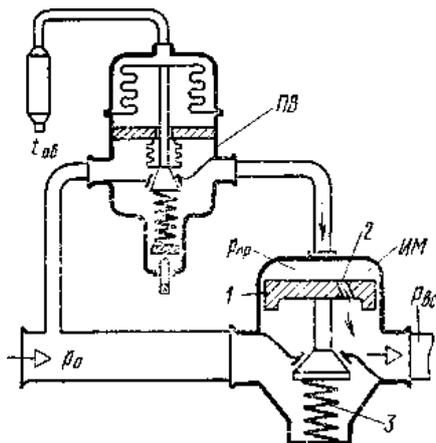


Рис. 4.12. Пропорциональный регулятор температуры непрямого действия

например, при регулировании температуры в камере ( $t_{об}$ ). С повышением  $t_{об}$  клапан ПВ открывается, давление  $p_{пр}$  увеличивается, так как поступление пара на поршень 1 становится больше, чем расход через отверстие 2. Когда расход пара станет равным поступлению, установится более высокое значение  $p_{пр}$ , поршень отождит пружину 3 и увеличит проход для отвода пара компрессором. Давление в испарителе  $p_0$  (и соответственно,  $t_0$ ) станет ниже, что обеспечит понижение температуры в камере.

Приборы предназначены для  $t_{об}$  от  $-10$  до  $+20^{\circ}\text{C}$  (регулируются), неравномерность (ДП) равна  $3^{\circ}\text{C}$ , длина капилляра – 3 м, рабочая среда – фреоны, аммиак.

Регуляторы общего назначения также выпускают прямого и непрямого действия. В регуляторах прямого действия используют термосистему, заряженную некипящей жидкостью, с мембранным исполнительным механизмом (рис. 6.1б).

В регуляторах непрямого действия для изменения расхода жидкости применяют исполнительный механизм, как и в мембранных соленоидных вентилях (рис. 6.1б), но разгрузочный клапан управляется не электромагнитом, а пропорциональным регулятором температуры прямого действия – пилотным вентилем, закрепленным на исполнительном механизме.

#### 4.6. Электронные реле и регуляторы температуры

Реле температуры РТ-2 и РТ-3. В реле РТ-3 (рис. 4.13) термосопротивление  $R_t$  подключают к измерительному мосту, который находится в равновесии при  $R_t R_3 = R_1 R_4$ . Сопротивлением  $R_2$  меняют заданное значение температуры (уставку). При изменении  $R_t$  разбаланс моста  $U_m$  подается на операционный усилитель ОУ. Коэффициент усиления определяется величиной отрицательной обратной связи (сопротивлением  $R_5$ ). Пороговое устройство ПУ имеет два триггера Шмидта, которые преобразуют плавный сигнал изменения напряжения в двухпозиционное изменение сопротивления (от 0 до  $R_{макс}$ ).

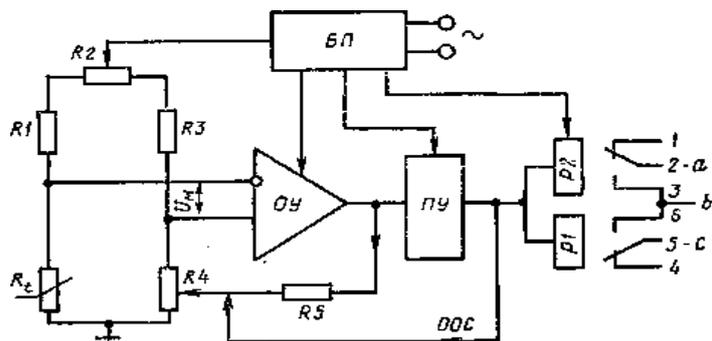


Рис. 4.13. Блочная схема электронных реле температуры РТ-2 и РТ-3

При повышении температуры до  $t_{\max}$  включается выходное реле  $P_1$ , замыкая цепь  $a - b$ . При снижении температуры на величину  $\Delta_b$  (зона возврата, или частный дифференциал) реле  $P_1$  размыкается, и вследствие этого размыкаются цепи  $a - b$  и  $b - c$ . При снижении температуры до  $t_{\min}$  включается реле  $P_2$  (цепь  $b - c$ ). Зона нечувствительности (или общий дифференциал)  $\Delta_n = t_{\max} - t_{\min}$  регулируется переменным сопротивлением  $R_4$ , которое изменяет степень разбаланса моста вследствие подачи сильного сигнала отрицательной обратной связи  $ООС$ . Блок питания  $БП$  преобразует переменное входное напряжение в постоянное для питания узлов прибора.

Двухпозиционное реле РТ-2, в отличие от РТ-3, имеет только один триггер в блоке ПУ и одно выходное реле, которое замыкает и размыкает цепь.

Пропорциональный регулятор температуры РТ-П. Этот регулятор (рис. 4.14а) состоит из трехпозиционного реле (типа РТ-3), реверсивного пускателя ПР и исполнительного механизма ИМ, двигатель  $D$  которого имеет реостат обратной связи РОС.

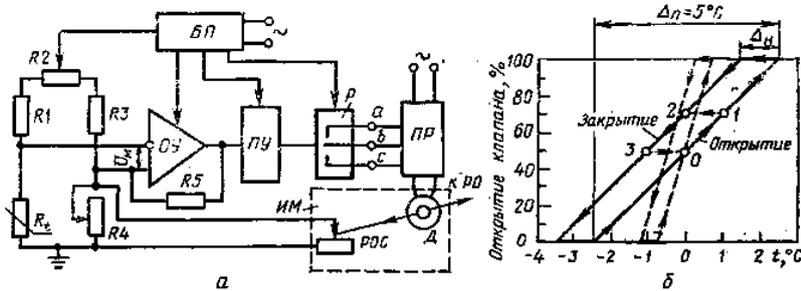


Рис. 4.14. Блочная схема пропорционального регулятора температуры РТ-П (а) и его статическая характеристика (б)

При отклонении  $t_{об}$  от заданной разбаланс моста  $U_m$  увеличивается до момента срабатывания порогового устройства ПУ. При повышении температуры замыкается выходная цепь  $a - b$ , и пускатель ПР обеспечивает вращение двигателя  $D$  в направлении открытия клапана РО. Одновременно реостат двигателя РОС, подключенный к мостовой схеме параллельно  $R_4$ , изменяет сопротивление в этом плече моста, пока снова не наступит его равновесие, и двигатель остановится. Каждому значению  $t_{об}$  соответствует свое положение движка РОС. Чем больше  $t_{об}$ , тем

больше установившийся поворот двигателя и открытие клапана, т. е. обеспечивается пропорциональный закон регулирования. Например, с повышением  $t_{об}$  от 0 до 1°C (рис. 4.14б) открытие клапана увеличится с 50 до 70%. При снижении  $t_{об}$ , например, до -1°C, в точке 2 замкнется выходной контакт  $b - c$ , и двигатель начнет закрывать клапан, пока реостат  $ROC$  не уравновесит мост (точка 3 на линии закрытия).

Диапазон настройки средней температуры (°C) может быть - 40...0; -20...+20; 0...40; 40...80; 60...100 и 80...120°C. Цена деления равна 2°C.

*Реле температуры с защитой двигателя от перегрузки типа РТ-ПИ.* Для регулирования температуры в установках с винтовыми компрессорами применяют регуляторы типа РТ-ПИ (рис. 4.15) с дополнительным каналом, который предохраняет электродвигатель компрессора от перегрузки.

В основном канале отклонение температуры объекта от заданной преобразуется измерительным мостом (элементом сравнения ЭС1) в изменение напряжения  $U_m$ . Сигнал отрицательной обратной связи ОС, поступающий с выхода усилителя на ЭС2, имеет инерционное запаздывание (параллельно с сопротивлением включен конденсатор), что позволяет осуществить закон ПИ-регулирования. Через переключатель каналов ПК сигнал поступает на исполнительный механизм ИМ и обеспечивает поддержание заданной температуры. Если при этом сила тока в электродвигателе выше допустимой, то дополнительный канал, подключенный к трансформатору тока ТТ, преобразует поступающий сигнал (также по закону ПИ-регулирования) и передает на переключатель каналов ПК. При этом сигнал основного канала (по температуре) отключается, и компрессор продолжает работать при максимальной нагрузке, но не допускающей токовой перегрузки. При снижении силы тока до допустимого предела

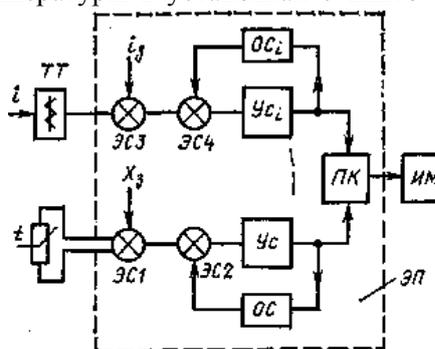


Рис. 4.15. Функциональная схема регулятора температуры РТ-ПИ с дополнительным каналом по току

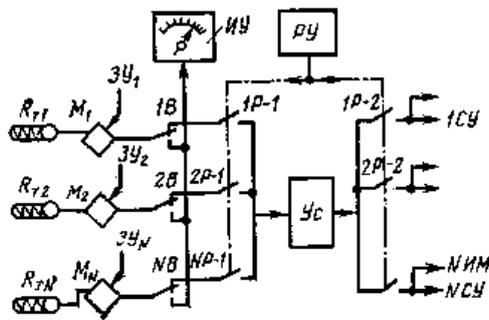


Рис. 4.16. Функциональная схема многоканального реле температуры (М4)

температуры показана на рис. 4.16. В каждой камере установлены термосопротивления  $R_{T1}, R_{T2}, \dots, R_{TN}$ , подключенные к соответствующим измерительным мостам  $M_1, M_2, \dots, M_N$  с датчиками  $ZU_1, ZU_2, \dots, ZU_N$ . Распределительное устройство  $PY$  поочередно включает свои реле  $1P, 2P, \dots, NP$ , одновременно подключая при этом разбаланс моста соответствующего датчика температуры к общему усилителю  $Ус$ , а выходной сигнал с усилителя – к исполнительным механизмам  $ИМ$  и сигнальным устройствам. Так, при измерении температуры в камере № 1 включаются контакты  $1P-1$  и  $1P-2$ . Если температура выше заданной, то срабатывает  $ИИМ$  (например соленоидный вентиль подачи в камеру холодного рассола) и может подаваться сигнал на сигнальное устройство  $1СУ$ . При измерении температуры в следующей камере контакты  $1P-1$  и  $1P-2$  размыкаются, а контакты  $2P-1$  и  $2P-2$  замыкаются, включая второй канал ( $R_{T2}-2ИМ$ ). Пока  $PY$  обегает все камеры,  $ИИМ$  остается включенным. При повторном измерении, если температура в камере № 1 стала ниже заданной,  $ИИМ$  отключается. Выключателями  $4B, 2B, \dots, NB$  можно подключить датчик любой камеры к измерительному устройству  $ИУ$ .

Преимущество многоканальных реле температуры заключается в том, что на большое число точек требуются только один усилитель и одно измерительное устройство.

опять включается основной канал.

Многоканальные реле температуры. Для одновременного регулирования температуры во многих камерах очень удобны многоканальные (многоточечные) реле температуры (типа АМУР-80 или М4). Упрощенная схема многоканального реле темпе-

## Глава 5. Регуляторы перегрева и уровня

### 5.1. Регуляторы перегрева (ТРВ)

Для регулирования заполнения испарителей хладагентом широко применяют пропорциональные регуляторы перегрева, называемые обычно терморегулирующими вентилями (ТРВ).

Под перегревом пара на выходе из испарителя понимают разность между температурой перегретого пара (на выходе из испарителя)  $t_{\text{вых}}$  и температурой кипения  $t_0$ :

$$\Delta t = t_{\text{вых}} - t_0,$$

где  $t_0$  определяется по давлению пара на выходе из испарителя. Соответственно, ТРВ имеет два чувствительных элемента: один воспринимает температуру  $t_{\text{вых}}$ , преобразуя ее в давление, а другой – непосредственно давление  $p_0$ . Таким образом, в отличие от регуляторов разности температур, ТРВ воспринимает не любую разность температур, а только перегрев пара. При уменьшении заполнения испарителя перегрев пара на выходе возрастает, и ТРВ автоматически увеличивает подачу хладагента.

Давление из испарителя  $p_0$  может подаваться к ТРВ как со стороны входа в испаритель, так и со стороны выхода (по уравнительной трубке), поэтому различают ТРВ с внутренним и внешним отбором.

#### 5.1.1. ТРВ с внутренним отбором

Температура на выходе из испарителя (рис. 5.1) воспринимается термобаллоном  $Tб$  манометрической термосистемы. Наполнитель термосистемы выбран так, что когда  $t_{тб} = t_0$  (при 100%-ном заполнении испарителя жидкостью, т. е. при  $\Delta t = 0$ ), давление  $p_{тб} \approx p_0$ . Давление из термобаллона  $p_{тб}$  по капиллярной трубке 8 подается на мембрану 7 сверху, а давление в испарителе  $p_0$  воздействует на мембрану 7 снизу. При  $\Delta t = 0$ , т. е. при  $p_{тб} = p_0$ , мембрана не прогибается, и под действием пружины 3 клапан 5 закрывает подачу жидкости из конденсатора в испаритель.

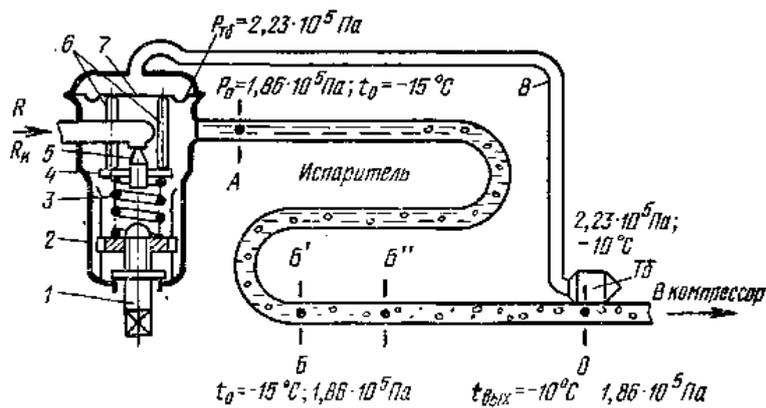


Рис. 5.1. Схема работы ТРВ с внутренним отбором давления

При уменьшении заполнения испарителя (например из-за увеличения тепловой нагрузки) жидкость выкипает быстрее, и в некоторой точке  $B$  уже остается только насыщенный пар. При движении пара на участке  $BB$  он перегревается. С повышением  $t_{\text{вых}}$  растут температура и давление в термобаллоне.

При  $p_{\text{тб}} > p_0$  мембрана 7 прогибается вниз и через толкатели 6 и иглодержатель 4 сжимает пружину 3, увеличивая открытие клапана, пока сила упругости сжатой пружины не уравнивает разность давлений.

Поясним работу ТРВ конкретным примером. Жидкий R12 из ресивера поступает к ТРВ с давлением  $p_k$ . В отверстии клапана жидкость дросселируется, давление ее падает до давления в испарителе  $p_0 = 1,86 \cdot 10^5$  Па, которое поддерживается компрессором. При этом часть жидкости превращается в пар, и температура остальной жидкости снижается до  $-15^\circ\text{C}$  (точка  $A$ ). При движении по трубкам испарителя концентрация пара за счет теплопритока увеличивается, и в некоторой точке  $B$  вся жидкость превратится в насыщенный пар. Если считать, что давление на выходе из испарителя примерно такое же, как и на входе, то температура кипения на всем участке  $AB$  постоянна и равна  $-15^\circ\text{C}$ . На участке  $BO$  теплоприток идет уже не на кипение, а на подогрев пара. Если пар перегреется на  $5^\circ\text{C}$ , то температура его на выходе из испарителя станет  $-10^\circ\text{C}$ . Примерно такую же температуру ( $-10^\circ\text{C}$ ) при-

мет и термобаллон, но давление в нем будет не  $1,86 \cdot 10^5$  Па, как в испарителе, а  $2,23 \cdot 10^5$  Па, т. к. давление его определяется температурой ( $-10^\circ\text{C}$ ). В точке же *B* (в испарителе) давление определяется производительностью компрессора.

Таким образом, перегреву пара на  $5^\circ\text{C}$  (от  $-15$  до  $-10^\circ\text{C}$ ) соответствует разность давлений  $0,37 \cdot 10^5$  Па:

$$\Delta t = t_{\text{вых}} - t_0 = -10 - (-15) = 5;$$

$$\Delta p = p_{\text{тб}} - p_0 = 2,23 - 1,86 = 0,37.$$

Эта разность давлений обеспечивает соответствующее открытие клапана.

Заданное начальное значение перегрева устанавливается соответствующим натяжением пружины *3*. При повороте винта *1* гайка *2* скользит по прорезям в корпусе, сжимая пружину *3*.

С увеличением тепловой нагрузки подача жидкости через ТРВ должна быть больше. А это возможно лишь при большем перегреве (точка *B'*), т. е. испаритель немного недозаполнен. А с увеличением давления  $p_k$  пропускная способность ТРВ увеличивается, и требуемая производительность будет обеспечена при меньшем перегреве (точка *B''*). Таким образом, ТРВ, как всякий П-регулятор, дает некоторую статическую ошибку.

При остановке компрессора давление в испарителе растет и ТРВ закрывается.

### 5.1.2. ТРВ с внешним отбором

В змеевиковых испарителях, когда падение давления в испарителе более  $(0,1 \div 0,2) \cdot 10^5$  Па, применяют ТРВ с внешним отбором (рис. 5.2). Давление под мембрану подается со стороны выхода испарителя по уравнительной трубке *8*. Поясним на примере, в чем преимущество внешнего отбора. Пусть падение давления в испарителе составляет  $0,2 \cdot 10^5$  Па. Тогда температура кипения ближе к выходу (точка *B*) будет уже не  $-15^\circ\text{C}$  (как при  $1,86 \cdot 10^5$  Па), а  $-18^\circ\text{C}$  ( $1,66 \cdot 10^5$  Па). При том же перегреве в  $5^\circ\text{C}$  давление в термобаллоне *Tб* станет меньшим и составит  $2 \cdot 10^5$  Па (а не  $2,23 \cdot 10^5$  Па), т. к. на него будет воздействовать  $t_{\text{вых}} = -13^\circ\text{C}$ , а не  $t_{\text{вых}} = -10^\circ\text{C}$ . Если под мембрану *7* подавать давление

$p_A = 1,86 \cdot 10^5$  Па (со стороны входа, как в ТРВ с внутренним отбором), то перегреву в  $5^\circ\text{C}$  будет соответствовать разность давлений  $\Delta p = 2 - 1,86 = 0,14 \cdot 10^5$  Па, что не обеспечит требуемое открытие клапана. Для прежнего открытия клапана потребовалось бы поддерживать перегрев не  $5$ , а  $8^\circ\text{C}$  (от  $-18$  до  $-10^\circ\text{C}$ ). Точка  $B$  оказалась бы левее, и заполнение испарителя было бы меньше. При внешнем отборе перегрев в  $5^\circ\text{C}$  (от  $-18$  до  $-13^\circ\text{C}$ ) создаст давление  $\Delta p = 2 - 1,66 = 0,34 \cdot 10^5$  Па, т. е. почти как и в ТРВ с внутренним отбором.

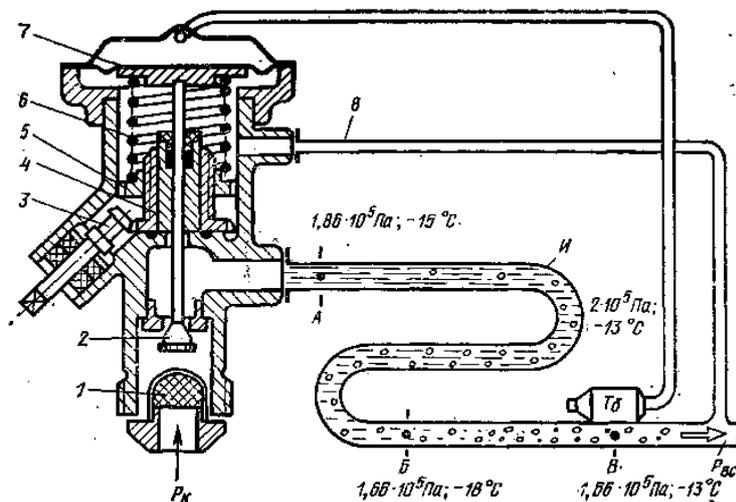


Рис. 5.2. Схема работы ТРВ с внешним отбором

Конструктивно на рис. 5.2 показан угловой вентиль. Хлад-агент давлением  $p_k$  через сетчатый фильтр 1 и клапан 2 поступает в испаритель. Заданный перегрев изменяется начальным натяжением пружины 6. Винт 3 с косозубой шестеренкой вращает гайку 4. При этом гайка 5 по прорезям в корпусе перемещается вверх или вниз, изменяя натяжение пружины.

Внешний отбор не только повышает чувствительность прибора в результате подачи под мембрану более низкого давления (со стороны выхода из испарителя), но имеет и другие преимущества.

Повышенное давление (и температура) за клапаном, а также подача под мембрану перегретого пара снижают опасность конденсации пара над мембраной.

### 5.1.3. ТРВ непрямого действия

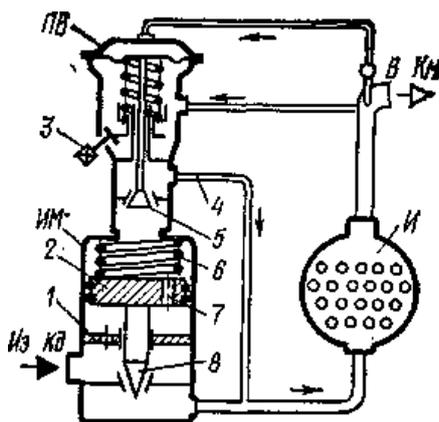


Рис. 5.3. Схема ТРВ непрямого действия

Крупные ТРВ выполняют в виде регуляторов непрямого действия (рис. 5.3). Пилотный вентиль *ПВ* (небольшой ТРВ прямого действия) крепят непосредственно на корпусе исполнительного механизма *ИМ*. Поступающий хладагент через отверстие в направляющей *1* и отверстие *7* в поршне *2* заполняет полость над поршнем. Разность давлений над и под поршнем равна нулю. Пружина *6* перемещает поршень и закрывает клапан *8*.

С увеличением перегрева клапан пилота *5* открывается, и по трубке *4* часть давления сбрасывается в испаритель. Давление под поршнем становится больше, чем над ним, и поршень, перемещаясь вверх, сжимает пружину, обеспечивая открытие клапана, пропорциональное перегреву. Заданный перегрев устанавливается винтом *3*, который регулирует натяжение пружины *ПВ* (рис. 5.2).

## 5.2. Приборы для измерения и регулирования уровня

### 1. Элементы преобразования уровня

**Поплавковые преобразователи.** Для преобразования изменения уровня в перемещение твердого тела применяют поплавок устройства. Различают свободно плавающие поплавки и тонущие.

В *свободно плавающей поплавке* (рис. 5.4а) положение поплавка *1* определяется равенством веса поплавка и выталкивающей силы жидкости, которая равна весу вытесненной поплавком жидкости. Для цилиндрических поплавков (с вертикальной осью) объем вытесненной жидкости пропорционален высоте погружения поплавка. Для шаровых поплавков зависимость более сложная. Сильфон *2* служит только для герметичности резервуара. Упругость его мала.

В *тонущих поплавках* (буйках) вес поплавок уравнивается выталкивающей силой, которая меньше веса, и силой упругости сжатой пружины 3 (рис. 5.4б). Эти поплавки более устойчивы: с изменением нагрузки колебания поплавок быстрее затухают.

Герметизация поплавковой камеры (сильфоном, мембраной или сальником) усложняет ее конструкцию и снижает чувствительность поплавкового устройства. Поэтому широко применяют магнитную передачу, размещая магнитную стрелку или контакт вне сосуда. При этом стенка поплавковой камеры выполнена из немагнитного материала. На рис. 5.4в показано преобразование изменения положения поплавок в индуктивность катушки.

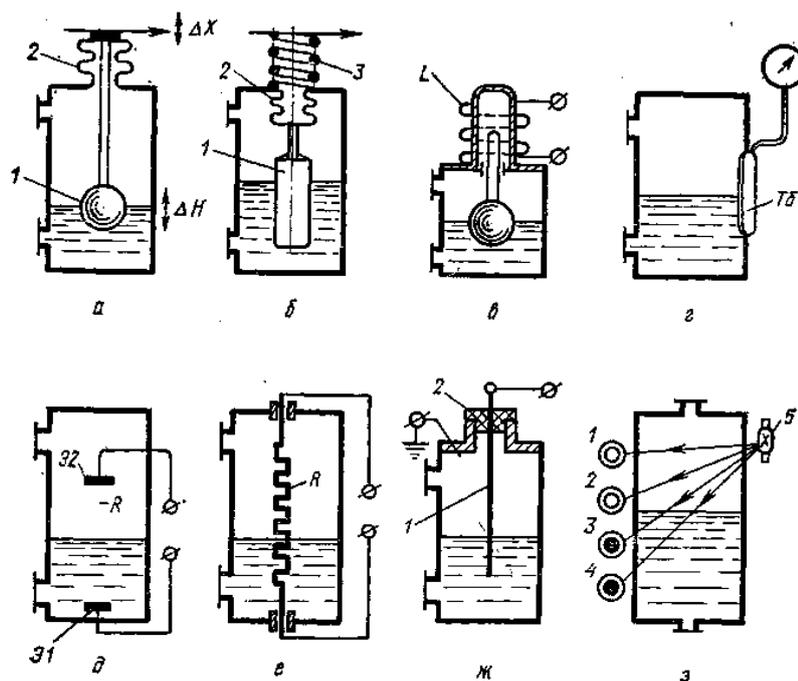


Рис. 5.4. Преобразователи изменения уровня: а, б – в перемещение (а – свободно плавающий поплавок; б – тонущий поплавок – буюк); в – в индуктивность; г – в температуру термобаллона Тб; д – в двухпозиционное изменение сопротивления; е – в плавное изменение сопротивления; ж – в плавное изменение емкости; з – в сопротивление гамма-лучам

*Тепловые и электрические преобразователи.* Изменение уровня можно преобразовать в ряд параметров без применения поплавков. Преобразование изменения уровня в изменение температуры термобаллона  $T_b$  манометрической термосистемы показано на *рис. 5.4г*. Температура жидкости в сосуде ниже температуры окружающей среды. Термобаллон, прижатый к сосуду, имеет некоторую среднюю температуру. С увеличением уровня жидкости интенсивность теплоотдачи от термобаллона к жидкости увеличивается, т. к. коэффициент теплоотдачи к жидкости в десятки раз выше, чем к пару. При этом температура термобаллона и давление в термосистеме уменьшаются.

Некоторые жидкости (вода, ртуть и др.) хорошо проводят электрический ток. Пока электрод Э2 (*рис. 5.4д*) не касается уровня жидкости, пар или газ оказывают большое сопротивление  $R$ . При соприкосновении жидкости с электродом сопротивление  $R$  резко падает.

На *рис. 5.4е* показана схема плавного изменения омического сопротивления с изменением уровня. При прохождении тока электрическая спираль  $R$  нагревается. С повышением уровня поверхность спирали с интенсивной теплоотдачей увеличивается, а средняя ее температура и сопротивление уменьшаются.

Емкостный датчик уровня показан на *рис. 5.4ж* латунный или стальной стержень  $1$  через изолятор  $2$  опущен в резервуар. Корпус резервуара присоединен к земле и служит второй обкладкой конденсатора. С увеличением уровня жидкости емкость стержня увеличивается, т. к. диэлектрическая постоянная жидкости выше, чем у пара. При горизонтальном расположении датчика емкость его при омывании жидкостью увеличивается более резко.

Измеритель уровня, в котором использована различная степень поглощения радиоактивного излучения жидкостью и паром, показан на *рис. 5.4з*. Гамма-лучи из источника излучения  $5$  свободно проникают через металлические стенки сосуда и через пар к приемникам излучения (счетчикам)  $1$  и  $2$ . Жидкость рассеивает гамма-лучи, поэтому приемники  $3$  и  $4$  получают менее интенсивное излучение, что и определяет высоту уровня в резервуаре. Датчик уровня с радиоактивным излучением может быть использован и для измерения поверхности раздела между двумя жидкостями.

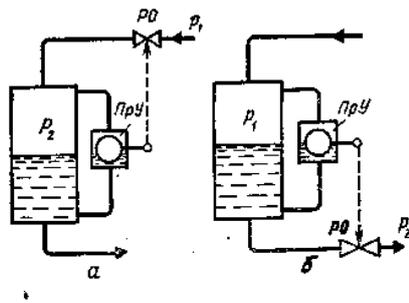


Рис. 5.5. Схемы включения регуляторов уровня: а – низкого давления; б – высокого давления

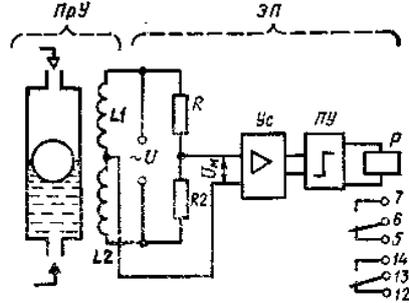


Рис. 5.6. Упрощенная схема реле уровня ПРУ-5В

### 2. Схемы включения регуляторов уровня.

Регуляторы уровня находят широкое применение для поддержания уровня жидкости в испарителях, циркуляционных ресиверах, маслоотделителях, а также для защиты компрессоров от попадания в них жидкости и для сигнализации о недопустимо высоком или низком уровне в сосудах. Различают регуляторы уровня на стороне низкого и высокого давления. Преобразователь уровня низкого давления *ПрУ* (рис. 5.5а) воспринимает изменение уровня в сосуде с низким давлением ( $p_2 < p_1$ ). Регулирующий орган *РО* расположен до сосуда, и при понижении уровня клапан *РО* открывается. В регуляторе уровня (рис. 5.5б) на стороне высокого давления ( $p_1 > p_2$ ) клапан *РО* расположен после сосуда и при понижении уровня закрывается.

3. Реле уровня ПРУ-5В. Это реле состоит из индуктивного датчика – первичного преобразователя уровня *ПрУ* (рис. 5.6) и электронного прибора *ЭП*, включающего в себя усилитель *Ус*, пороговое устройство *ПУ* (триггер) и выходное реле *Р*. Среднее положение уровня определяется высотой установки поплавковой камеры, которая вместе с объектом образует сообщающиеся сосуды. При повышении уровня поплавков увеличивает индуктивность верхней катушки *L1*, уменьшая индуктивность нижней *L2*. Катушки *L1*, *L2* и сопротивления *R1* и *R2* образуют мост переменного тока. Разбаланс моста  $U_m$  подается на вход усилителя *Ус*, затем срабатывает выходное реле *Р*, размыкая контакты 5 – 6 и 12 – 13 и замыкая контакты 6 – 7 и 13 – 14.

ПРУ-5В предназначен для аммиака, фреонов, масла, воды. Дифференциал составляет  $35 \pm 15$  мм.

4. Реле уровня ПРУ-ГК-03. Реле ПРУ-ГК-03-1 (рис. 5.7а) представляет собой поплавковую камеру, на диамагнитной крышке 3 которой смонтирован поплавок 1 с двумя магнитами 2, а снаружи – два магнитоуправляемых контакта 4. При использовании нижнего контакта 4 регулируется включение и отключение соленоидного вентиля. Верхний контакт может служить для сигнализации о недопустимом повышении уровня. Реле ПРУ-ГК-03-2 имеет только один контакт. Дифференциал составляет  $10 \pm 25$  мм (нерегулируемый).

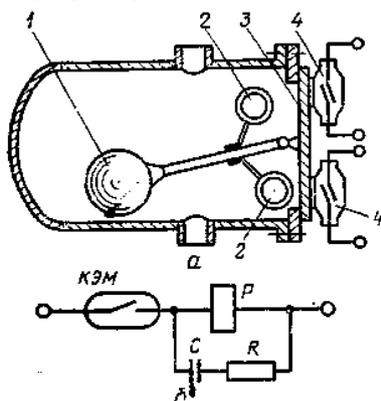


Рис. 5.7. Реле уровня ПРУ-ГК-03:  
а – схема реле; б – искрогасящий контур к магнитоуправляемым контактам

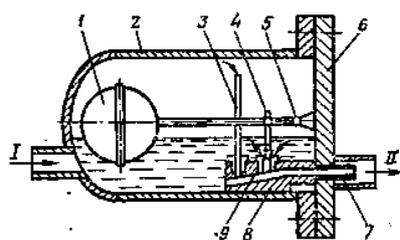


Рис. 5.8. Поплавковый регулятор высокого давления (ПР-1):  
I – поступление жидкости из конденсатора; II – выход пара в испаритель

5. Поплавковые регуляторы прямого действия. В регуляторах уровня прямого действия поплавки через рычаги воздействуют непосредственно на клапан. Если поплавки не встроены в сосуд, то камера поплавка соединяется с сосудом двумя трубками, и уровень жидкости в ней такой же, как и в основном аппарате. При этом жидкость, поступающая в сосуд, может проходить через камеру поплавка (ПР – проходного типа) или миновать камеру (ПР – непроходного типа).

Несколько иной принцип действия у регулятора высокого давления типа ПР-1, который не имеет паровой трубки (рис. 5.8).

Жидкий хладагент из конденсатора попадает в камеру поплавка 2, поплавок 1 поднимается, вращаясь вокруг оси 5, укрепленной на фланце 6, и клапан 8, укрепленный на оси 4, поднимается, увеличивая отверстие в седле 9. В трубке 7 хладагент дополнительно дросселируется и поступает в испаритель. Небольшая часть насыщенных паров по капиллярной трубке 3 проходит на сторону промежуточного давления (перед дросселем 7). В результате этого давление в камере поплавка несколько ниже, чем в конденсаторе. Это обеспечивает хорошее поступление жидкости из конденсатора в поплавок, даже если он расположен выше конденсатора. Таким образом, регулятор, поддерживая определенный уровень в камере поплавка, перепускает из конденсатора в испаритель весь жидкий хладагент, задерживая пары высокого давления.

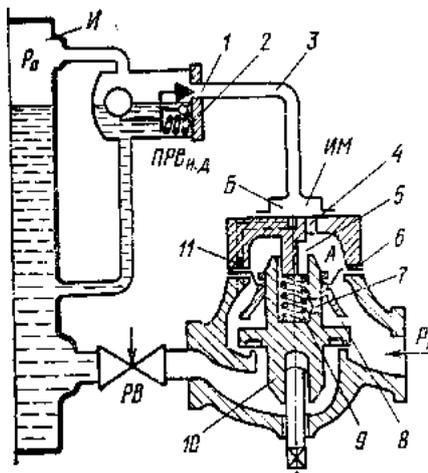


Рис. 5.9. Поплавковый регулятор типа ПРУД

6. *Регуляторы уровня непрямого действия.* Эти регуляторы состоят из пилотного вентиля (обычно поплавоквого регулятора прямого действия) и исполнительного механизма.

В двухпозиционных регуляторах типа ПРУД в качестве исполнительного механизма используют нижнюю часть мембранных соленоидных вентилей СВМ25 или СВМ40. Для перемещения основного клапана в них используется энергия поступающей жидкости. В пропорциональных регуляторах уровня используют поршневые исполнительные механизмы с энергией давления пара или сжатого воздуха.

*Поплавковый регулятор типа ПРУД (рис. 5.9) состоит из пилотного вентиля ПРВ<sub>нд</sub> (поплавоквый вентиль низкого давления) и исполнительного механизма ИМ (нижняя часть соленоидного вентиля с заглушенным отверстием 11).*

Давление жидкости над мембраной *б* 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*).

При медленном понижении уровня поплавков опускается, сжимая пружину *2*. Проходное сечение *1* клапана увеличивается, и давление в трубке *3*, а следовательно, и над мембраной *б* (в полости *А*) уменьшается. Тогда давление жидкости со стороны входа, действуя на мембрану снизу, преодолевает вес клапана *10* и силу упругости 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 под действием собственного веса и силы упругости пружины *9* закрывает основной проход поступления жидкости в сосуд.

Диапазон пропорциональности ПРВ равен 15 мм, время запаздывания *ИМ* (для клапанной части с  $D_v = 25$  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 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, который при больших скоростях изменения уровня работает в режиме незатухающих колебаний.

Площадь проходного сечения при открытии клапана *10* СВМ слишком велика. Поэтому после *ИМ* ставят регулирующий вентиль *РВ*, величина открытия которого соответствует максимальной нагрузке.

*Поплавковый регулятор уровня высокого давления ПРУДВ* (рис. 5.10) по конструкции аналогичен регулятору ПРУД, но при

снижении уровня в сосуде 1 основной клапан 10 должен не открыться, а закрыться. Поплавок 2 при снижении уровня опускается, сжимая пружины 3 и 6, и золотник 5, открывая отверстие 12 и перекрывая отверстие 7, соединяет надмембранную полость с конденсатором, т. е. давлением под мембраной 9 и над ней выравниваются. Под действием пружины 8 клапан 10 закрывается. При повышении уровня поплавок 2 отводит золотник 5 влево. Надмембранная полость через отверстие 7 соединится с испарителем, т. е.  $p_{пр}$  станет равным  $p_0$ . Давлением жидкости под мембрану клапан 10 откроется. При среднем положении золотника 5 в коробке 4 давления над мембраной 9 и под ней выравниваются через отверстие 11, и клапан закрывается. Техническая характеристика ПРУДВ-15, -25 и -40 такая же, как у аналогичных регуляторов ПРУД.

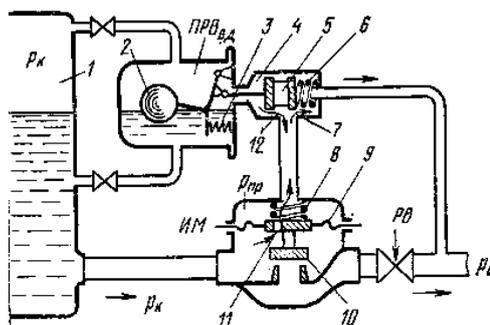


Рис. 5.10. Регулятор уровня высокого давления ПРУДВ

## Глава 6. Исполнительные механизмы и электромагнитные вентили

### 6.1. 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 компонуют непосредственно с регулирующим органом (клапаном).

*Исполнительный механизм поршневого типа.* Этот механизм (рис. 6.1а) 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.

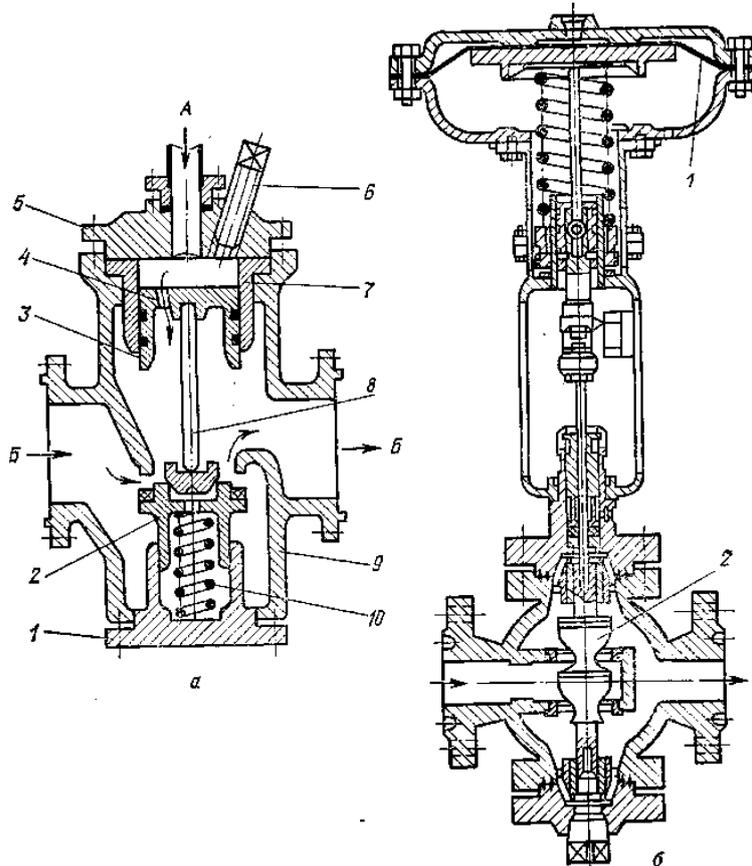


Рис. 6.1. Пневматические исполнительные механизмы:  
а – поршневой; б – мембранный

Управляющее давление  $A$  может подаваться через регулирующий вентиль, автоматическим регулятором (пилотный вентиль) с отбором давления со стороны входа  $B$  или из другого сосуда с давлением выше, чем после клапана. В качестве пилотного вентиля 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.

*Мембранный исполнительный механизм (МИМ)*. Мембранный пневматический *ИМ* (рис. 6.1б), в отличие от поршневого, имеет чувствительный элемент в виде гибкой резиновой мембраны 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.

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.

## **6.2. Электромагнитные (соленоидные) вентили**

Соленоидные вентили *СВ* 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.

Наиболее просты по конструкции *соленоидные вентили прямого действия* (рис. 6.2а). 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 поэтому требуются электромагниты большой мощности.

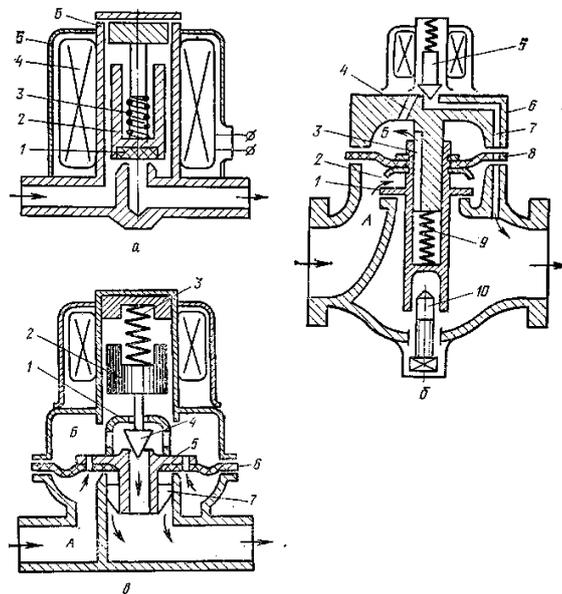


Рис. 6.2. Соленоидные вентили: а – прямого действия; б – непрямого действия; в – комбинированные

В соленоидных вентилях *непрямого действия* типа СВМ-25, СВМ-40 (рис. 6.2б) поступающая на вход (в полость *A*) жидкость проходит через отверстие щелевого фильтра 2 и по продольному срезу 3 в направляющей крышки 6 поступает в надмембранную полость *B*. При отсутствии напряжения разгрузочный клапан 5 закрыт, и жидкость не может выйти из полости *B*. Давление жидкости на мембрану 8 (в полости *B*) 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 *B* через отверстия 4 и 7 сливается. Тогда сила давления жидкости *A* 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. 6.2в) при подаче напряжения катушка электромагнита втягивает (вверх) сердечник 2 с разгрузочным клапаном 4. Жидкость (или газ) уходит из надмембранной полости *B*, не препятствуя открытию основного клапана 5, который поднимается силой электромагнита (после того, как разгрузочный клапан 4 упрется в запле-чико 1), и под силой давления жидкости – в полость *A* 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 отверстия в мембране 6 в полость *B*, обеспечивает дополнительное усилие для закрытия клапана 5, т. к. площадь давления над мембраной (в полости *B*) больше, чем под мембраной (в полости *A*). Перья 7 служат для направления движения клапана 5. Эти вентили 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.

## **Глава 7. Реле концентрации паров аммиака и преобразователи расхода вещества**

### **7.1. Преобразователи расхода и количества вещества**

Расход жидкости или газа обычно используют в холодильных установках как регулирующее воздействие для поддержания заданного уровня, давления, температуры. Но в отдельных случаях (например при автоматической защите, сигнализации) расход может быть регулируемым параметром. При испытании машины необходимо измерить расход вещества.

Следует различать понятия «расход» и «количество» вещества. Под количеством понимают суммарный расход за определенный интервал времени, т. е. произведение расхода на время. Суммирующие устройства называют счетчиками.

Объемный расход равен произведению площади проходного сечения на скорость потока. Физические явления, лежащие в основе измерения расхода, могут быть связаны с изменением как скорости движения вещества, так и его количества.

При установке в трубопроводе диафрагмы – перегородки с отверстием (*рис. 7.1а*) скорость движения жидкости (или газа) до диафрагмы и непосредственно после нее возрастает (площадь струи меньше, а расход вещества прежний). Увеличение скорости струи приводит к снижению давления. Разность давлений до и после диафрагмы может измеряться любым дифференциальным манометром. Чем больше эта разность, тем больше расход.

Преобразователем расхода жидкости может служить любой сосуд с калиброванным отверстием на выходе (*рис. 7.1б, вверху*). Благодаря самовыравниванию на стороне расхода при увеличении поступления жидкости в сосуд  $M_n$  значение уровня будет возрастать, пока не наступит установившееся состояние, при котором расход увеличится до нового значения нагрузки.

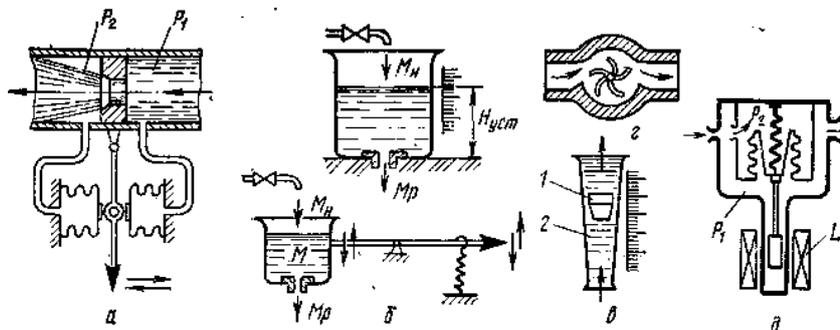


Рис. 7.1. Преобразователи расхода и количества вещества:  
 а – с диафрагмой (по разности давлений); б – мерный сосуд:  
 по высоте уровня (вверху), по весу жидкости (внизу); в – ротаметр;  
 г – вертушка; д – струйный расходомер

Новое установившееся значение уровня  $H_{уст}$  пропорционально квадрату расхода. В этом элементе изменение расхода преобразуется в изменение уровня. Но увеличение уровня в сосуде приводит к увеличению его веса, т. е. силы, которая может быть легко преобразована в перемещение. На рис. 7.1б (внизу) показан такой же сосуд, но он может вращаться вокруг шарнира. Вес жидкости в нем уравнивается силой упругости растянутой пружины на другом конце рычага.

Корпус ротаметра 2 (рис. 7.1в) представляет собой стеклянную трубку с небольшой конусностью, расширяющуюся кверху. Поплавок 1 ротаметра имеет цилиндрическую форму с конической частью внизу. Жидкость или газ, встречая при движении доньшко поплавка, теряет часть кинетической энергии. Давление под поплавком становится выше, чем над ним. Разность давлений уравнивается весом поплавка. При увеличении расхода давление под поплавком возрастает, и он перемещается. Кольцевой зазор между коническим корпусом и поплавком увеличивается. Благодаря этому разность давлений снижается до прежней величины и вновь уравнивается весом поплавка, но уже в новом, более высоком положении. Движение поплавка может быть передано наружу постоянному магниту или преобразовано в индуктивность.

Непосредственное преобразование скорости движения жидкости или газа (и соответственно, расхода) в скорость перемещения твердого тела можно осуществить простой вертушкой (рис. 7.1г).

Этот элемент удобно использовать в интегрирующих устройствах (для определения суммарного расхода, т. е. количества).

В струйном расходомере (рис. 7.1д) поступающая струя ударяется во внутреннее сопло, и давление во внутренней камере  $p_2$  становится больше, чем в наружной  $p_1$ . Ударное давление пропорционально кинетической энергии струи.

Сильфон сжимается, пока растянутая пружина не уравновесит силу разности давлений. Перемещение сильфона передается плунжеру, изменяющему индуктивность катушки. Погрешность измерения такого расходомера очень мала ( $\approx 1\%$ ).

## 7.2. Реле концентрации паров аммиака

Для аварийной остановки компрессоров, насосов и отключения всего электропитания с одновременным включением аварийной вентиляции в случае появления опасной концентрации аммиака применяют различные реле, реагирующие на повышение концентрации аммиака.

*Преобразователи концентрации аммиака.* Простейшим преобразователем (индикатором) аммиака может служить льняная ткань, пропитанная 0,5%-ным раствором красного фенола в спирте. При концентрации аммиака 0,004% желтая ткань краснеет. Изменение цвета можно преобразовать в электрические сигналы с помощью фотореле.

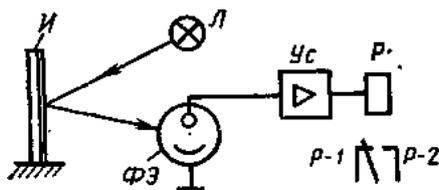


Рис. 7.2. Схема фотореле защиты от опасной концентрации паров аммиака

В полупроводниковых транзисторах типов МП-40А и МП-41А с открытым кристаллом сопротивление транзистора при повышении концентрации аммиака падает. На базе этих транзисторов можно создать измерители и аварийные реле.

*Реле концентрации паров аммиака.* Одним из первых реле опасной концентрации аммиака, разработанных на МСКХО, было фотореле с индикатором из ткани, пропитанной раствором фенолропта (рис. 7.2). При отсутствии аммиака луч лампочки Л отражается от индикатора И на фотоэлемент ФЭ, и

напряжение фотоэлемента запирает усилитель  $Ус$ . Выходное реле  $P$  обесточено. При появлении аммиака индикатор краснеет, отраженный луч становится более слабым, и усилитель включает выходное реле  $P$ .

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.

В реле концентрации аммиака  $СКА-1$  (рис. 7.3) в качестве датчика применен транзистор  $T1$  типа МП-40А или МП-41А.

С увеличением концентрации аммиака до 1,5 мг/л проводимость транзистора увеличивается, и через 2 – 3 с срабатывает реле  $1P$  с магнитоуправляемым контактом  $1P-1$  (геркон типа КЭМ-1А). Выходное реле  $2P$  (МКУ-48) контактом  $2P-3$  отключает промежуточное реле (здесь не показано), которое отключает электроснабжение аммиачной установки и включает аварийную сигнализацию. Контакт  $2P-1$  включает сигнальную лампочку  $Л2$ . Контакт  $2P-2$  обеспечивает самопитание катушки  $2P$ , блокируя  $1P-1$ . Контакт  $2P-4$  отключает реле  $1P$ .

Датчик реле укреплен прямо на соединительном кабеле в зоне вероятной утечки аммиака. Блок реле монтируется на командно-сигнальном щите КСЩ в помещении, смежном с компрессорным цехом.

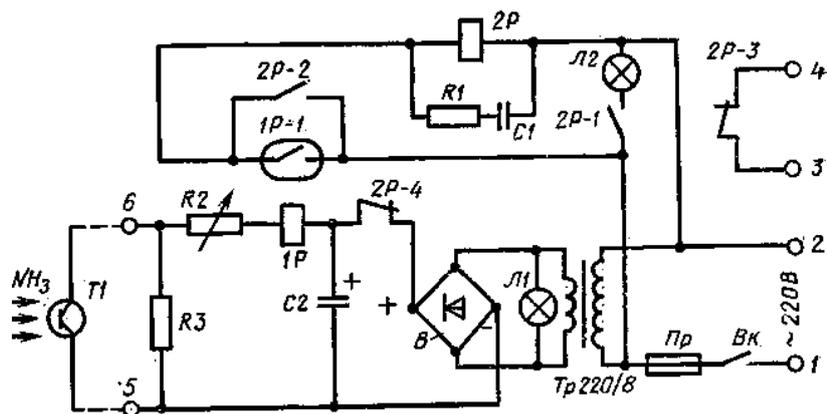


Рис. 7.3. Схема реле концентрации аммиака в воздухе  $СКА-1$

### Раздел 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

#### Глава 8. Регулирование основных параметров

##### 8.1. Регулирование температуры

Под охлаждаемым объектом понимают камеру, шкаф, прилавок и т. д. Температура объекта  $t_{об}$  держится постоянной, если количество отводимой машиной теплоты  $Q_{хм}$  равно тепловой нагрузке  $Q_n$ . Если  $Q_{хм}$  больше  $Q_n$ , то температура объекта падает.

Машину обычно подбирают с запасом (холодопроизводительность на 30 – 40% больше максимальных теплопритоков). Для регулирования заданной температуры объекта надо иметь возможность автоматически изменять холодопроизводительность машины.

##### 8.1.1. Способы изменения холодопроизводительности машины

В компрессорных машинах снижение максимальной производительности может быть достигнуто уменьшением производительности компрессора, испарителя, конденсатора и регулирующего вентиля, т. к. все основные узлы машины связаны между собой. Однако при выборе способа изменения холодопроизводительности машины надо стремиться к максимальной экономичности, т. е. чтобы снижение  $Q_{хм}$  на  $A\%$  на столько же процентов в идеале снижало потребляемую мощность. Кроме того, важно, чтобы выбранный способ был безопасен, конструктивно прост и обеспечивал широкий диапазон изменения производительности (желательно от 0 до 100%).

Для примера рассмотрим несколько способов изменения холодопроизводительности, не отвечающих перечисленным требованиям.

При недозаполнении испарителя уменьшается его холодопроизводительность, но расход мощности почти не изменяется, т. к. компрессор продолжает работать на пониженном давлении, т. е. способ неэкономичен.

Переполнение испарителя, т. е. работа влажным ходом, снижает полезную производительность компрессора, но при этом не только не уменьшается его мощность, но к тому же создается опасность гидравлического удара.

Уменьшение подачи воды на конденсатор вызывает повышение давления конденсации и снижение производительности компрессора. Но при этом также увеличивается расход электроэнергии и создаются опасные условия работы.

Наиболее широкое применение в малых холодильных машинах получил способ изменения холодопроизводительности машины пуском и остановкой компрессора благодаря своей простоте и экономичности (при остановке компрессора снижение  $Q_{\text{хм}}$  сопровождается почти пропорциональным снижением мощности).

### 8.1.2. Регулирование температуры в шкафу пуском и остановкой компрессора

Рассмотрим схему регулирования температуры в шкафу при непосредственном охлаждении (рис. 8.1). Реле температуры  $PT$  с термобаллоном  $Tб$ , который воспринимает температуру объекта, через магнитный пускатель  $МП$  включает и останавливает двигатель  $Д$  компрессора  $КМ$ , поддерживая  $t_{об}$  в заданных пределах.

Поскольку компрессор выбран с запасом, то количество пара, отводимое им из испарителя в единицу времени, больше, чем образуется при кипении. За период работы давление в испарителе  $p_0$ , а следовательно, и температура  $t_0$  снижаются. При снижении  $t_0$  увеличивается теплота, отводимая испарителем, и  $t_{об}$  падает от 5 до 0°C. После остановки компрессора  $p_0$ ,  $t_0$  и  $t_{об}$  повышаются. При  $t_{об} = 5^\circ\text{C}$  компрессор вновь включится. С уменьшением тепловой нагрузки компрессор остановится раньше, а нерабочий период

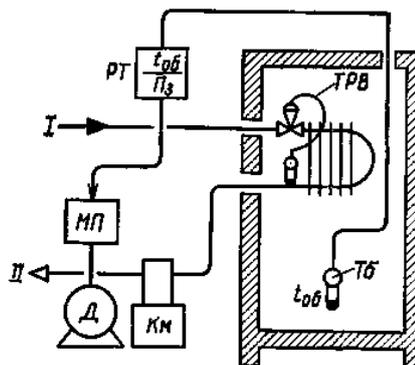


Рис. 8.1. Схема регулирования температуры в объекте пуском и остановкой компрессора

увеличится. Зависимость между  $t_0$ ,  $t_{об}$  и  $p_0$  в момент остановки и включения компрессора позволяет применить косвенное регулирование: поддерживая в заданных пределах  $t_0$  (термобаллон укреплен на испарителе) или давление  $p_0$  (при помощи реле давления), косвенно поддерживать в заданных пределах  $t_{об}$ . Косвенное регулирование имеет некоторые преимущества: поддерживать температуру от 2 до  $-17^{\circ}\text{C}$  легче, чем от 5 до  $0^{\circ}\text{C}$ , т. к. реле температуры при этом можно взять менее точное; регулировка  $t_{об}$  по давлению  $p_0$  одновременно обеспечивает защиту от работы на слишком низком давлении. Фиксированные значения  $t_0$  и  $p_0$  в момент включения компрессора ( $2^{\circ}\text{C}$  и  $2,3 \cdot 10^5$  Па) позволяют осуществить оттаивание испарителя за цикл стоянки компрессора (при плюсовых температурах в шкафу).

Однако косвенное регулирование имеет и свои минусы. Так, при нарастании снеговой шубы при заданной температуре  $t_0$  значение  $t_{об}$  будет несколько выше заданного.

### *8.1.3. Способы изменения холодопроизводительности компрессора*

Применяемые ранее методы изменения  $Q_{км}$ , такие как плавное байпасирование, увеличение мертвого объема и дросселирование на всасывании, малоэкономичны. Удельный расход электроэнергии при этих методах значительно возрастает со снижением холодопроизводительности. Так, при байпасировании снижение  $Q_{км}$  до 50% увеличивает удельный расход электроэнергии на 90%, при дросселировании на всасывании – на 40%.

Наиболее простой и экономичный метод изменения  $Q_{км}$  – пуск и остановка компрессора. Недостатки двух- и многопозиционного регулирования пуском и остановкой компрессора состоят в том, что для обеспечения точной температуры (малый дифференциал) требуется частое включение компрессоров, что для машин средней и большой производительности требует большого запаса мощности электродвигателей.

Наиболее перспективные методы изменения холодопроизводительности крупных поршневых компрессоров – это плавное изменение частоты вращения компрессора и отключение отдельных цилиндров отжимом всасывающих клапанов.

*Плавное изменение частоты вращения.* 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 КПД 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 ЭДС в обмотку ротора малоэкономичны. Более экономична схема плавного изменения частоты вращения электродвигателя с фазным ротором при помощи асинхронного вентиляционного каскада с инвертированием энергии в сеть, но она позволяет снижать  $Q_{км}$  только до 50% с дальнейшим переходом на пуск и остановку компрессора.

*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. Относительный расход электроэнергии не превышает 20%.

Устройство для отжима клапана должно быть предусмотрено в конструкции компрессора. Применяют отжим всасывающих клапанов давлением масла и электромагнитом. Последний способ значительно выгоднее, т. к. благодаря малой инерционности устройство позволяет с высокой частотой включать и отжимать клапан. Это дает возможность значительно уменьшить дифференциал регулятора температуры, управляющего отжимом клапанов, и увеличить число ступеней, что дает высокую точность регулирования. Последовательность включения цилиндров может быть

такой же, как при многопозиционном регулировании включением компрессоров, т. е. астатической или пропорциональной. Кроме того, можно осуществить плавнодискретное регулирование температуры по любому закону (ПИ, ПИД и др.).

В импортных компрессорах применяется гидравлический отжим всасывающих клапанов давлением масла из системы смазки компрессора. Отжим всасывающих клапанов используется одновременно при пуске компрессора для разгрузки.

При отжатых всасывающих клапанах не происходит сжатия пара, поэтому нагрузка на электродвигатель снижается, что очень важно при пуске компрессора.

#### 8.1.4. Регулирование температуры в нескольких объектах

*Непосредственное охлаждение.* При непосредственном охлаждении нескольких объектов температуру в каждом из них нельзя регулировать изменением холодопроизводительности компрессора, т. к. она 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  $k$ , площади поверхности испарителя  $F$  или температуры кипения  $t_0$ .

На *рис. 8.2а* показана схема двухпозиционного изменения коэффициента теплопередачи  $k$  пуском и остановкой вентилятора  $B$ . *ТРВ* в этой схеме применяется только для регулирования заполнения испарителя.

В схеме, приведенной на *рис. 8.2б*, пропорциональный регулятор температуры *ПРТ* при понижении  $t_{об}$  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. 8.2в*). 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. 8.2а*, служит для регулирования заполнения испарителя.

рителя при открытом  $CB$ . При закрытии  $CB$  хладагент, 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.

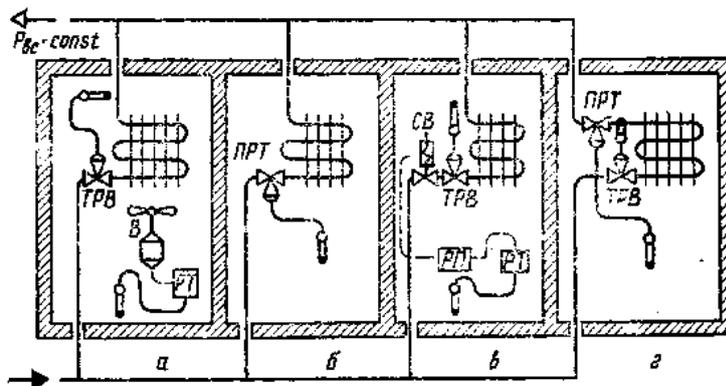


Рис. 8.2. Схемы способов изменения холодопроизводительности батарей непосредственного охлаждения: а – изменением коэффициента теплопередачи; б, в – плавным и двухпозиционным изменением поверхности охлаждения; г – плавным изменением температуры (давления) кипения хладагента

Для уменьшения колебания температуры иногда устанавливают  $CB$  на выходе из испарителя. Тогда изменение холодопроизводительности достигается в результате изменения среднего значения температуры кипения: при открытом  $CB$  значение  $t_0$  соответствует  $t_{вс}$ , а при закрытом  $CB$  давление в испарителе быстро достигает соответствия с  $t_{об}$ . Недостатком данного этого способа является большие размеры  $CB$ , т. к. 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. 8.2г). 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 влаж-

ности и уменьшение усушки продуктов, меньшее выпадение инея на испарителе).

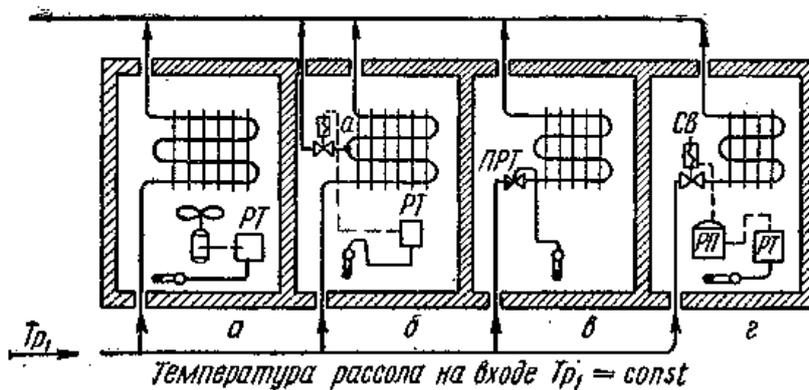


Рис. 8.3. Схемы способов регулирования температуры в камерах с рассольными батареями: а — изменением коэффициента теплопередачи; б — изменением охлаждающей поверхности; в, г — плавным и двухпозиционным изменением количества подаваемого рассола

**Рассольное охлаждение камер.** При рассольном охлаждении камер температура рассола на входе  $t_{p1}$  держится постоянной. Средняя же температура рассола определяется температурой рассола на входе, которая зависит от количества циркулируемого рассола и его теплоемкости. Тепло, отводимое батареями, передается рассолу.

Регулировать количество тепла, отводимого рассольной батареей, можно путем изменения коэффициента теплопередачи  $k$ , поверхности батарей  $F$  и количества циркулируемого рассола  $M_p$ . На рис. 8.3 показаны некоторые практические способы регулирования температуры в камере путем изменения холодопроизводительности рассольной батареи.

Один из способов основан на двухпозиционном изменении коэффициента теплопередачи путем периодического включения и остановки вентилятора (рис. 8.3а) при помощи реле температуры  $РТ$ .

По способу, изображенному на рис. 8.3б, регулирование температуры в камере осуществляется двухпозиционным изменением охлаждающей поверхности. При достижении требуемой температуры в камере реле температуры  $РТ$  открывает соленоидный

вентиль *CB*, и рассол, пройдя нижнюю часть батареи (до точки *a*), поступает на слив.

Температуру в камере можно регулировать плавным изменением количества подаваемого рассола (рис. 8.3в).

Наибольшее распространение при большом числе камер получило двухпозиционное регулирование температуры путем периодического открытия или закрытия соленоидного вентиля (рис. 8.3г), через который рассол поступает в батарею.

## **8.2. Регулирование заполнения испарителей**

*Оптимальное заполнение испарителей и способы его контроля.* Работа испарителя наиболее эффективна, когда жидкий хладагент соприкасается со всей теплопередающей поверхностью, т. е. при 100%-ном заполнении.

Если при переполнении испарителя схема установки обеспечивает возврат жидкости вновь в испаритель, т. е. исключает возможность попадания жидкости в компрессор, то 100%-ное заполнение можно обеспечить, подавая в испаритель жидкость с избытком. Вследствие полного самовыравнивания (рис. 1.5в, 1.7) регулирования заполнения при этом не требуется.

В схемах, где возможно попадание жидкого хладагента в компрессор, оптимальное заполнение испарителя равно 80 – 90%, т. к. при большем заполнении в случае резкого увеличения тепловой нагрузки часть жидкости вместе с паром может попасть в компрессор, снижая его производительность и создавая угрозу гидравлического удара. При меньшем заполнении снижается холодопроизводительность испарителя, давление в нем падает и увеличивается расход электроэнергии.

Регулируемым параметром, обеспечивающим оптимальное заполнение испарителя, может быть уровень жидкости в испарителе  $H$  или перегрев пара на выходе из испарителя  $\Delta t_{\text{п}}$ . Выбор регулируемого параметра определяется конструкцией испарителя, схемой подачи и свойствами хладагента. Перегрев пара – более универсальный параметр, чем уровень. Уровень жидкости определяет степень заполнения только в испарителях затопленного типа (отвод пара из верхней точки). Однако и в этом случае уровень не всегда однозначно определяет степень заполнения. С увеличением тепловой нагрузки (интенсивное кипение) в кожухо-

трубных 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, где нет определенного уровня, контролировать заполнение можно только по перегреву. В малых фреоновых машинах с прямоточными змеевиковыми испарителями оптимальный перегрев  $\Delta t_{\text{н}}$  при отсутствии в схеме теплообменника равен 5 – 7°C. В машинах с теплообменником можно увеличить заполнение испарителя, поддерживая перегрев 0 – 2°C. При  $\Delta t_{\text{н}} = 0^\circ\text{C}$  начинается переполнение испарителя, но довыкипание жидкости в начале теплообменника не ухудшает работы установки, т. к. используется для переохлаждения жидкого хладагента, поступающего в испаритель.

В схемах с одним испарителем уменьшение уровня в испарителе вызывает повышение уровня в конденсаторе или ресивере, что позволяет применить косвенное регулирование.

*Основные схемы заполнения испарителей.* Применяют три основных способа подачи жидкости в испаритель:

- непосредственная подача жидкости в испаритель за счет разности давлений ( $p_{\text{к}} - p_0$ );
- под напором столба в отделителе жидкости;
- циркуляционным насосом (насосная схема).

*Заполнение испарителя под действием разности давлений конденсации и кипения.* В малых фреоновых установках для улучшения возврата масла в компрессор применяют в основном прямоточные змеевиковые испарители (рис. 8.4а). Регулирование заполнения осуществляется поддержанием заданного перегрева плавным изменением подачи жидкости с помощью *TPB*. Чтобы избежать большого падения давления, одно *TPB* ставят не более чем на 2 – 3 испарителя. При большем числе испарителей применяют параллельное их заполнение, устанавливая *TPB* перед каждой ветвью.

Питание нескольких параллельно включенных испарителей от одного регулятора не обеспечивает их равномерного заполнения из-за различного гидравлического сопротивления отдельных

секций. Поэтому этот способ применяют лишь в случае работы отдельных секций при одинаковой тепловой нагрузке, например в воздухоохладителях (рис. 8.4б). При этом после ТРВ ставят специальный распределитель жидкости РЖ, который имеет гидравлическое сопротивление  $(1 \div 2) \cdot 10^5$  Па. Так, если сопротивление секций было  $(0,01; 0,02; 0,03) \cdot 10^5$  Па и в последний испаритель поступало жидкости значительно меньше, чем в первый, то после установки распределителя сопротивление испарителей стало  $(1,01; 1,02; 1,03) \cdot 10^5$  Па, т. е. примерно одинаковое. В связи с тем что общее сопротивление испарителя значительно увеличивается, необходимо ставить ТРВ только с внешним выравниванием.

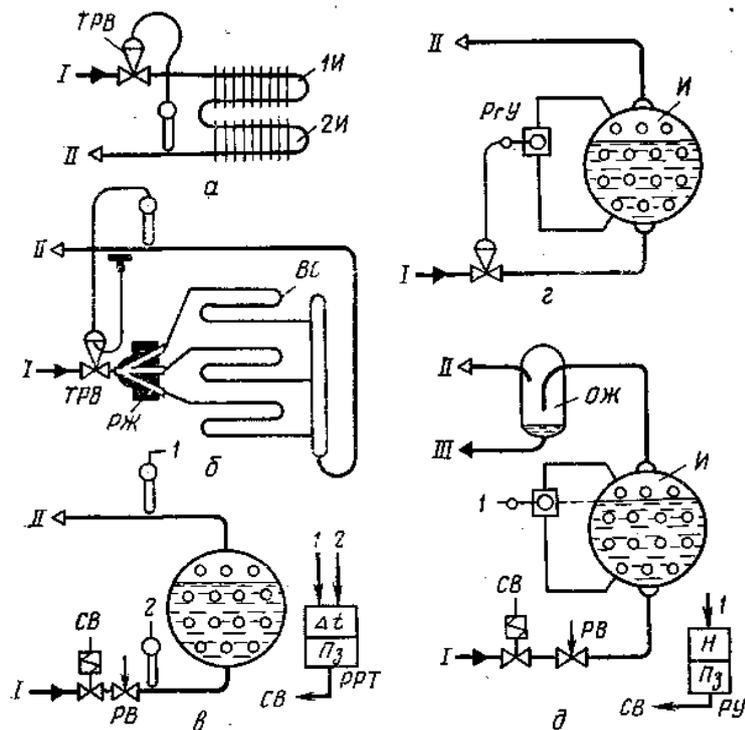


Рис. 8.4. Заполнение испарителей под действием разности давлений  $p_k$  и  $p_0$ :  
 а – плавное регулирование перегрева; б – то же, с распределителем жидкости РЖ по отдельным секциям воздухоохладителя; в – двухпозиционное регулирование перегрева; г, д – плавное и двухпозиционное регулирование уровня; I – поступление жидкости из конденсатора; II – выход пара в компрессор; III – поступление жидкости в дренажный ресивер

В установках средней производительности вместо *TPB* находит применение двухпозиционное регулирование перегрева (рис. 8.4в) с помощью реле разности температур *PPT*, которое управляет соленоидным вентилем *CB*. Регулирующий вентиль *PB* при этом открыт на постоянное сечение, соответствующее максимальной тепловой нагрузке. Эта схема удобна своей универсальностью, т. к. *PB* можно установить практически на любую холодопроизводительность (не требуется большой номенклатуры *TPB*).

На аммиачных установках, где уровень в испарителях более стабильный, чаще применяют регуляторы уровня *P<sub>2</sub>У* непрямого действия: плавного (рис. 8.4г) или двухпозиционного (рис. 8.4д). При двухпозиционном регулировании реле уровня *PУ* управляет соленоидным вентилем *CB*, установленным перед *PB*, который открыт на постоянное сечение. На выходе из испарителя в аммиачных установках ставят дополнительно отделитель жидкости *ОЖ*, чтобы не допустить попадания жидкости в компрессор. Жидкость из *ОЖ* по трубопроводу *III* стекает в дренажный ресивер.

Если температура в камере поддерживается пропорциональным регулятором температуры, который при понижении  $t_{об}$  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.

*Заполнение испарителей под напором столба жидкости.*

В этой схеме (рис. 8.5) разность давлений  $p_k$  и  $p_0$  используется только для подачи жидкого хладагента в отделитель жидкости *ОЖ*. Питание одновременно всех испарителей осуществляется через жидкостный коллектор *ЖК* по принципу сообщающихся сосудов, т. е. за счет того, что *ОЖ* 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 испарителей (полное само-выравнивание). Регуляторы для заполнения испарителей здесь не нужны. Регулируется только уровень в отделителе жидкости *ОЖ*. На схеме, показанной на рис. 8.5, реле уровня *PУ* управляет соленоидным вентилем *CB*. В случае неисправности

регулятора и повышения уровня в *ОЖ* жидкость переливается в дренажный ресивер по трубе *III*.

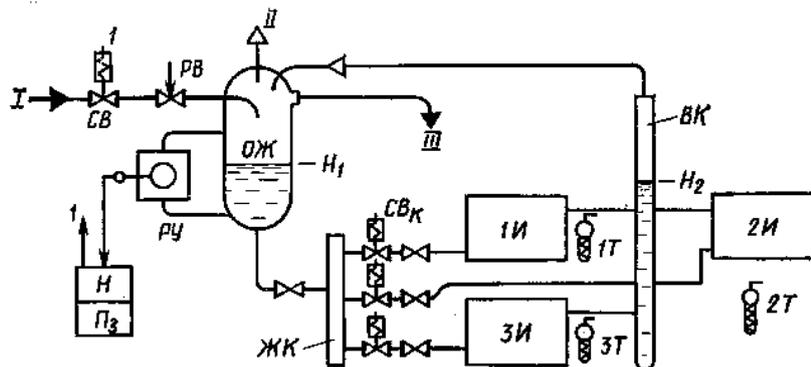


Рис. 8.5. Схема заполнения испарителей под напором столба жидкости (трубопроводы *I*, *II*, *III* как на рис. 8.4)

Однако опасность переполнения *ОЖ* и попадания жидкости в компрессор в этой схеме сравнительно высока, т. к. 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 *3И* значение  $t_0$  на несколько градусов выше, чем в *1И*). При низких температурах ( $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже) это заметно снижает холодопроизводительность.

Для регулирования температуры по этой схеме требуется установка соленоидных вентилях в камерах (*СВк*), 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.* Стабилизация оптимального заполнения достигается в этой схеме (рис. 8.6) за счет избытка подаваемой жидкости. Количество жидкости, подаваемой насосом из циркуляционного ресивера *ЦР* через жидкостный коллектор *ЖК* в испаритель, в 3 – 4 раза превышает количество жидко-

сти, выкипающей при максимальной тепловой нагрузке. Неиспарившаяся жидкость вновь сливается в ЦР. При снижении тепловой нагрузки увеличивается количество неиспарившейся (вторичной) жидкости, а заполнение остается стабильным (100%-ным). Диаметр всасывающего коллектора ВК достаточно велик, чтобы обеспечить отвод пара из испарителей в отделитель жидкости и далее в компрессор, не препятствуя стеканию вторичной жидкости в ресивер. Отделитель пара ОП, установленный перед насосом, обеспечивает бесперебойную его работу. Вентили на входе в испаритель отрегулированы так, чтобы сопротивление испарителей было одинаковым.

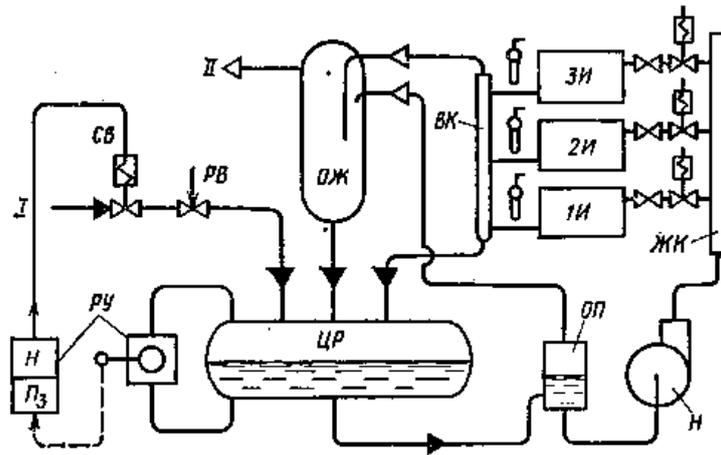


Рис. 8.6. Насосно-циркуляционная схема заполнения испарителей

Уровень ЦР в этой схеме должен находиться в заданных пределах. Из-за отсутствия самовыравнивания регулирование заполнения ЦР необходимо. В качестве регулятора применяют реле уровня в комплекте с соленоидным вентилем или плавные регуляторы непрямого действия.

Насосная схема по сравнению со схемой заполнения испарителя под напором столба жидкости имеет следующие преимущества:

- 1) отсутствие столба жидкости, что позволяет поддерживать более низкую температуру кипения при том же давлении;
- 2) меньшая вероятность попадания жидкости в компрессор (ОЖ при работе практически пустой);

3) увеличение коэффициента теплопередачи за счет большей скорости циркулирующей через испаритель жидкости;

4) автоматическое регулирование температуры облегчается, т. к. не требуются бесперепадные соленоидные вентили (напор, создаваемый насосом, достаточен для открытия *CB* на входе в испаритель).

Насосные схемы могут быть с нижней и верхней подачей хладагента в испаритель. Схема с верхней подачей имеет ряд преимуществ:

1) заполнение батарей жидким аммиаком не превышает 25% объема труб, т. е. в три раза меньше по сравнению с нижней подачей, что делает установку более безопасной;

2) не сказывается влияние столба жидкости на температуру кипения;

3) внутренняя поверхность меньше загрязняется маслом.

Недостатком схемы с верхней подачей является ухудшение коэффициента теплопередачи, связанное с уменьшением поверхности непосредственного контакта жидкости с батареями.

### **8.3. Регулирование давления конденсации**

Поверхность охлаждения конденсаторов, количество подаваемого воздуха или воды рассчитаны на максимальные тепловые нагрузки. С понижением температуры охлаждающей среды (воздуха или воды) давление в конденсаторе падает. Это уменьшает подачу жидкого хладагента в испаритель, а в установках с водяным охлаждением увеличивает еще затраты на воду. Поэтому в машинах, рассчитанных на эксплуатацию при значительных изменениях температуры среды, давление конденсации необходимо регулировать.

*Конденсаторы с воздушным охлаждением.* Малые фреоновые установки обычно расположены в помещениях, где температура воздуха  $t_v$  изменяется незначительно. Поэтому регулирование  $p_k$  не применяют. В установках с выносным конденсатором и транспортных установках  $t_v$  колеблется в широких пределах и давление  $p_k$  может оказаться ниже допустимого.

Требуемое значение  $p_k$  поддерживают уменьшением производительности конденсатора. Для этого применяют автоматическое уменьшение подачи воздуха периодическим отключением

вентилятора (если он имеет отдельный электродвигатель), плавным прикрытием жалюзи, а также различные способы снижения внутреннего коэффициента теплоотдачи путем переполнения конденсатора жидким хладагентом (подтопление).

В схеме, показанной на рис. 8.7а, с уменьшением  $p_k$  регулятор давления  $P_2Д$  уменьшает проход для слива жидкости в ресивер.

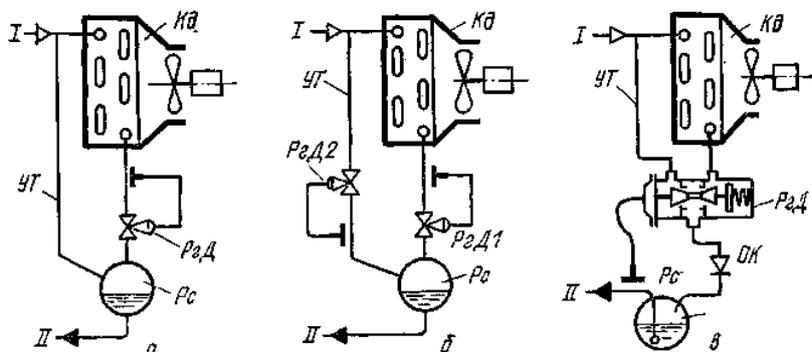


Рис. 8.7. Схемы регулирования давления в ресивере в машинах с воздушным охлаждением конденсатора: а – с одинаковым давлением в ресивере  $P_c$  и конденсаторе  $K_d$ ; б – с отдельным регулированием давления в  $K_d$  и  $P_c$ ; в – с двухходовым регулятором давления  $P_2Д$ ; I – выход пара из компрессора; II – выход жидкого хладагента к ТРВ

Конденсатор переполняется, и давление в нем растет. Чтобы при этом не снизилось давление в ресивере (а это и есть самое главное для нормального питания испарителей), установлена уравнивающая трубка УТ. Недостаток этой схемы в том, что при равенстве давлений в конденсаторе и ресивере расход жидкости через  $P_2Д$  определяется только высотой столба жидкости в конденсаторе, т. е. требуются регуляторы с большим диаметром проходного сечения. Схема применима лишь в установках с размещением конденсатора на крыше, чтобы ресивер при этом был значительно ниже.

Для устранения недостатка предыдущей схемы применяют раздельное регулирование давлений в конденсаторе и ресивере (рис. 8.7б). При этом  $P_2Д1$  подбирают так, чтобы  $p_k - p_{рес} \approx (0,5 \div 1) \cdot 10^5$  Па. При высоких давлениях  $p_k$  и  $p_{рес}$  регулятор  $P_2Д1$  открыт, а  $P_2Д2$  закрыт. С понижением  $p_k$  (например, до  $7 \cdot 10^5$  Па)  $P_2Д1$  начинает

закрывается. Конденсатор переполняется,  $p_k$  далее не снижается, но падает давление в ресивере (например, до  $6 \cdot 10^5$  Па). Тогда  $P_{гД2}$  открывается и следит, чтобы давление в ресивере было в заданных пределах. В этой схеме ресивер может быть расположен выше конденсатора.

Иногда вместо двух применяют один двухходовой регулятор давления (рис. 8.7в). При снижении  $p_{рес}$  он уменьшает сток жидкости из  $Kд$ , переполняя его, и увеличивает подачу пара в ресивер по трубке  $УТ$ . Обратный клапан  $ОК$  препятствует снижению давления в ресивере при остановке компрессора и снижении  $p_k$ . Вместо регулятора давления в этой схеме можно применить двухходовой регулятор температуры, который косвенно увеличивает давление в ресивере при снижении температуры наружного воздуха.

*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.

*Автоматическая система регулирования давления в конденсаторе по рассогласованию (плавное).* В нижней части конденсатора имеется жидкий хладагент (рис. 8.8а). 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 равной теплоте, отдаваемой паром при конденсации  $Q_n$ , температура конденсации и давление стабилизируются (они станут несколько выше, чем при неработающем компрессоре).

В малых холодильных машинах компрессор обычно работает циклично: при повышении температуры или давления в испарителе он автоматически включается, а когда температура достигнет заданной величины, 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  $M_p$ .

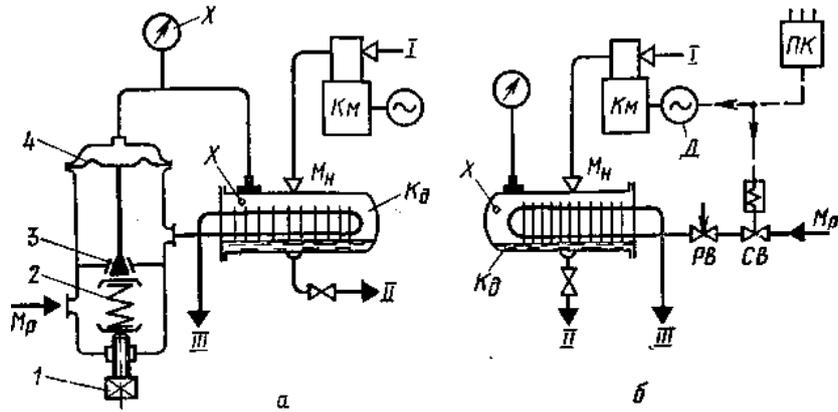


Рис. 8.8. Автоматические системы стабилизации давления в конденсаторе:  
 а – автоматическая система регулирования (по рассогласованию);  
 б – автоматическая система отслеживания нагрузки;  
 I – выход пара из испарителя; II – поступление жидкого хладагента в испаритель; III – слив теплой воды в конденсаторе в канализацию

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. 8.8б) – регулирование по нагрузке. Заданное начальное давление  $X_0$  обеспечивают соответствующим открытием регулирующего вентиля  $PB$ . 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  $PK$  отключается, останавливает двигатель  $D$  и одновременно отключает соленоидный вентиль  $CB$ , 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  $Q_p = Q_n$  нарушается. При изменении, например, давления

подаваемой воды 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  $X - X_0$ , значительно большие, чем в схеме автоматического регулирования, т. к. система отслеживания нагрузки 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.

## **Глава 9. Автоматическая защита и сигнализация**

### ***9.1. Основные параметры, требующие защиты***

Одним из основных условий автоматизации холодильных установок является надежная защита компрессора от опасных режимов работы. Защиту компрессора осуществляют с помощью автоматических приборов, которые при опасном изменении регулируемых параметров останавливают компрессор, включают звуковую и световую сигнализацию.

*Защита от гидравлического удара.* Перегрев пара холодильного агента перед компрессором должен быть не менее  $5^\circ\text{C}$  для аммиачных установок. Для фреоновых установок допускается значительно больший перегрев.

Основным признаком работы компрессора влажным ходом является уменьшение перегрева как следствие переполнения испарителя. Это не только снижает холодильную мощность компрессора, но и может вызвать гидравлический удар, выведя компрессор из строя. Цилиндры аммиачных, вертикальных и многорядных компрессоров снабжены крышкой безопасности и буферной пружиной. Если в цилиндр попадает жидкий аммиак, то при ходе сжатия он не успевает пройти через клапанные отверстия, и в цилиндре поднимается давление выше нормального. Если давление в цилиндре превысит давление нагнетания на  $0,3$  МПа, то преодолевается усилие буферной пружины и при-

поднимается крышка безопасности, т. е. образуется дополнительное проходное сечение для прохода жидкого аммиака в нагнетательную полость. Но при попадании в цилиндр большого количества жидкости крышка безопасности не успевает подняться, и в цилиндре давление может возрасти до аварийного. Попытка обеспечить автоматическую защиту от гидравлического удара остановкой компрессора при попадании жидкого аммиака в цилиндр неэффективна, т. к. авария может произойти быстрее, чем сработают автоматические приборы. С целью предотвращения попадания жидкого аммиака в цилиндр компрессора на всасывающей линии холодильной машины устанавливают отделитель жидкости. На нем в верхней части помещают реле уровня, которое останавливает компрессор при переполнении отделителя жидкости. Последующий пуск компрессора возможен только вручную после устранения переполнения отделителя жидкости жидким аммиаком.

Во фреоновых схемах перегрев всасываемого пара доводят до 25 – 30°C, поэтому в определенной степени снижается возможность работы компрессора влажным ходом. Попавшая во всасывающую магистраль жидкость доиспаряется в теплообменнике, поэтому защиты от гидравлического удара, как правило, не предусматривают.

*Защита от опасного давления нагнетания.* Причиной повышения давления нагнетания может быть уменьшение или прекращение подачи воды на охлаждение конденсатора или наличие воздуха в системе. При нормальном давлении в конденсаторе давление нагнетания может резко возрасти при пуске компрессора с закрытым нагнетательным вентилем.

Для защиты компрессора от опасного превышения давления используют предохранительный клапан, который в случае превышения установленной разности давлений между нагнетанием и всасыванием перепускает сжатые пары в сторону всасывания. В компрессорах небольшой производительности предохранительный клапан не устанавливают. Однако защита компрессора от опасного давления с помощью предохранительного клапана малоэффективна, т. к. при высоком давлении всасывания давление на нагнетательной стороне может превысить допустимые значения. Поэтому для остановки компрессора при опасном повышении давления нагнетания применяют датчик давления. Датчик давления присоединяется к нагнетательной линии между

компрессором и нагнетательным вентилем, поскольку при ином присоединении он не защитит компрессор от повышения давления при его пуске с закрытым вентилем.

*Защита компрессора от пониженного давления всасывания.* Пониженное давление всасывания создает нежелательную нагрузку на сальник, вызывает нарушения в системе смазки и может привести к подосу воздуха в компрессор. Ограничение снижения давления всасывания (давления кипения) может быть использовано и для защиты испарителей от замерзания в них хладоносителя. Контроль за понижением давления всасывания осуществляют с помощью датчика давления, который, в отличие от датчика давления на стороне нагнетания, называется датчиком низкого давления. Он ставится до всасывающего вентиля компрессора. Если же компрессор пускается с открытым всасывающим вентилем, то датчик низкого давления присоединяется между всасывающим вентилем и компрессором. При таком присоединении датчик низкого давления можно проверить перекрыванием всасывающего вентиля.

Часто датчики низкого и высокого давления объединяют в один прибор, в котором два отдельных чувствительных элемента воздействуют на общую контактную систему.

*Защита компрессора от высокого перегрева на нагнетательной линии.* Повышение температуры нагнетания может быть вызвано повышением давления конденсации, высокой температурой перегрева на всасывании, присутствием воздуха в системе и наличием пропусков сжатого пара в компрессоре, например, при поломке нагнетательного клапана или больших неплотностях в поршневых кольцах. Защиту компрессора от опасного повышения температуры на нагнетательной стороне осуществляют с помощью датчика температуры. Он должен быть установлен на 10 – 15% выше максимальной рабочей температуры нагнетания, но не выше температуры вспышки масла. Если температура нагнетания превысит установленное значение, то датчик температуры разомкнет контакты промежуточного реле, которое в свою очередь разомкнет цепь катушки магнитного пускателя электродвигателя компрессора, и компрессор остановится. Одновременно в цепи защиты компрессора зажжется сигнальная лампочка, показывающая причину аварийной остановки компрессора.

*Защита от нарушения системы смазки компрессора.* Этот вид защиты применяют в компрессорах, имеющих принудительную систему смазки от специального масляного насоса. Для защиты компрессора от нарушения в системе смазки устанавливают реле разности давлений *РКС* (реле контроля смазки), реагирующее на изменение разности давлений в масляном трубопроводе после насоса и в картере компрессора. Установка разности давлений зависит от типа компрессора. Понижение разности давлений может произойти в результате поломки насоса, недостаточного уровня масла в картере компрессора, попадания жидкого холодильного агента в картер и вспенивания масла. Если разность давлений понижается до предельных значений, при которых может быть нарушена подача масла к трущимся частям, то датчик разности давлений с помощью магнитного пускателя электродвигателя останавливает компрессор.

При автоматическом пуске компрессора контакты *РКС* блокируются на время, достаточное для создания нормальной циркуляции масла и достижения необходимой разности давлений в масляной системе. Первоначальная рабочая разность давлений масла устанавливается с помощью перепускного клапана, при открывании которого часть масла возвращается в картер компрессора, минуя систему смазки.

*Защита от прекращения подачи воды в охлаждаемую рубашку компрессора.* Контроль протока воды через рубашку компрессора осуществляется с помощью датчика протока (реле протока), которое устанавливают на выходе из охлаждающей рубашки и настраивают на отключение компрессора при снижении подачи воды до количества, равного примерно 30% нормального расхода. На линии протока воды, как правило, устанавливают соленоидный вентиль, закрывающийся после остановки компрессора. В связи с тем что при низкой температуре протекающей воды возможна конденсация паров холодильного агента в полостях компрессора, прекращают подачу воды в охлаждающую рубашку при остановке компрессора. Необходимо учитывать, что жидкость может вызвать гидравлический удар в компрессоре при очередном автоматическом пуске. Соленоидный вентиль на линии подачи воды открывается одновременно с пуском компрессора, поэтому контакты реле протока во время пуска будут разомкнуты. Для того чтобы запустился компрессор, кон-

такты реле протока на время пуска компрессора блокируются специальным реле времени.

*Защита от перегрева обмотки электродвигателя.* Длительное превышение силы рабочего тока может вызвать перегрев обмоток, разрушение их и выход электродвигателя из строя. Увеличение силы тока может произойти при работе компрессора в режиме максимальной мощности (высокое давление кипения и конденсации, отношение давления конденсации к давлению кипения равно примерно трем), неправильной сборке компрессора, работе электродвигателя на двух фазах, пуске электродвигателя на двух фазах (двигатель не включается и сильно разогревается), сила тока при этом возрастает в 4 раза по сравнению с номинальной.

Перегрев обмоток может произойти при нарушении условий их охлаждения (выход из строя вентилятора электродвигателя, высокая температура окружающего воздуха и т. п.). В герметичных компрессорах обмотки электродвигателя компрессора охлаждаются парами холодильного агента. Если компрессор будет работать на разрежение, то уменьшится количество циркулирующего холодильного агента и нарушится охлаждение обмоток электродвигателя.

Для защиты обмоток электродвигателя от перегрева применяют тепловые реле, которые включают в две фазы силовой сети электродвигателя. Тепловые реле монтируют, как правило, в магнитном пускателе электродвигателя. Продолжительность их срабатывания зависит от отношения тока перегрузки к номинальному.

В герметичных компрессорах, где повышение температуры обмоток электродвигателя возможно и при номинальной силе тока, реле температуры устанавливают на поверхности кожуха компрессора. Срабатывание реле в этом случае происходит в результате повышения температуры масла.

В малых машинах возможно автоматическое (с самовозвратом) включение компрессора после срабатывания теплового реле. При мощности электродвигателя более 1 кВт обычно применяют тепловые реле с кнопкой ручного возврата.

## *9.2. Включение приборов защиты*

На *рис. 9.1* показаны места включения приборов защиты компрессора от опасных режимов в схему холодильной машины.

Схемы включения приборов защиты в электрическую цепь защиты показаны на рис. 9.2. Тепловые реле для защиты электродвигателя от перегрева обмоток включены в цепь магнитного пускателя П электродвигателя (см. контакты РТ на рис. 9.2а).

Нагревательные элементы РТ расположены в двух фазах силовой цепи электродвигателя компрессора Д<sub>км</sub>. На рис. 9.2а контакты всех приборов защиты компрессора включены последовательно в цепь аварийного реле РА. Это контакты реле расхода РР, контролирующего протекание воды через охлаждающую рубашку компрессора; реле высокого давления РД<sub>в</sub>, защищающее компрессор от опасного повышения давления нагнетания; реле низкого давления РД<sub>н</sub>, защищающее компрессор от пониженного давления; реле температуры РТ<sub>км</sub>, защищающее компрессор от высокого перегрева на линии нагнетания; реле контроля смазки РКС, защищающее от нарушения подачи масла к трущимся частям компрессора (контакты реле уровня РУ, установленного на отделителе жидкости, не показаны).

Контакты приборов, которые замыкаются только после пуска компрессора, шунтируются размыкающим контактом реле времени (см. РКС и РР). Контакты РВ размыкаются через 5 – 10 с после включения компрессора. За это время масляный насос создает необходимую разность давлений, и контакты РКС замкнутся, обеспечивая питание реле РА; протекающая через охлаждающую рубашку компрессора вода создает необходимое давление, и контакты реле расхода РР замкнутся, обеспечивая также питание реле РА.

Для включения компрессора в работу необходимо нажать кнопку защиты КЗ. Ток пройдет по цепи аварийного реле РА, оно сработает, контактом РА1 замкнет цепь катушки магнитного пускателя, а контактом РА2 будет шунтирована кнопка КЗ.

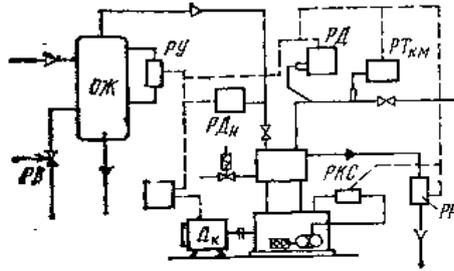


Рис. 9.1. Места включения приборов защиты компрессора в схему холодильной машины

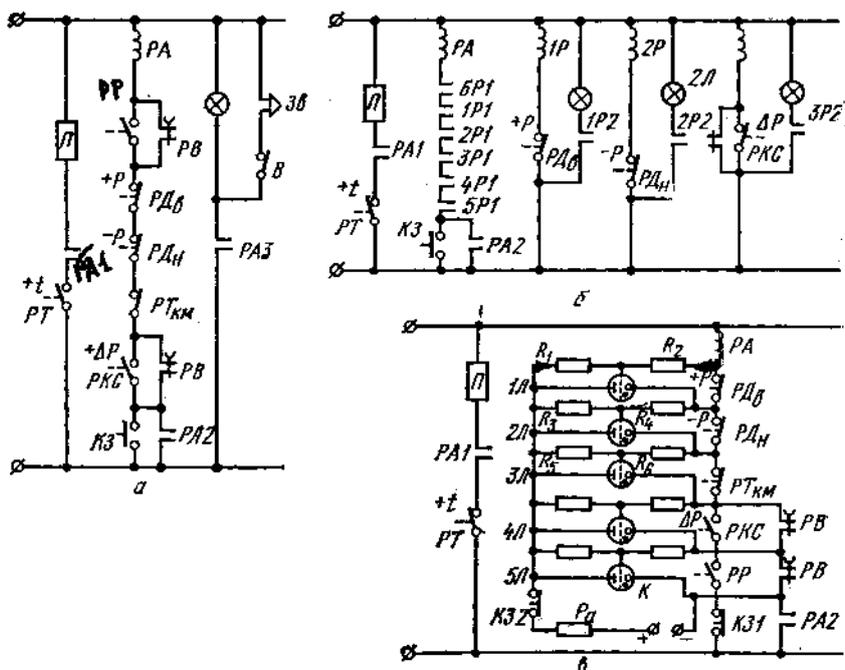


Рис. 9.2. Схемы включения приборов защиты компрессора от опасных режимов: а – включение приборов в цепь аварийного реле PA; б – включение приборов в цепь промежуточных реле с сигнализацией по каждому параметру; в – включение приборов в цепь промежуточных реле с сигнализацией и запоминанием (на тиратронах)

Срабатывание любого прибора защиты разрывает цепь PA. Контакт PA1 выключает цепь питания катушки магнитного пускателя и останавливает компрессор, а контакт PA3 включает аварийную систему сигнализации – лампочку Л и звонок Зв. Контакты PA2 размыкаются и блокируют схему. Если, например, в результате поломки пластинки нагнетательного клапана перегрев на нагнетательной линии превысил установленное значение, то разрываются контакты PT<sub>КМ</sub>, разрывается цепь PA, и компрессор останавливается. После понижения температуры на нагнетательной линии контакты PT<sub>КМ</sub> замкнутся, но аварийное реле не включится. Для повторного пуска необходимо устранить причину опасного режима и только затем вручную включить компрессор в работу, нажав кнопку КЗ. Недостатком такой схемы

включения приборов является трудность установления причины аварийной остановки компрессора.

На рис. 9.2б показана схема включения приборов защиты, когда каждый прибор включает свое промежуточное реле. Например, при повышении давления нагнетания сверх допустимого контакты  $PД_в$  разомкнут цепь реле  $IP$ , которое своим контактом  $IP2$  включит лампочку  $1Л$ , указывающую причину срабатывания (расшифровывающая сигнализация). Однако если параметр соответствует норме, лампочка гаснет, т. е. схема не сохраняет сигнала, не обеспечивает так называемое запоминание. Кроме того, наличие большого количества промежуточных реле усложняет схему, снижает ее надежность.

На крупных автоматизированных установках применяют схему включения приборов защиты с запоминанием причины аварийной остановки компрессора (рис. 9.2в). В этой схеме все контакты всех приборов защиты включены последовательно в цепь аварийного реле  $РА$ , но каждый прибор имеет свое запоминающее устройство ( $1Л - 5Л$ ). Запоминающее устройство осуществлено с помощью тиратронов.

При срабатывании одного из приборов, например  $PД_в$ , разрывается цепь аварийного реле  $РА$  и цепь питания сетки тиратрона  $1Л$  отрицательным зарядом (через сопротивление  $R_2$ ). Тогда положительный заряд на сетке (со стороны сопротивления  $R_1$ ) отпирает лампу и увеличивает ток в анодной цепи до порога зажигания, сигнализируя о неисправности – высоком давлении. Остальные тиратроны гореть не могут, т. к. на сетках остается отрицательный заряд и они заперты. Тиратрон  $1Л$  будет гореть и после восстановления цепи в контакте  $PД_в$ , т. к. погасить тиратрон можно только размыканием анодной цепи (снятием положительного заряда с сетки). Это происходит при повторном пуске машины – размыкании контакта  $K32$ .

## Глава 10. Автоматизация холодильных установок

### 10.1. Автоматизация малых холодильных установок

Выбор основных параметров, подлежащих автоматическому регулированию и защите, определяется назначением установки, условиями ее работы, производительностью машины, схемой и конструкцией отдельных узлов. Поэтому имеются определенные особенности в автоматизации холодильных установок.

Схемы автоматизации малых холодильных установок, применяемых для охлаждения небольшого объекта (шкаф, камера, установки для питьевой воды), показаны на *рис. 10.1*. Схема автоматизации малой холодильной установки с двухфазным электродвигателем показана на *рис. 10.1а*. Жидкий хладагент R12 из конденсатора попадает в испаритель через капиллярную трубку, припаянную к всасывающей трубке и образующую таким образом теплообменник. Капиллярная трубка выполняет роль регулятора подачи фреона в испаритель, одновременно в ней происходит дросселирование хладагента с давления конденсации до давления кипения. При остановке компрессора давление в конденсаторе и в испарителе выравнивается, что облегчает последующий пуск компрессора.

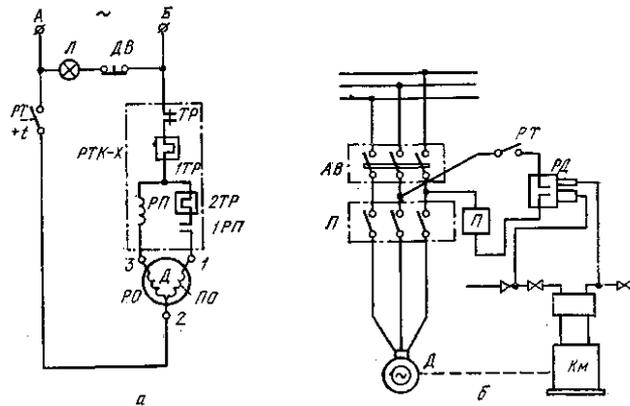


Рис. 10.1. Схемы автоматизации малых холодильных установок с электродвигателем: а – двухфазным; б – трехфазным

Температура в шкафу такого холодильника поддерживается пуском и остановкой компрессора с помощью реле температуры *PT*, чувствительный элемент которого крепится к испарителю. Пусковое реле *PP* и тепловое реле *TP* смонтированы в одном приборе и обеспечивают включение пусковой обмотки *ПО* электродвигателя *Д* во время его запуска и отключение электродвигателя при повышенной силе тока в обмотках.

При повышении температуры стенок испарителя сверх установленного замыкаются контакты *PT*. Замыкается сеть рабочей обмотки электродвигателя, сила тока во время пуска превышает рабочий в 4 – 5 раз, и поэтому катушка пускового реле *PP*, втягивая сердечник, замыкает контакты *IPP*, подключая пусковую обмотку *ПО* электродвигателя *Д*. Когда частота вращения возрастает, ток уменьшится, и катушка *PP* отпустит сердечник, размыкающий контакты *IPP* и отключающий пусковую обмотку.

При длительной перегрузке двигателя тепловое реле *ITP* нагревает биметаллическую пластину, она прогибается и размыкает контакты *TP*, останавливая компрессор. При остывании теплового элемента компрессор самопроизвольно включается. В отличие от тепловых реле прежних конструкций (*PTП-1* и др.) в *РТК-Х* имеется второе тепловое реле *2TP*, которое отключает компрессор тем же контактом *TP* в случае перегрузки пусковой обмотки (например, если она не отключится контактом *IPP*).

Осветительная лампочка *Л* отключается при закрывании дверей шкафа. Других защитных приборов для агрегата такого холодильника не требуется. Если в холодильной машине поднимется давление на нагнетательной стороне, то возрастет ток в цепи, сработает защита от перегрузки, и компрессор остановится.

На *рис. 10.1б* показана схема автоматизации малой холодильной машины с трехфазным электродвигателем. Компрессор имеет два защитных прибора – от повышения давления нагнетания и понижения давления всасывания. Оба сильфона приборов защиты действуют на один контакт реле давления *РД*. Защита обмоток электродвигателя от перегрева осуществляется с помощью тепловых реле в автоматическом выключателе *АВ*. Регулирование температуры охлаждаемой камеры (шкафа) осуществляется с помощью пуска и остановки компрессора. Это в свою очередь делает реле температуры *PT*, чувствительный элемент которого устанавливают непосредственно в охлаждаемом объек-

те. В этой схеме возможен и другой вариант регулирования температуры охлаждаемого объекта – пуском и остановкой компрессора в зависимости от давления всасывания (давления кипения в испарителе) с помощью РД на всасывании. В рассматриваемой малой установке контакты приборов защиты и регулирования производительности компрессора подключены непосредственно в цепь катушки магнитного пускателя электродвигателя компрессора.

### 10.2. Автоматизация холодильных установок средней производительности

Установки данного типа применяют на судах для охлаждения рассола в системах предварительного охлаждения рыбы, при приготовлении холодной воды или хладоносителя в системах кондиционирования воздуха. На *рис. 10.2* показана принципиальная схема автоматизации холодильной машины для охлаждения хладоносителя (рассола).

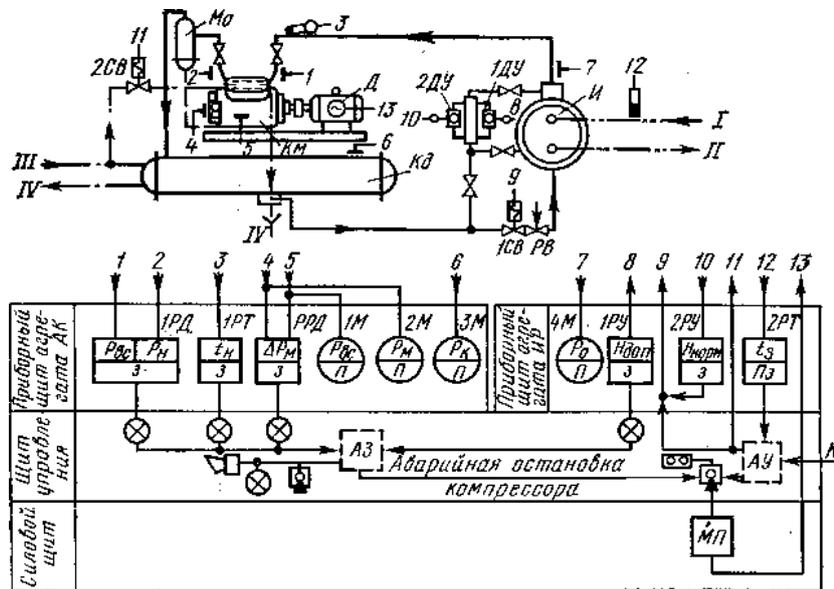


Рис. 10.2. Принципиальная схема автоматизации средней холодильной установки

Машина состоит из компрессора *КМ* открытого типа с электродвигателем, конденсатора кожухотрубного типа и кожухотрубного испарителя *И*. Основная задача автоматизированной машины – поддержание заданной температуры хладоносителя. Она решается пуском и остановкой компрессора. Для регулирования холодильной мощности компрессора установлен двухпозиционный регулятор температуры *2РТ* на входе рассола в испаритель. *2РТ* через схему автоматического управления *АУ* и магнитный пускатель воздействует на электродвигатель *Д* компрессора. Пуск компрессора возможен только после пуска насоса хладоносителя (на схеме эта блокировка не показана).

Для регулирования подачи холодильного агента в испаритель использован регулятор по уровню. Однако можно использовать регулятор перегрева *ТРВ*. В данном случае (аммиачная холодильная машина) для регулирования и защиты применены одинаковые реле уровня – *1РУ* и *2РУ* с датчиками *1ДУ* и *2ДУ*. При этом *1РУ* воздействует на схему автоматической защиты *АЗ*, а реле *2РУ* управляет работой электромагнитного вентиля *ICB* на подаче аммиака в испаритель. Датчик, регулирующий уровень, устанавливается так, чтобы уровень аммиака в испарителе поддерживался на высоте 2 – 3-го ряда труб сверху, а защитный датчик – на 100 мм выше. К колонке, на которой установлены датчики, подведен жидкостный трубопровод и установлен вентиль для проверки действия дистанционного управления *ДУ*.

Вентиль *ICB* может открываться только при работающем компрессоре. Работа компрессора возможна только при работающем насосе для хладоносителя.

### *10.3. Автоматизация холодильных установок большой производительности*

В судовых холодильных установках основных производственных систем, например на транспортных рефрижераторах, для охлаждения трюмов используют винтовые агрегаты, причем холодильная установка работает по схеме одноступенчатого сжатия на хладагенте *R22* (рабочая температура кипения  $-38^{\circ}\text{C}$ ). Применение одноступенчатой схемы значительно упрощает схему холодильной установки, но энергетические затраты по сравнению с двухступенчатым сжатием больше. Часто используют винтовые

компрессоры в качестве бустер-компрессоров в схемах двухступенчатого сжатия. Широкое применение винтовых компрессоров объясняется их высокой надежностью и компактностью.

Винтовые компрессоры, как правило, применяют маслозаполненного типа и с регулированием производительности в широких пределах (от 10 до 100%) посредством перемещения золотника. При этом увеличивается всасывающее отверстие, что приводит к уменьшению объема заполнения винтовой полости, т. к. она позже отсекается от полости всасывания. В результате происходит как бы уменьшение рабочей длины винтов.

На *рис. 10.3* приводится схема автоматизации винтового холодильного агрегата. Винтовой агрегат состоит из собственно компрессора *Км* с приводным электродвигателем *Д*, двух маслоотделителей (при работе на хладагенте *R22* и при работе на аммиаке используют один маслоотделитель) *1М0* и *2М0*. Для охлаждения масла используют специальный охладитель *Охл*, циркуляция масла осуществляется с помощью специального насоса *Н* с самостоятельным электродвигателем.

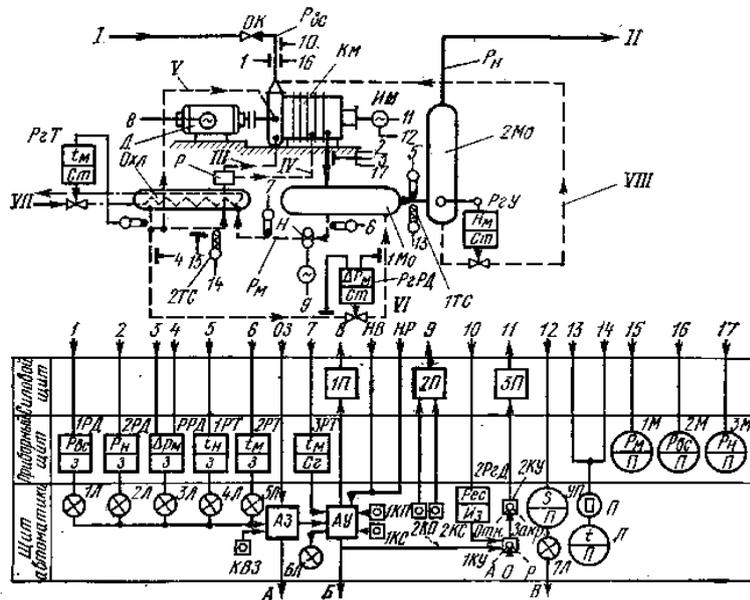


Рис. 10.3. Схема автоматизации холодильной установки с винтовым компрессором

Система автоматизации винтового агрегата осуществляет регулирование холодильной мощности компрессора и защиту компрессора от опасных режимов работы. Пуск и остановка агрегата производятся вручную при автоматической блокировке по выбранным параметрам защиты. Регулирование холодильной мощности может быть на базе электрической или гидравлической системы. На *рис. 10.3* приведена схема автоматизации на базе электрической системы регулирования холодильной мощности.

При работе агрегата пар холодильного агента по трубе *1* всасывается из испарительной системы, сжимается в компрессоре и подается последовательно в первый и второй маслоотделители. На всасывающем трубопроводе установлен обратный клапан *ОК*, препятствующий перетеканию холодильного агента из конденсатора в испарительную систему при остановке компрессора.

Пуск агрегата начинается с включения масляного насоса. При нажатии кнопки *2КП* срабатывает пускатель *2П* и включается приводной двигатель насоса. При циркуляции масла замкнутся контакты реле разности давлений *РРД*. Кнопкой *КВЗ* схема автоматической защиты *АЗ* вводится в рабочее состояние. Однако пуск возможен только в том случае, если температура масла не ниже допустимой. Эту блокировку осуществляет реле температуры *ЗРТ*, чувствительный элемент которого установлен на маслопроводе после насоса.

При выполнении всех условий пуска загорается сигнальная лампочка *6Л* (пуск разрешен). Нажатием кнопки *1КП* включается пускатель *1П* и подается питание электродвигателю *Д*. Изменение холодильной мощности может осуществляться по температуре хладоносителя или по температуре кипения холодильного агента. На *рис. 10.3* показана схема регулирования холодильной мощности (холодопроизводительности) регулированием давления кипения. Регулирующий прибор *Р<sub>2</sub>РД10* воспринимает давление всасывания и через ключи управления *1КУ* и *2КУ*, реверсивный пускатель *3П* управляет работой исполнительного механизма *ИМ*. При повышении давления  $P_{вс}$  регулятор так перемещает золотник, чтобы производительность компрессора увеличилась, при понижении давления производительность уменьшается. Ключ *1КУ* служит для выбора режимов работы регулятора – в положении *А* исполнительным механизмом управляет прибор *Р<sub>2</sub>РД*, в положении *Р* управление ведется вручную с помощью ключа *2КУ*, в по-

ложении *O* регулятор отключен. Ключ *2КУ* имеет два положения – открытое и закрытое.

Связь между схемой *AУ* и регулятором (ключом *1КУ*) обеспечивает вывод золотника в положение «минимум» при остановке компрессора. Эта мера необходима для разгрузки привода компрессора при следующем пуске.

Регулятор *P<sub>2</sub>РД* контролирует разность между давлением нагнетания *P<sub>н</sub>* компрессора и давлением масла после охладителя. Заданная разность давлений масла поддерживается обратным сбросом части масла по линии *VI* в маслоотделитель. Масло из второго маслоотделителя *2М<sub>о</sub>* автоматически возвращается в компрессор по трубе *VIII*. Этот регулятор находится внутри маслоотделителя.

Регулятор температуры *P<sub>2</sub>T* предназначен для поддержания температуры подаваемого в компрессор масла в оптимальных пределах в соответствии с паспортом компрессора. Чувствительный элемент регулятора установлен на линии масла, выходящего из охладителя *Охл*. Регулирование осуществляется путем изменения расхода охлаждающей воды (труба *VII*).

Система автоматической защиты, помимо указанных приборов *РРД*, *2РТ*, имеет реле низкого давления *1РД*, предохраняющее компрессор от работы при слишком низких давлениях, защищая одновременно испарители от замерзания хладоносителя; реле высокого давления *2РД* предотвращает недопустимое повышение давления нагнетания при нарушении работы конденсатора; реле температуры *1РТ* защищает компрессор от работы с недопустимо высокой температурой нагнетания, которая может являться следствием неисправности компрессора или нарушения условий его работы.

Контакты защитных реле включены в схему *AЗ*, выполненную по методу однократного действия. При срабатывании какого-либо защитного реле схема *AЗ* посылает сигнал аварийной остановки в схему *AУ*. Последняя останавливает компрессор, зажигается сигнальная лампочка (*1Л – 5Л*), расшифровывающая причину аварийной остановки. Последующий пуск возможен при нажатии на кнопку *КВЗ* и вводе схемы *AЗ* в работу.

Для наблюдения за работой автоматизированного агрегата установлены измерительные приборы.

#### 10.4. Автоматические системы регулирования производительности компрессора

*Отжим всасывающих клапанов.* При полном отжиме всасывающего клапана, по существу, происходит отключение цилиндра, т. к. поршень не сжимает пар, а выталкивает его обратно на сторону всасывания. Дополнительная энергия расходуется только на трение и на дроссельные потери в клапанах. Относительный расход электроэнергии не превышает 20%.

Устройство для отжима клапана должно быть предусмотрено в конструкции компрессора. Применяют отжим всасывающих клапанов давлением масла и электромагнитом. Последний способ значительно выгоднее, т. к. благодаря малой инерционности устройство позволяет с высокой частотой включать и отжимать клапан. Это дает возможность значительно уменьшить дифференциал регулятора температуры, управляющего отжимом клапанов, и увеличить число ступеней, что дает высокую точность регулирования. Последовательность включения цилиндров может быть такой же, как при многопозиционном регулировании включением компрессоров, т. е. астатической или пропорциональной. Кроме того, можно осуществить плавнодискретное регулирование температуры по любому закону (ПИ, ПИД и др.).

*Астатическая схема включения электромагнитов* показана на рис. 10.4. У восьмицилиндрового компрессора (например П220) три пары цилиндров имеют электромагниты (*ЭК1 – ЭК6*) для отжима всасывающих клапанов. Щит регулирования (ШИЕ) подключен к пульту управления компрессором. Щит собран на логических элементах, на вход которых подаются сигналы: 0 (напряжение меньше 0,9 В) или 1 (напряжение более 4В).

При неработающем компрессоре реле *РК* на пульте (на схеме не показано) обесточено и контакт *РК1*, подключенный к щиту, замкнут. При этом выходы 7 триггерных элементов  $T_2 – T_4$  через диоды соединяются с нулем *N*. А на выходах 8 появляется противоположный сигнал, и через усилители  $У2 – У4$  и управляемые тиристорные мосты *УД5, УД10, УД15* включаются все электромагниты клапанов для облегчения запуска компрессора.

В элементах *Э1* и *Э2* (элементы *И*) сигнал на выходе появляется только при наличии сигнала *1* на обоих входах. На входы 5 и 6

через равные промежутки времени (от 5 с до 30 мин) подаются сигналы  $I$  от генератора импульсов  $ГИ$ . Если температура рассола на выходе из испарителя выше заданной, то трехпозиционное реле температуры  $РТ$  подает сигнал  $РТ-B$  на вход  $\mathcal{E}1$ , и на все входы  $I$  триггерных элементов  $T1 - T4$  подаются сигналы на увеличение нагрузки компрессора. Первым включается реле  $РВК$ , которое дает команду на пульт для включения рассольного насоса и компрессора. Производительность компрессора при отжатых клапанах составляет 25%. После включения  $РВК$  с выхода 8 элемента  $T1$  подается сигнал на вход 5 элемента  $T2$ , разрешая ему пропустить сигнал на повышение нагрузки. Через следующий промежуток времени (например 10 мин)  $\mathcal{E}1$  вновь пропустит сигнал, и подготовленный элемент  $T2$  отключит  $\mathcal{Э}К1$  и  $\mathcal{Э}К2$ , т. е. пара цилиндров включится в работу и подготовит к работе  $T3$ .

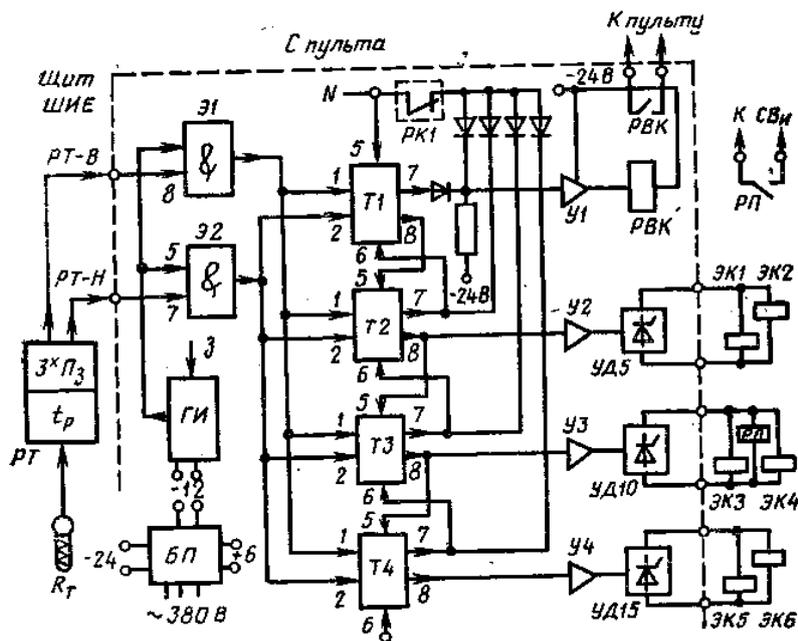


Рис. 10.4. Упрощенная схема щита (ШИЕ) для автоматического отжима всасывающих клапанов:  $\mathcal{E}1, \mathcal{E}2$  – элементы И;  $T1 - T4$  – триггеры;  $У1 - У4$  – усилители;  $УД5, УД10, УД15$  – управляемые диоды с тиристорными мостами;  $\mathcal{Э}К1 - \mathcal{Э}К6$  – электромагниты клапанов;  $РВК$  – реле включения компрессора;  $БП$  – блок питания

Если четыре работающих цилиндра не справляются с нагрузкой и  $t_p$  остается выше требуемой, то еще через 10 мин сигнал с триггера  $T3$  отключит  $ЭК3$  и  $ЭК4$ . При этом реле  $PI$  включит соленоидный вентиль  $CB_n$  для увеличения подачи жидкого хладагента в испаритель (производительность компрессора более 50%). Если за прошедшие 20 мин температура рассола  $t_p$  снизилась и вошла в заданную зону, то сигналы  $PT - B$  и  $PT - H$  отсутствуют и продолжают работать шесть цилиндров. При снижении  $t_p$  до нижнего предела сигнал  $PT - H$  через  $Э2$  дает команду на шину снижения холодопроизводительности. Сначала срабатывает элемент  $T3$ , включая  $ЭК3$  и  $ЭК4$ , одновременно подготавливая  $T2$  (сигналом с выхода 7 на вход 6  $T2$ ). Через 10 мин сработает  $T2$ , включив электромагниты  $ЭК1$  и  $ЭК2$ . Если  $t_p$  остается ниже заданной, то через 10 мин  $TI$  отключит  $PBK$  и остановит компрессор. С повышением  $t_p$  до  $t_{p \text{ макс}}$  вновь включится компрессор, и через каждые 10 мин будет включаться в работу по паре цилиндров. Недостаток астатической схемы состоит в трудности правильного задания времени подключения отдельных ступеней.

*Схема пропорционального включения электромагнитов* показана на *рис. 10.5*. Ящик регулирования (типа ЯАН) работает совместно с пультом управления. Пока компрессор стоит, реле  $P1$  на пульте включено и контактом  $P1$  дает сигнал на плату  $П9$ , которая отключает реле  $P2$  пуска компрессора и формирует сигнал  $35I$  для намагничивания всех трех групп всасывающих клапанов ( $Y_1$ ,  $Y_2$  и  $Y_3$ ) с целью разгрузки компрессора после пуска.

При нажатии кнопки «Пуск» реле  $P1$  обесточивается и разрешает через плату  $П9$  включать  $P2$  для запуска компрессора. Если температура объекта выше заданного нижнего предела, то сигнал отклонения температуры  $R_t$ , снятый с измерительного моста  $ИМ$  и усиленный в операционном усилителе  $ОУ$ , становится выше  $-0,5$  В (по модулю), и, включая  $P2$ , обеспечивает пуск компрессора. Одновременно на плате  $П9$  начинает заряжаться конденсатор, и через 7 – 9 с снимается сигнал разгрузки ( $35I$ ).

Платы управления клапанами  $П10$ ,  $П11$  и  $П12$  дают сигнал на размагничивание клапанов, когда напряжение на их входах соответственно выше  $-1$ ,  $-1,5$  и  $-2$  В по модулю (*рис. 10.5б*). Поэтому при пуске отепленной установки, когда сигнал  $1035$  (на выходе из усилителя  $ОУ$ ) выше 2 В, все три группы клапанов ( $Y_1$ ,  $Y_2$  и  $Y_3$ ) включаются одновременно через 7 – 9 с после запуска компрес-

сора. При 100%-ной холодопроизводительности с платы П12 подается еще сигнал на Р9 для сигнализации.

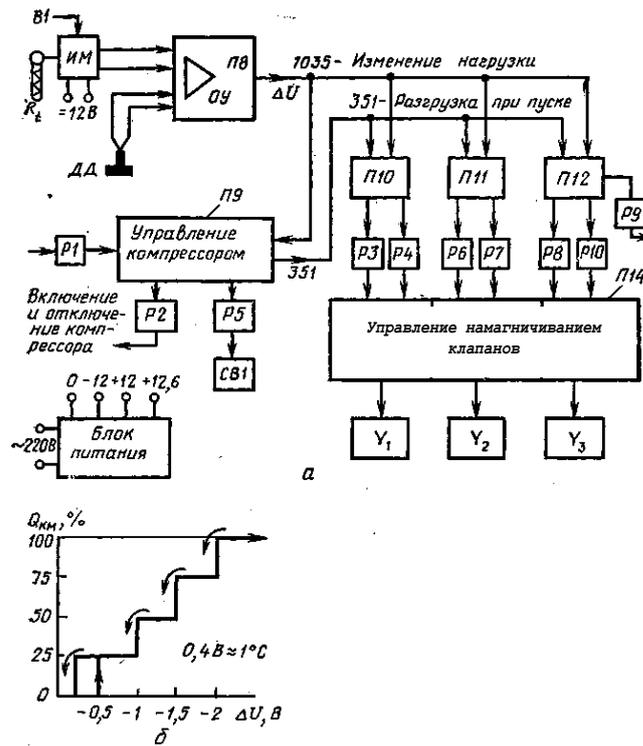


Рис. 10.5. Схема изменения производительности компрессора отжимом всасывающих клапанов: а – блочная схема ящика регулирования (типа ЯАН); б – схема пропорционального регулирования

При понижении температуры (при  $-2$  В) сигнал с платы П12 через реле Р8 и Р10 отключает одну пару цилиндров, и производительность компрессора снижается до 75%. Если она остается еще больше тепловой нагрузки, т. е.  $t_{об}$  продолжает падать ( $\Delta U < -1,5$  В), отключается еще пара цилиндров ( $Y_2$ ); далее при  $-1$  В отключается последняя пара ( $Y_1$ ).

Отключение цилиндров, как указывалось, происходит при подаче напряжения на электромагниты клапанов. Так, при напряжении ниже  $-1$  В с платы П10 дается команда на одновременное включение реле Р3 и Р4. Реле Р4 включается всего на 1 – 2 с

(пока заряжается конденсатор) и обеспечивает повышенный ток на электромагниты  $Y_1$ . Для удержания клапанов остается включенным только реле  $P3$ . При этом ток на  $Y_1$  меньше, что обеспечивает длительную и надежную работу электромагнитов.

При снижении нагрузки до 50% через  $P5$  закрывается соленоидный вентиль  $CB1$  для уменьшения подачи жидкого хладагента в испаритель.

Измерительный мост  $ИМ$  позволяет переключателем  $B1$  на магазине сопротивлений установить один из восьми диапазонов регулирования:  $-70 \div -60$ ;  $-60 \div -50$  и т. д. до  $0 \div +10^\circ\text{C}$ . Точная температура внутри десятиградусного диапазона задается переменным сопротивлением.

На пульте имеются тумблеры для ручного отжима клапанов. Предусмотрена сигнализация положения клапанов (вместе с катушкой включается лампочка).

#### *Список литературы*

1. *Кантарович В.И.* Основы автоматизации холодильных установок. – М.: Пищ. пром-сть, 1985. – 288 с.
2. *Миклос А.Г., Кондрашова Н.Г.* Автоматика и КИП судовых энергетических и холодильных установок. – Л.: Судостроение, 1984. – 200 с.
3. Правила классификации и постройки морских судов // Регистр СССР. – Л.: Транспорт. Ленингр. отд-ние, 1982. – 464 с.
4. *Ужанский В.С.* Автоматизация холодильных машин и установок. – М.: Пищ. пром-сть, 1981. – 304 с.
5. Правила технической эксплуатации средств автоматизации на судах флота рыбной промышленности СССР. – Л.: Транспорт. Ленингр. отд-ние, 1980. – 360 с.