АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ISBN 978-5-4468-0615-7

Издательский центр
«Академия»
www.academia-moscow.ru

ACADEM'A

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УЧЕБНИК

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Л. И. Селевцов
А. Л. Селевцов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

3-е издание

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ТОВАРОВ

ACADEM'A



соответствует ФГОС

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Л. И. СЕЛЕВЦОВ, А. Л. СЕЛЕВЦОВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УЧЕБНИК

Рекомендовано
Федеральным государственным учреждением
«Федеральный институт развития образования»
в качестве учебника для использования в учебном процессе
образовательных учреждений, реализующих программы
среднего профессионального образования

Регистрационный номер рецензии 494
от 02 июля 2009 г. ФГУ «ФИРО»

3-е издание, стереотипное

ACADEMIA

Москва
Издательский центр «Академия»
2014

УДК 658.562.3(075.32)
ББК 30.6я723
С29

Рецензенты:
преподаватель общетехнических дисциплин Московского пищевого колледжа № 33 *О. Н. Белялова*;
кандидат технических наук, председатель технического совета ОАО компании «Юнимилк» Санкт-Петербургского молочного комбината *В. Ф. Поляков*

Селевцов Л.И.

С29 Автоматизация технологических процессов : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л. И. Селевцов, А. Л. Селевцов. — 3-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2014. — 352 с.

ISBN 978-5-4468-0615-7

Рассмотрены методы контроля технологических параметров, устройство контрольно-измерительных приборов, свойства объектов управления и элементы автоматического управления технологическими процессами в пищевом производстве, конструкция и принцип действия технических средств систем автоматического управления, а также их монтаж. Приведены правила выполнения схем автоматизации для вспомогательных и основных технологических производств в пищевой промышленности.

Учебник может быть использован при изучении общепрофессиональной дисциплины ОП.05. «Автоматизация технологических процессов» в соответствии с ФГОС СПО для специальности 260103 «Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий».

Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования.

УДК 658.562.3(075.32)
ББК 30.6я723

© Селевцов Л.И., Селевцов А.Л., 2012, с исправлениями
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ISBN 978-5-4468-0615-7

Введение

Автоматикой называется отрасль науки, изучающая теорию и принципы построения систем управления производственными процессами, действующих без непосредственного участия человека. Как область науки, автоматизация возникла на базе теории автоматического регулирования, основы которой были заложены в работах Дж. К. Максвелла (1868), И. А. Вышеградского (1872—1878), А. Стодолы (1898) и др. В самостоятельную научно-техническую дисциплину оформилась в 1940-х гг.

Автоматизация производства — это процесс в развитии машинного производства, при котором функции контроля и управления, ранее выполнявшиеся человеком, передаются техническим устройствам (средствам и приборам автоматизации).

К первым автоматическим устройствам относятся автоматический регулятор уровня воды в паровом котле, изобретенный в 1765 г. русским механиком Н. И. Ползуновым, и регулятор частоты вращения кривошипа в паровой машине английского механика Дж. Уатта (1784).

Цели автоматизации производства следующие: сокращение численности обслуживающего персонала, иногда при снижении уровня его квалификации; повышение качества продукции; снижение расходов сырья и различных видов энергии; сокращение отходов производства; повышение ритмичности производства; повышение производительности труда; увеличение объема выпускаемой продукции; улучшение труда обслуживающего персонала и устранение вредных факторов, влияющих на здоровье работников; улучшение экологии производства. Достижение этих целей ведет к повышению экономической эффективности производства, однако две последних цели могут быть затратными.

По степени контроля и управления производством техническими средствами можно выделить такие уровни автоматизации.

Частичная автоматизация (локальная) — автоматизация отдельных аппаратов, машин, технологических операций. Проводится, когда управление процессами, вследствие их сложности или ско-

ротечности, практически не доступно человеку (оператору). При этом учитывается экономическая эффективность внедрения простых автоматических устройств и требования техники безопасности и экологии. Частично автоматизируется, как правило, действующее оборудование. Современное оборудование, требующее автоматизации, выпускается обычно уже автоматизированным. К частичной автоматизации относится также автоматизация управленческих работ. Локальная автоматизация широко применяется на предприятиях пищевой промышленности.

Комплексная автоматизация предусматривает автоматизацию технологического участка, цеха или предприятия функционирующих как единый, автоматизированный комплекс, например электростанции. Комплексная автоматизация предприятия охватывает все производственные функции соответствующей структуры предприятия. Она целесообразна при относительно стандартной по качеству, легко транспортирующейся продукции, применении надежного, безотказного оборудования.

Отдельно в рамках комплексной системы автоматизации предприятия можно рассматривать комплексную автоматизацию управления предприятием, под которой следует понимать комплексную систему автоматизации управления финансово-хозяйственной деятельностью предприятия, обеспечивающую принятие обоснованных управленческих решений на основе качественной и достоверной информации, получаемой с помощью современных управленческих и информационных технологий. Она обеспечивает ведение оперативного, бухгалтерского и управленческого учета и строится на основе единого информационного пространства, охватывая и координируя всю совокупность управленческих процессов предприятия.

Комплексной автоматизации на современном уровне развития техники подвергаются предприятия молочной, пивоваренной, спиртовой, крахмалопаточной, сахарной, дрожжевой и других отраслей пищевой промышленности, из которых наиболее сложной для комплексной автоматизации является мясная отрасль из-за нестандартности сырья и сложности его транспортирования.

Полная автоматизация — высшая ступень автоматизации, при которой все функции контроля и управления производством (на уровне предприятия) передаются техническим средствам. На современном уровне развития техники полная автоматизация практически не применяется, так как функции контроля в настоящее время остаются за человеком. Близкими к полной автоматизации можно считать атомные электростанции, некоторые крупные тепловые и гидроэлектростанции, системы обороны страны.

Автоматизация производства предполагает наличие надежных, относительно простых по устройству и управлению машин, механизмов и аппаратов. При внедрении систем автоматизации желателен непрерывный технологический процесс, обеспечивающий удобство транспортирования сырья, материалов, полуфабрикатов и готовой продукции. При разной производительности отдельных машин и аппаратов, входящих в технологическую линию, следует устанавливать промежуточные емкости, обеспечивающие непрерывность технологического процесса. Таким образом, автоматизация производства предполагает его максимальную механизацию и непрерывность технологического процесса. Следует понимать, что технология определяет необходимую конструкцию и режимы работы средств механизации, а также задачи, которые необходимо решать при автоматизации технологического процесса.

РАЗДЕЛ I

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Глава 1. Основы метрологии и характеристики измерительных приборов
Глава 2. Измерительные схемы приборов и системы дистанционной передачи показаний
Глава 3. Показывающие и регистрирующие измерительные приборы
Глава 4. Приборы для контроля давления (вакуума)
Глава 5. Приборы для контроля температуры
Глава 6. Приборы для контроля расхода массы и учета штучной продукции
Глава 7. Приборы для контроля уровня
Глава 8. Приборы для контроля свойств и состава вещества

Глава 1

ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Основные понятия. Автоматизация производства, на любых ее уровнях, не возможна без информации о состоянии автоматизируемых объектов. Эта информация поступает в систему автоматического управления с помощью специальных технических средств — контрольно-измерительных приборов (КИП). Качество их работы определяется *метрологическими характеристиками*. Они разрабатываются отраслью науки, которая называется **метрология** (от греч. *metron* (мера) + *logos* (понятие, учение).

Измерение — процесс определения численного соотношения между действительным значением измеряемой физической величины $x_д$ и некоторой величиной, принятой за единицу измерения, называемой мерой (метр, килограмм, ньютон, паскаль, кулон, вольт и др.). Устройство, применяемое для сравнения измеряемой величины с единицей измерения, называется **измерительным прибором** (линейка, весы, динамометр, манометр, термометр, вольтметр и др.). При этом прибор показывает некоторое количество единиц измеряемой величины (меры) — $x_и$, которое никогда не совпадает с действительным значением $x_д$.

Методы измерений. Для определения численного значения измеряемой величины $x_д$ служат прямые и косвенные методы измерения.

Прямые методы измерения основаны на сравнении измеряемой величины $x_д$ с единицей измерения с помощью меры или измерительного прибора, шкала которого выражена в единицах измерения.

Косвенные методы измерения заключаются в определении искомой величины $x_д$ путем измерения одной или нескольких других

величин, с которыми она связана математической зависимостью. Например, из закона Ома $I = \frac{U}{R}$ сопротивление проводника R может быть вычислено по измерениям силы тока I, протекающего по нему, и падению напряжения U в нем ($R = \frac{U}{I}$).

1.2. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Класс точности прибора. Ранее было указано, что показания измерительного прибора $x_и$ не совпадают с действительным значением измеряемой величины $x_д$. Разность $x_д - x_и = \Delta$ называется ***абсолютной погрешностью измерений***. Она имеет знак, размерность и может характеризовать точность измерений одной и той же физической величины, но не может быть мерой сравнения точности измерений разных физических величин (нельзя определить, какие измерения более точны: измерения температуры с погрешностью ±1 °С или уровня с погрешностью ±10 мм).

Для сравнения точности измерения различных физических величин вводится понятие относительной погрешности. ***Относительная погрешность*** δ, % — это отношение абсолютной погрешности Δ к действительному значению измеряемой величины $x_д$, взятое по абсолютной величине:

$$\delta = \left|\frac{\Delta}{x_д}\right| 100.$$

С помощью относительной погрешности можно сравнивать точность измерений различных физических величин, так как она не имеет размерности и знака.

Однако на сравнительную оценку точности измерений оказывает влияние также значение измеряемой величины $x_д$. Априори можно предположить, что измерения температуры $t_1 = 5$ °С с погрешностью $\Delta = \pm 0{,}5$ °С менее точные, чем измерения температуры $t_2 = 1\,000$ °С с погрешностью $\Delta = \pm 1$ °С.

Для оценки точности работы прибора с учетом значения измеряемой величины, вводится понятие ***относительной приведенной погрешности*** γ. Это отношение абсолютной погрешности к диапазону N шкалы прибора, взятое по абсолютной величине, %:

$$\gamma = \left|\frac{\Delta}{N}\right| 100.$$

Диапазоном шкалы прибора N называется разность между максимальным значением измеряемой величины по шкале прибора $x_{и\max}$ и минимальным значением $x_{и\min}$:

$$N = x_{и\max} - x_{и\min}.$$

Относительная приведенная погрешность (в большинстве случаев) определяет основную метрологическую характеристику прибора — ***класс точности***

$$K = \gamma.$$

Класс точности прибора всегда указывается на шкале, иногда в виде цифры, обведенной кружком, например (1,5), чем он меньше, тем выше класс точности прибора.

Таким образом, глядя на шкалу прибора, можно определить максимально допустимую погрешность измерений (при условии, что прибор исправен) по формуле

$$\pm\Delta = \frac{KN}{100}.$$

Чувствительность прибора. Чувствительностью s называют предел отношения изменения выходной величины прибора Δy к изменению входной величины Δx при условии, что последняя стремится к нулю:

$$s = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

Для стрелочного показывающего прибора выходной величиной Δy является перемещение стрелки по шкале, а входной Δx — изменение измеряемой величины $x_д$. Очевидно, чем больше s, тем более точно визуально можно отсчитывать показания прибора.

Порог чувствительности. Порогом чувствительности Δs называется минимальное изменение входной величины Δx, которое вызывает изменение выходной величины y, или максимальное изменение входной величины Δx, которое не вызывает изменение выходной величины y. Чем порог чувствительности ниже, тем точность измерений выше.

Инерционность. Инерционностью T называется продолжительность изменения выходной величины прибора y от минимального

до максимального значения (для стрелочного прибора — продолжительность прохождения стрелки от минимальной отметки шкалы до максимальной) при мгновенном изменении входной величины $x_д$, измеряемой от минимального значения до максимального по шкале прибора. Чем больше инерционность, тем больше продолжительность измерения прибором.

Вариация. Вариация B — это наибольшая разность показаний прибора при одном и том же значении измеряемой величины $x_д$ при ее увеличении и уменьшении. Причинами вариации являются трение в опорах подвижных частей измерительного механизма, люфты в зазорах передаточных звеньев и др. Очевидно, большая вариация показаний отрицательно сказывается на точности измерений.

1.3. ОТСЧЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА, ХАРАКТЕРИСТИКИ ШКАЛ

Отсчетные устройства в зависимости от типа прибора выполняют в виде шкалы и указателя (стрелки, луча) или цифрового индикатора в показывающих приборах, записывающего устройства и диаграммной бумаги в самопишущих приборах, счетного механизма в суммирующих (интегрирующих) приборах. Числа отсчета измеряемой величины и характеристики прибора наносятся на шкале прибора. Шкалы, кроме цифровых и интегрирующих, представляют собой совокупность отметок (делений) с цифрами, соответствующим значениям измеряемой величины. Начальная и конечная отметки шкалы определяют нижний и верхний пределы измерения прибора, — диапазон N шкалы прибора. Отметки на шкале называются ***градуировкой шкалы***, а численные значения единиц измерений — ***цифровкой шкалы***.

На рис. 1.1 представлен внешний вид шкал: линейная (рис. 1.1, *а*), дуговая (рис. 1.1, *б*), круговая, циферблатная (рис. 1,1, *в*), цифровая, или интегрирующая (рис. 1,1, *г*).

Кроме последнего типа шкалы характеризуются двумя основными величинами:

интервал деления шкалы — расстояние между двумя соседними отметками шкалы, выраженное в линейных метрических единицах (для линейных шкал) или угловых (для дуговых и круговых). Чем больше интервал делений, тем точность отсчета выше. С этой точки зрения предпочтительнее круговые шкалы;

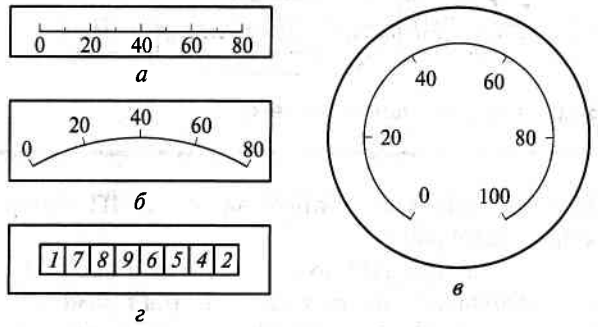


Рис. 1.1. Виды шкал:

а — линейная; *б* — дуговая; *в* — круговая циферблатная; *г* — цифровая, или интегрирующая

цена деления шкалы — расстояние между двумя соседними отметками шкалы, выраженное в единицах измеряемой величины. Чем больше цена деления шкалы, тем точность отсчета ниже.

Шкалы могут быть равномерными и неравномерными. У *неравномерных шкал* изменяется интервал делений. При этом к концу шкалы обычно он уменьшается, при одинаковой цене делений. Таким образом, в *равномерной шкале* точность отсчета одинакова по всей шкале, а в неравномерной она уменьшается к концу шкалы.

Если шкала начинается с нулевой отметки или минимальной отметки одного знака, то она называется ***односторонней***. Если нуль шкалы расположен где-то в середине, то шкала называется ***двусторонней***.

В самопишущих приборах измеряемая величина может записываться на ленточной или дисковой диаграммной бумаге.

1.4. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ПРИБОРОВ

Измерительная система (ИС) — это совокупность технических средств, предназначенных для восприятия измеряемой физической величины $x_д$ и преобразования ее в визуальную информацию, и состоит из двух элементов: датчика Д, первичного преобразователя (ПП) и измерительного прибора (ИП). Такое построение ИС возможно, если выходной сигнал с ПП согласуется с входным сигналом ИП (например, датчик температуры преобразует ее изменение

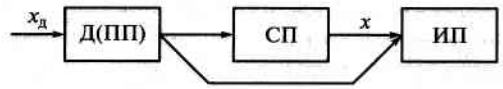


Рис. 1.2. Виды измерительной системы

в изменение электрического сопротивления и ИП измеряет электрическое сопротивление).

Если выходной сигнал ПП не согласуется с входным сигналом ИП, то в измерительную систему включается промежуточный согласующий преобразователь (СП). Он преобразовывает выходной сигнал ПП во входной сигнал ИП. На рис. 1.2 показаны два варианта построения измерительной системы.

По принципу действия измерительные приборы подразделяются на две основные группы: ИП прямого преобразования и ИП следящего уравновешивания. На рис. 1.3, *а* показана структурная схема прибора прямого преобразования. В них измеряемая физическая величина $x_д$, преобразованная с помощью первичного преобразователя ПП или согласующего преобразователя СП в другую физическую величину x, поступает в измерительную схему ИС, которая предназначена для ограничения величины x в определенном диапазоне и, иногда, для дальнейшего ее преобразования.

Стандартизированный по виду физической величины и размерам сигнал с ИС поступает в измерительный механизм ИМ — механическое или электронное устройство, предназначенное для при-

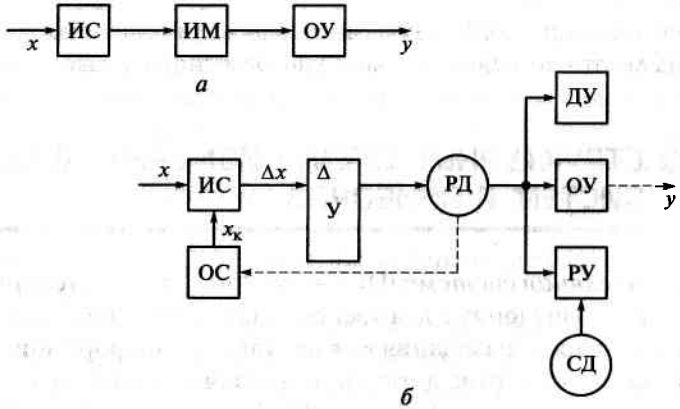


Рис. 1.3. Виды измерительных приборов:
а — прямого преобразования; *б* — следящего уравновешивания

ведения в действие отсчетного устройства ОУ. В результате на выходе наблюдатель получает визуальную информацию y о значении измеряемой величины $x_д$ в виде сигнала $x_и$ с допускаемой прибором погрешностью.

На рис. 1.3, *б* показана схема ИП следящего уравновешивания. Входная величина x поступает в измерительную схему сравнения ИС, которая преобразует x в разностный сигнал Δx. Он подается на усилитель У, а затем в реверсивный двигатель РД. Реверсивный двигатель приводит в действие отсчетное устройство ОУ, а также регистрирующее устройство РУ и дополнительные устройства ДУ (например, сигнальные), при их наличии. Привод движения носителей регистрирующего устройства производится с помощью синхронного двигателя СД. Одновременно РД приводит в действие механизм устройства обратной связи ОС, которое вводит в ИС компенсационный сигнал $x_к$, противоположный по знаку величине Δx. Когда величины Δx и $x_к$ станут равными по абсолютной величине, работа РД прекратится и на ОУ и РУ будет выведено значение измеряемой величины (с погрешностью прибора) $x_и$.

Приборы следящего уравновешивания более сложные по конструкции, чем приборы прямого преобразования, однако дают более широкие возможности использования получаемой информации (устройства РУ, ДУ) и в основном имеют более высокий класс точности.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какая погрешность измерений определяет разность между действительным значением измеряемой величины $x_д$ и ее измеренным значением $x_и$? **2.** В каких методах измерений для определения измеряемой величины используются математические вычисления? **3.** С увеличением диапазона измерений N класс точности прибора повышается или уменьшается? **4.** Как влияет чувствительность S на точность измерений (отсчета измеряемой величины)? **5.** Какая характеристика шкалы прибора увеличивается в круговых шкалах по сравнению с минимальными? **6.** Как называются шкалы приборов, используемых для измерений как положительных, так и отрицательных температур? **7.** Какие устройства преобразуют в ИС измеряемую величину $x_д$ во входную X для измерительного прибора? **8.** Для чего используются в приборах следящего уравновешивания реверсивный двигатель РД и синхронный СД?

Глава 2

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПРИБОРОВ И СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ПОКАЗАНИЙ

2.1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПРИБОРОВ

Мостовые измерительные схемы. В измерительных схемах (ИС) приборов и систем дистанционной передачи показаний (СДПП) широко применяются мостовые измерительные схемы. По принципу действия они подразделяются на мостовые неуравновешенные и уравновешенные мостовые схемы, причем последние являются модификацией первых.

Свойство мостовых схем заключается в том, что если произведение сопротивления противоположных плеч равно друг другу, то ток и падение напряжения на концах измерительной диагонали отсутствуют. Схема в этом случае уравновешена. Для схемы, показанной на рис. 2.1, *а*, уравнение равновесия имеет вид

$$R_1 R_x = R_2 R_3, \qquad (2.1)$$

где R_1, R_2, R_3 — постоянные сопротивления; R_x — измеряемое сопротивление.

При изменении сопротивления R_x уравнение нарушается. По измерительной диагонали начинает протекать ток, а в точках A и C появляется падение напряжения, причем их значения пропорциональны степени разбаланса, т. е. изменению сопротивления R_x. Таким образом, в неуравновешенной измерительной схеме измерения возможно проводить только при разбалансе схемы (нет соблюдения уравнения равновесия).

Мостовая неуравновешенная измерительная схема (рис. 2.1, *а*) состоит из четырех плеч AB, BC, CD и DA, которые образованы тремя постоянными сопротивлениями R_1, R_2, R_3 и неизвестным измеряемым сопротивлением R_x.

Плечи образуют две диагонали: диагональ питания BD и измерительную AC. В диагональ питания подводится напряжение переменного или постоянного тока $U_{пит}$, а в измерительную диагональ включается измерительный прибор ИП, измеряющий падение напряжения или ток (величина напряжения питания 4...6 В).

Мостовая уравновешенная измерительная схема (рис. 2.1, *б*) также имеет четыре плеча AB, BC, CD и DA, диагонали питания BD и измерительную AC. Особенностями этой схемы являются следующие:

- в измерительную диагональ включается нуль-индикатор НИ — прибор, фиксирующий отсутствие тока или падения напряжения;
- в плечо, смежное с тем, куда подключено измеряемое сопротивление R_x включается сопротивление реохорда $R_р$. Реохорд представляет собой переменное сопротивление типа реостата, движок которого связан с показывающей стрелкой отсчетного устройства ОУ;
- постоянные сопротивления R_1 и R_2 подбираются равными, т. е. $R_1 = R_2$.

Измерения в этой схеме проводят следующим образом.

Перемещая движок реохорда, добиваются нуля показаний нуль-индикатора. Это означает, что ток в измерительной диагонали отсутствует, а значит, выполняется условие равновесия мостовой схемы.

Из условия $R_1 = R_2$ следует, что $R_x = R_р$. Таким образом, по показаниям ОУ реохорда можно определить значение R_x.

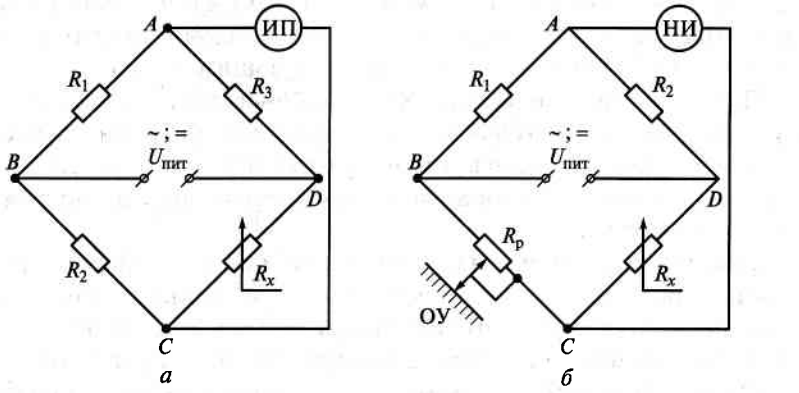


Рис. 2.1. Мостовые схемы:
а — мостовая неуравновешенная схема; *б* — мостовая уравновешенная схема

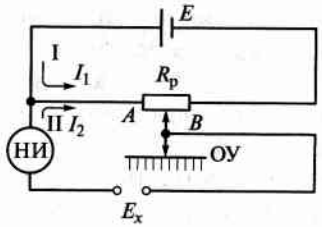


Рис. 2.2. Потенциометрическая измерительная схема

Измерительные приборы, использующие в качестве измерительных схем мостовые уравновешенные, сложнее по устройству, чем приборы с неуравновешенными мостовыми схемами, но более точны.

Следует понимать, что в измерительных приборах, используемых в промышленности, измерение электрических сопротивлений не является самоцелью. Они предназначены для измерения технологических параметров, преобразованных в изменение электрического сопротивления.

Потенциометрические измерительные схемы. Используются в приборах, предназначенных для измерения технологических параметров, преобразованных в изменение падения напряжения или электродвижущей силы (ЭДС).

В потенциометрических ИС измеряемая величина ЭДС компенсируется падением напряжения на калибровочном сопротивлении. Схема измерения показана на рис. 2.2. От источника постоянного напряжения E через сопротивления реохорда $R_р$ проходит ток I_1, создающий на реохорде падение напряжения U_{AB}. Эта цепь образует контур I схемы. Контур II образован источником измеряемой ЭДС E_x и участком реохорда между точками A и B. В него включен нуль-индикатор НИ. Движок реохорда связан с показывающей стрелкой ОУ. Измерения проводят следующим образом.

Перемещением движка реохорда добиваются показания нуля на нуль-индикаторе. Это означает, что падение напряжения на реохорде от источника питания компенсируется измеряемой ЭДС. Таким образом, по шкале реохорда можно судить о величине контролируемого параметра.

Дифференциальные измерительные схемы. Дифференциальные измерительные схемы отличаются повышенной точностью измерения контролируемого параметра, так как измеряют не его абсолютную величину, а разность между ней и некоторой калиброванной (высокоточной) величиной. Эти схемы применяют для измерения технологических параметров, преобразованных в электрическое сопротивление или в падение напряжения (ЭДС).

На рис. 2.3, *а* показана дифференциальная ИС для измерения технологических параметров, преобразованных в изменение электрического сопротивления. Она представляет собой неуравновешенную индуктивно-резистивную мостовую схему. Плечи моста *AC*, *CB*, *BD* и *DA* образованы двумя постоянными индуктивными сопротивлениями L_1 и L_2, постоянным активным сопротивлением R_1 и измеряемым сопротивлением R_x. Диагональ *CD* питается напряжением переменного тока от трансформатора *TV*. В измерительную диагональ *AB* включен измерительный прибор ИП, измеряющий ток, или падение напряжения. При изменении величины R_x возникает разбаланс мостовой схемы, уравнение равновесия которой $x_{L1}R_x = x_{L2}R_1$. Он вызывает появление в измерительной диагонали тока или падения напряжения пропорциональных изменению сопротивления R_x.

На рис. 2.3, *б* показана дифференциальная ИС для измерения технологических параметров, преобразованных в изменение электрического напряжения переменного тока. Схема также представляет мостовую неуравновешенную схему с плечами *AC*, *CB*, *BD* и *DA*. На диагональ питания *CD* напряжение подается от трансформатора *TV*. В измерительную диагональ *AB* включен измерительный прибор ИП, измеряющий величину тока или падение напряжения. Отличие этой схемы от предыдущей состоит в том, что датчик технологического параметра включается в плечо *AC*. При изменении контролируемой величины меняется индуктивное сопротивление обмотки L_2 (x_{L2}). Это вызывает изменение ЭДС E_1, что приво-

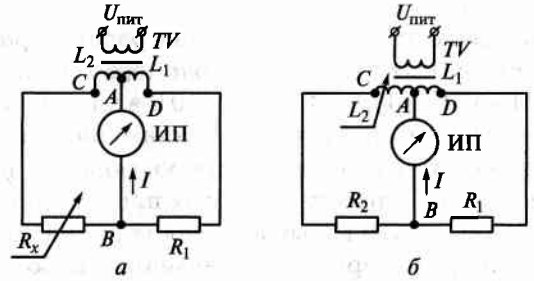


Рис. 2.3. Дифференциальные измерительные схемы:

а — дифференциальная измерительная схема для измерения технологических параметров, преобразованных в изменение электрического сопротивления; *б* — дифференциальная измерительная схема для измерения технологических параметров, преобразованных в изменение электрического напряжения переменного тока

дит к появлению тока в измерительной диагонали и падению напряжения в точках A и B. Полученный сигнал пропорциональный E_1, а следовательно, и контролируемому параметру, измеряется прибором ИП.

2.2. ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИИ

Государственная система промышленных приборов и средств информации (ГСП) используется в целях наиболее экономически целесообразного решения проблемы обеспечения техническими средствами автоматических систем контроля, регулирования и управления технологическими процессами для разных отраслей хозяйства, в том числе отраслей агропромышленного комплекса. По роду энергии используемой для питания устройств и формирования сигналов ГСП подразделяется на следующие ветви: электрическую, пневматическую, гидравлическую, а также ветвь приборов и устройств, работающих без источников вспомогательной энергии.

Унификация сигналов измерительной информации (определяемая соответствующими стандартами) обеспечивает передачу и обмен информацией, дистанционную связь между устройствами управления, передачу результатов измерений от средств получения информации к устройствам контроля и управления, а также управляющих сигналов к исполнительным механизмам в автоматических системах любой сложности.

Из электрических сигналов наибольшее распространение получили унифицированные сигналы постоянного тока и напряжения (0...5 мА; 0...20 мА; 0...10 мВ; −10...0... +10 В и др.). Пневматические сигналы связи (0,02...0,1 МПа) нашли достаточно широкое применение в тех производствах, где отсутствуют повышенные требования к инерционности автоматизируемых процессов и где необходимо учитывать пожаро- и взрывоопасность производств. Гидравлические сигналы характеризуются давлением рабочей жидкости 0,2...0,8 МПа.

К первой группе приборов и устройств ГСП относятся первичные измерительные преобразователи (датчики), измерительные приборы и устройства, которые вместе с нормирующими устройствами, формирующими унифицированный сигнал, образуют группу устройств получения измерительной информации. В связи с

большими разнообразиями контролируемых и измеряемых параметров, а также конструктивных исполнений измерительных устройств номенклатура средств этой группы является самой многочисленной.

Во вторую группу входят различные преобразователи сигналов и кодов, коммутаторы измерительных цепей, шифраторы и дешифраторы, согласовательные устройства, а также устройства дистанционной передачи, телеизмерения, телесигнализации и телеуправления.

В третью группу устройств, называемую центральной частью ГСП, входят технические средства, предназначенные для формальной и содержательной обработки измерительной информации и формирования управляющих воздействий: анализаторы сигналов, функциональные и операционные преобразователя, логические устройства, запоминающие устройства, автоматические регуляторы, задатчики всех типов, а также управляющее вычислительные машины и устройства, в том числе микропроцессоры, микро- и мини-ЭВМ и др. В функциональном отношении эта группа устройств является самой сложной, поскольку они реализуют все алгоритмы автоматического регулирования управления: от простейших задач стабилизации до автоматизации управления предприятиями или даже целыми отраслями.



Рис. 2.4. Функциональная схема ГСП

Устройства четвертой группы (исполнительные устройства) — это электрические, пневматические, гидравлические или комбинированные исполнительные механизмы (ИМ), усилители мощности, позиционеры и некоторые вспомогательные устройства к ним, а также различные регулирующие органы, которые могут в ряде случаев быть составной частью основного технологического оборудования.

Дальнейшим развитием ГСП служат агрегатные комплексы (АК), создаваемые на основе технических средств, входящих в отдельные функциональные группы ГСП, и предназначенные для самостоятельного применения в соответствии с их спецификой.

На рис. 2.4 показана функциональная схема ГСП, которая показывает направление информационных и управляющих сигналов в системе контроля технологических параметров и автоматического управления ***объектом управления***. В зависимости от уровня автоматизации производства, под объектом управления понимается отдельный аппарат, агрегат, технологический участок, технологическая линия или цех. На современном уровне развития техники полностью автоматизированных заводов не существует.

2.3. СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ПОКАЗАНИЙ

Общие сведения. Системы дистанционной передачи показаний (СДПП) предназначены для восприятия величины технологического параметра и преобразования его в другую физическую величину с помощью первичного преобразователя (ПП), передачи на расстояние с помощью линии связи (ЛС) и восприятия в виде визуальной информации на ИП.

Используются СДПП также для передачи на расстояние преобразованных значений технологических параметров для управления технологическими процессами. В этом случае сигналы воспринимаются не ИП, а регулирующими устройствами. В зависимости от используемой энергии СДПП подразделяются на электрические (омические, дифференциально-трансформаторные, ферродинамические) и пневматические. Используются также сельсинные, гидравлические, радио и телевизионные, оптоволоконные и др. В пищевой промышленности эти виды связи практически не применяются.

Омические СДПП. Этот вид СДПП (рис. 2.5) предназначен для контроля на расстоянии технологических параметров, преобразованных в изменение электрического сопротивления. СДПП состоит из первичного преобразователя ПП, 3-проводной линии связи ЛС и измерительного прибора ИП. ПП представляет собой реохорд $R_{пп}$, движок которого механически связан с датчиком технологического параметра (ДТП). ИП имеет также реохорд $R_{ип}$, который электрически вместе с $R_{пп}$ образует уравновешенную мостовую схему с плечами AC, CB, BD и DA. Уравнение равновесия мостовой схемы:

$$r_1 r_4 = r_2 r_3,$$

где $r_1, \ldots, r_4$ — текущие значения сопротивлений $R_{пп}$ и $R_{ип}$.

Диагональ питания CD и измерительная диагональ AB подключены на вход электронного усилителя ЭУ.

Выход ЭУ соединен с реверсивным двигателем РД, вал которого механически связан с движком $R_{ип}$ и показывающей стрелкой отсчетного устройства. При изменении значения контролируемого параметра смещается движок $R_{пп}$, что приводит к изменению сопротивлений r_1 и r_2. При этом нарушается уравнение равновесия схемы. В измерительной диагонали появляется электрический сигнал, который через ЭУ поступает на РД. Его вал начинает вращаться, перемещая показывающую стрелку и изменяя положение движка $R_{ип}$. При этом будут изменяться сопротивления r_3 и r_4. Двигатель будет работать до тех пор, пока равновесие не восстановится, а после окончания его работы стрелка покажет новое значение технологического параметра. Загрязнение поверхности обмотки $R_{пп}$ и истирание ее движком приводит к изменению сопротивления $R_{пп}$, что нарушает точность измерений. Кроме того, при работе может произойти отрыв движка от обмотки преобразователя. В связи с этим область применения омических СДПП достаточно ограничена.

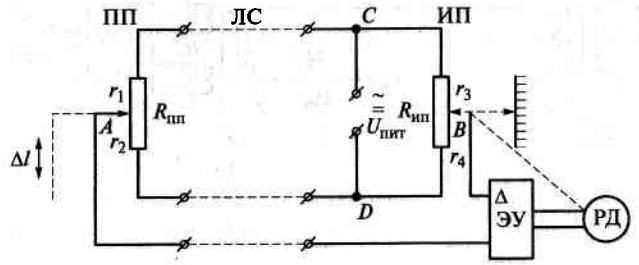


Рис. 2.5. Омическая система преобразования и передачи данных

Дифференциально-трансформаторная СДПП. Предназначена для измерения технологических параметров, преобразованных в линейное перемещение.

Измерительная схема дифференциально-трансформаторной СДПП (рис. 2.6) состоит из первичного преобразователя ПП, 4-проводной линии связи ЛС и измерительного прибора ИП. ПП состоит из сердечника *1*, который штоком *7* соединен с датчиком технологического параметра. При его изменении сердечник перемещается в вертикальном направлении на величину Δl. Сердечник находится между питающей индукционной обмоткой L_1 и вторичной, измерительной L_2. Вторичная обмотка состоит из двух секций, включенных в противофазе. В секциях индуцируются ЭДС e_1 и e_2. Суммарное напряжение

$$\Delta U_1 = e_1 - e_2.$$

ИП имеет сердечник *2*, который штоком *3* через толкатель *5* опирается на профильный кулачок *6*. Ось кулачка связана с валом реверсивного двигателя РД. Вал РД соединен также с показывающей стрелкой *4*. Сердечник находится между питающей L_3 и измерительной L_4 обмотками. Сердечник и обмотки идентичны тем же элементам ПП. В секциях обмотки L_4 индуцируются ЭДС e_3 и e_4. Суммарное напряжение

$$\Delta U_2 = e_3 - e_4.$$

Общее напряжение, снимаемое с обмоток L_2 и L_4,

$$\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2.$$

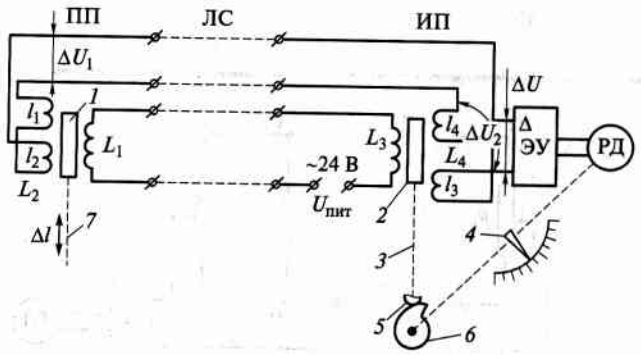


Рис. 2.6. Дифференциально-трансформаторная система преобразования и передачи данных

Если сердечники *1* и *2* находятся в одинаковых положениях между своими обмотками, то ЭДС, индуцируемые в секциях обмоток попарно равны, т. е.

$$e_1 = e_3,\ e_2 = e_4.$$

В этом случае суммарные напряжения, снимаемые с обмоток, также равны: $\Delta U_1 = \Delta U_2$, и сигнал, поступающий на ЭУ, $\Delta U = 0$. Вал РД будет неподвижен.

При изменении величины технологического параметра происходит перемещение сердечника *7*. При этом изменяются величины e_1 и e_2 и нарушается равенство: $e_1 \neq e_3$, $e_2 \neq e_4$. Выходные сигналы с обмоток также становятся не равны друг другу: $\Delta U_1 \neq \Delta U_2$, и возникает разностный сигнал $\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2$. Этот сигнал через ЭУ поступает на РД. Его вал начинает вращаться, перемещая показывающую стрелку *4* и вращая кулачок *6*. При этом происходит перемещение сердечника *2*. РД будет работать до тех пор, пока сердечник *2* не займет такое же положение, как сердечник *7*. В этом случае равновесие схемы восстановится.

Ферродинамическая СДПП. Этот вид СДПП предназначен для измерения технологических параметров, преобразованных в угловое перемещение. Схема СДПП показана на рис. 2.7. Первичный преобразователь ПП соединен 4-проводной линией связи ЛС с измерительным прибором ИП. ПП состоит из цилиндрического сердечника *6*, помещенного внутри проволочной рамки *1*, которая может поворачиваться вокруг оси и штоком *5* соединена с датчиком технологического параметра. Рядом с рамкой и сердечником находится питающая индукционная обмотка L_1, от которой в рамке *1* наводится ЭДС e_1, значение которой зависит от угла ее поворота φ_1. ИП имеет такой же сердечник *3*, помещенный внутри проволочной рамки *2*. Рамка механически связана с валом РД и поворачивается вокруг своей оси при вращении вала РД. Рядом с сердечником и рамкой находится обмотка питания L_2, от которой в рамке наводится ЭДС e_2, значение которой зависит от угла поворота φ_2. Обе рамки *1* и *2* подключены на вход электронного усилителя ЭУ. Сигнал, подаваемый на вход ЭУ, $\Delta U = e_1 - e_2$. Если углы поворота рамок одинаковы ($\varphi_1 = \varphi_2$), то и ЭДС, индуцируемые в рамках, также одинаковы ($e_1 = e_2$). Тогда сигнал, поступающий на ЭУ, равен нулю, т. е. $\Delta U = 0$, и вал РД будет неподвижен.

При изменении величины технологического параметра шток *5* поворачивает рамку *1*, изменяя угол φ_1. Это вызывает изменение величины e_1 и возникновение разностного сигнала $\Delta U = e_1 - e_2$. Он поступает на ЭУ и далее на РД. Его вал начинает поворачиваться,

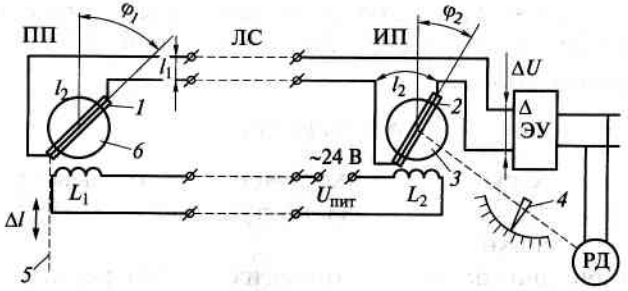


Рис. 2.7. Ферродинамическая система преобразования и передачи данных

перемещая стрелку *4* и поворачивая рамку *2* до тех пор, пока не восстановится равенство $\varphi_1 = \varphi_2$. В этом случае вновь $e_1 = e_2$, $\Delta U = 0$ и работа двигателя прекратится.

Достоинством двух последних СДПП по сравнению с омической является отсутствие механических контактов в преобразователях ПП и ИП.

Пневматическая СДПП. Этот вид СДПП в качестве полезных сигналов использует давление сжатого воздуха в диапазоне p_c = 0,02...0,1 МПа, а питанием служит сжатый воздух давлением $p_п$ = 0,14 МПа.

Наиболее широко в пневматических СДПП используются преобразователи силовой компенсации. Схема такой СДПП изображена на рис. 2.8. Контролируемый параметр преобразуется в первичном преобразователе в перемещение Δl тяги *1*. В результате на ней

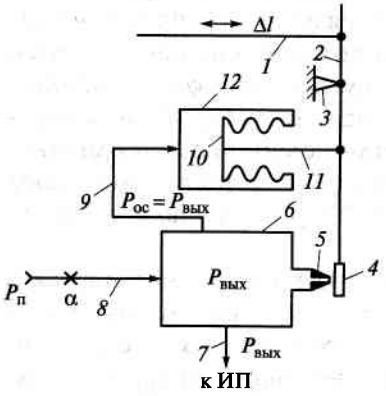


Рис. 2.8. Пневматическая система преобразования и передачи данных

возникает усилие F, воздействующее на рычаг *2*. Например, при увеличении технологического параметра тяга перемещается вправо, что приводит к повороту рычаг *2* вокруг опоры *3* по часовой стрелке. Закрепленная на конце рычага заслонка *4* приближается к соплу *5*, уменьшая сброс воздуха через него в атмосферу из камеры *6*. В камеру поступает воздух давлением питания через пневмосопротивление α. Оно снижает давление до максимально возможного для полезного сигнала — 1 кг/см^2. При уменьшении сброса воздуха увеличивается давление в камере *6*, которое в качестве выходного давления $p_{вых}$ поступает по пневмоприводу *7* к измерительному прибору ИП. Одновременно в качестве сигнала обратной связи $P_{ос}$ давление поступает по пневмоприводу *9* в камеру *12*. В ней установлен сильфон *10*. Под действием усилия давления $P_{ос}$ он сжимается. Это усилие через шток *11* передается рычагу *2* стремясь повернуть его против часовой стрелки.

Когда усилие сильфона уравновесит усилие тяги *1*, перемещение рычага *2* прекратится и на выходе из камеры *6* будет сформирован сигнал $P_{вых}$, пропорциональный величине контролируемого параметра.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В момент измерения технологического параметра проходит ток по измерительной диагонали мостовой уравновешенной схемы, или нет? **2.** Могут ли к мостовым измерительным схемам подключаться ИП, измеряющие электрическое сопротивление? **3.** В чем схожесть использования реохорда в мостовых и потенциометрических ИС? **4.** В чем преимущество дифференциальных ИС по сравнению с мостовыми и потенциометрическими ИС? **5.** Назовите цели, которые решаются с применением ГСП. **6.** Какая группа устройств ГСП является наболее многочисленной и почему? **7.** Каково назначение реверсивного двигателя (РД) в СДПП? **8.** В чем недостаток омической СДПП? **9.** Можно ли использовать дифференциально-трансформаторную и ферродинамическую СДПП для измерения технологических параметров, преобразованных в изменение электрического сопротивления? **10.** В чем преимущество дифференциально-трансформаторной и ферродинамической СДПП по сравнению с омической СДПП?

Глава 3

ПОКАЗЫВАЮЩИЕ И РЕГИСТРИРУЮЩИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

3.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Измерительные приборы (ИП) предназначены для преобразования контролируемых технологических параметров в визуальную информацию. Широко применяется термин вместо «измерительные приборы» — «вторичные преобразователи» (в отличие от первичных преобразователей — датчиков).

В зависимости от формы предоставления информации эти измерительные приборы подразделяются на аналоговые (стрелочные и самопищущие) и цифровые, а по виду используемой энергии — на электрические и пневматические.

На рис. 3.1 представлен внешний вид показывающих и самопищущих приборов ***электрической аналоговой ветви*** ГСП. На рис. 3.1, *а* показаны логометры и милливольтметры, стрелочные приборы прямого преобразования. Выпускаются приборы и с циферблатной шкалой. Класс точности 1,5. Остальные приборы на рис. 3.1 являются приборами следящего уравновешивания (компенсационными).

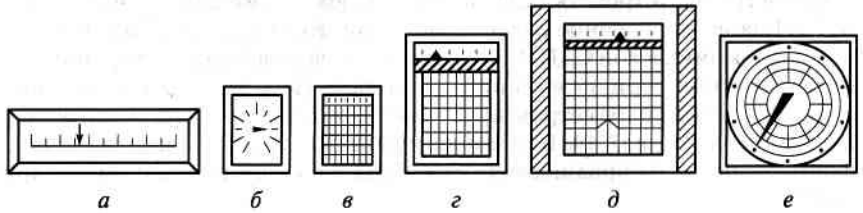


Рис. 3.1. Аналоговые приборы электрической ветви ГСП:

а — логометры и милливольтметры с профильной шкалой; *б* — стрелочные показывающие КП-1; *в* — самопищущие ленточные, миниатюрные КС-1; *г* — самопищущие, ленточные, малогабаритные КС-2; *д* — самопищущие, ленточные, обычного габарита КС-4; *е* — самопищущие, на дисковой диаграмме КС-3 (ДИСК-250)

На рис. 3.1, *б, в* представлены показывающие и самопищущие (с записью на ленточной диаграмме) приборы серии КП-1 и КС-1. Они относятся к группе миниатюрных приборов класса точности 1. Могут быть снабжены дополнительными контактными устройствами.

На рис. 3.1, *г* показан малогабаритный, самопишущий прибор с записью на ленточной диаграмме, серии КС-2. В эти приборы могут быть встроены контактные устройства, устройства дистанционного преобразования сигнала, а также электронные регулирующие устройства.

Прибор, показанный на рис. 3.1, *д*, относится к приборам так называемого нормального габарита серии КС-4. Они имеют наивысший класс точности измерений 0,25. Дополнительные устройства к ним те же, что и у приборов серии КС-2.

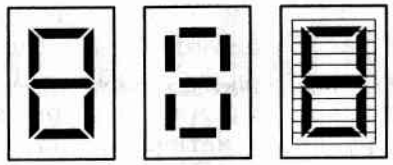
На рис. 3.1, *е* показан прибор серии КС-3 с дисковой диаграммой. Более современными являются приборы «Диск-250». Они снабжены всеми дополнительными устройствами указанными ранее и, кроме того, могут снабжаться пневматическими регулирующими устройствами. Класс точности этих приборов 0,5.

Из современных измерительных приборов наиболее совершенны ***цифровые измерительные приборы*** (ЦИП). Внешне они схожи с логометрами и милливольтметрами только вместо стрелочного ОУ применяется световая цифровая индикация. Достоинствами этих приборов являются: высокая точность, удобство и объективность отсчета, малая инерционность. К недостаткам можно отнести низкую ремонтопригодность и относительно высокую стоимость. Тем не менее применение микропроцессорной техники, микроэлектроники в виде ЧИПов — мельчайших носителей информации, нанотехнологий в перспективе представляют цифровым приборам безусловное преимущество перед другими. Однако следует отметить, что принцип действия измерительных схем приборов вряд ли изменится, за исключением их миниатюризации.

Электролюминесцентные индикаторы (рис. 3.2, *а*) представляют собой плоскостное изображение цифры 8, разбитой на ряд соответствующих сегментов. При подаче напряжения на их определенную группу высвечивается любая цифра от 0 до 9.

Индикаторы на жидких кристаллах имеют подобную конструкцию сегментов для формирования соответствующих цифр (рис. 3.2, *б*).

Достоинствами являются малое напряжение для зажигания цифр (1 ... 1,5 В) и малое потребление электроэнергии.



а *б* *в*

Рис. 3.2. Общий вид индикаторов в цифровых измерительных приборах:

а — электролюминисцентный; *б* — на жидких кристаллах; *в* — вакуумные, накальные

Вакуумные накальные индикаторы (рис. 3.2, *в*) имеют внутри стеклянного баллона сегменты, подобно осветительным лампам накаливания. При изменении напряжения в пределах 2,5...6 В можно изменять яркость цифрового индикатора.

Цифровые измерительные приборы имеют ряд существенных преимуществ перед аналоговыми измерительными приборами: более высокую точность, возможность затемнения, передачи и ввода в ЭВМ результатов измерения. Однако ЦИП имеют относительно высокую стоимость, сложны по конструкции и малоремонтопригодны. В некоторых случаях для оператора, информация с аналоговых приборов воспринимается легче, чем с ЦИП. В связи со сложностью принципиальных схем ЦИП они далее рассматриваться не будут.

Внешний вид измерительного прибора ***пневматической ветви*** ГСП модификации ПВ представлен на рис. 3.3. Приборы могут быть снабжены сигнализирующими устройствами для контроля двух или трех параметров. Входной пневматический сигнал изменяется в пределах 0,02...0,1 МПа. Класс точности приборов 1. Питание сжатым воздухом давлением 0,14 МПа.

В группу показывающих и регистрирующих измерительных приборов входят:

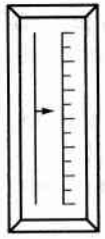


Рис. 3.3. Показывающий прибор пневматической ветви ГСП типа ПВ

- приборы для измерения электрического сопротивления. Эти приборы предназначены для измерения технологических параметров, которые с помощью датчиков технологических параметров, были преобразованы в изменение электрического сопротивления. К ним относятся логометры и автоматические уравновешенные мосты (не следует путать с мостовой уравновешенной схемой);
- приборы для измерения электрического напряжения постоянного тока. Они измеряют технологические параметры, но преобразованные датчиками в напряжение постоянного тока (ЭДС). К ним относятся милливольтмеры и потенциометры;
- приборы для измерения силы постоянного тока (миллиамперметры);
- дифференциально-трансформаторные и ферродинамические приборы. Принцип действия этих приборов рассмотрен ранее (см. гл. 2) при описании дифференциально-трансформаторной и ферродинамической СДПП. Приборы дифференциально-трансформаторной схемы выпускаются модификаций КП-1, КС-1, КС-2, КС-3 («Диск-250»). Ферродинамические приборы серии КС выпускались в модификации КС-3, в настоящее время сняты с производства, но встречаются в системах контроля на предприятиях;
- показывающий прибор пневматической ветви ГСП типа ПВ.

3.2. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Логометры. Представляют собой приборы прямого преобразования. Измерительная схема прибора (рис. 3.4) состоит из круглого, цилиндрического сердечника *4*, находящегося между полюсами *2* постоянного магнита. Торцы полюсов магнита имеют овальную форму, поэтому зазор *1* между сердечником и полюсами минимальный в середине и увеличивается к краям полюсов. Сердечник помещен внутри проволочных рамок *3*, жестко скрепленных между собой, показывающей стрелкой *1* и подвешенных на оси на эластичных растяжках, не создающих сопротивления повороту рамок со стрелкой.

Сопротивления рамок r_1 и r_2 вместе с постоянным сопротивлением R_1 и измеряемым R_x образуют мостовую неуравновешенную

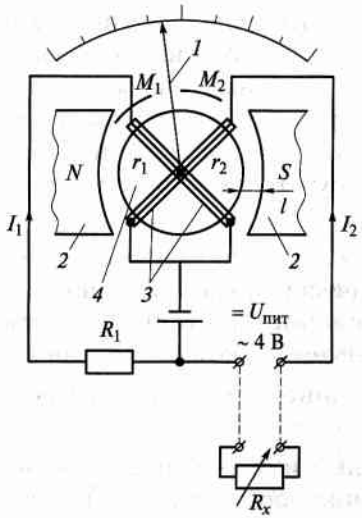


Рис. 3.4. Принципиальная измерительная схема логометра

схему. Питание ее осуществляется от источника питания $U_{пит}$ напряжением постоянного тока 4 В. Взаимодействуя с полем постоянного магнита, силы токов I_1 и I_2 образуют вращающие моменты M_1 и M_2, действующие на рамки в противоположных направлениях, так как токи текут встречно. Значения моментов зависят от силы токов и магнитной индукции B в зазоре между сердечником и полюсами магнита: $M = f(B, I)$. В свою очередь магнитная индукция обратно пропорциональна зазору $B = f(1/l)$, а сила тока по закону Ома обратно пропорциональна величине сопротивления $I = f(1/R)$. Если моменты равны между собой, т. е. $M_1 = M_2$, то рамки со стрелкой будут неподвижны.

Пусть, например, сопротивление R_x увеличится. Это вызовет уменьшение силы тока I_2 и момента M_2, а так как момент M_1 не изменился, рамки со стрелкой будут поворачиваться по часовой стрелке, показывая увеличение измеряемого параметра. При повороте рамка r_2 будет входить в область, где зазор l меньше, а индукция B больше, что вызовет увеличение момента M_2. Рамка r_1 будет выходить в область, где зазор больше, а индукция B меньше, и момент M_1 будет уменьшаться. Когда равенство моментов $M_1 = M_2$ восстановится, поворот рамок со стрелкой прекратится и прибор покажет новое значение контролируемого параметра.

Логометры выпускаются в виде показывающих приборов и с дополнительными устройствами для сигнализации или позиционного регулирования.

Автоматические уравновешенные мосты. Автоматические уравновешенные мосты являются приборами следящего (компенсирующего) уравновешивания. Принципиальная схема прибора изображена на рис. 3.5. Она состоит из измерительной мостовой уравновешенной схемы с плечами AC, CB, BD и DA. Они образованы постоянными сопротивлениями R_1, R_2 и R_3, измеряемым сопротивлением R_x и частями сопротивления реохорда $R_р$ — r_1 и r_2. В диагональ питания CD включено сопротивление R_4, ограничивающее силу тока питания. Измерительная диагональ AB подключена на вход электронного усилителя ЭУ, выход которого связан с обмоткой управления реверсивного двигателя РД. Если выполняется условие равновесия мостовой схемы

$$(r_1 + R_1)R_3 = (r_2 + R_2)R_x,$$

то входной сигнал на ЭУ равен нулю, т. е. $U_{вх} = 0$, и вал РД будет неподвижен. При изменении сопротивления R_x уравнение равновесия нарушается.

На входе ЭУ появляется сигнал разбаланса $U_{вх}$, который дальше передается на РД. Его вал начинает перемещать показывающую стрелку и движок реохорда $R_р$. При этом будут изменяться значения r_1 и r_2. Двигатель будет работать до тех пор, пока уравнение рав-

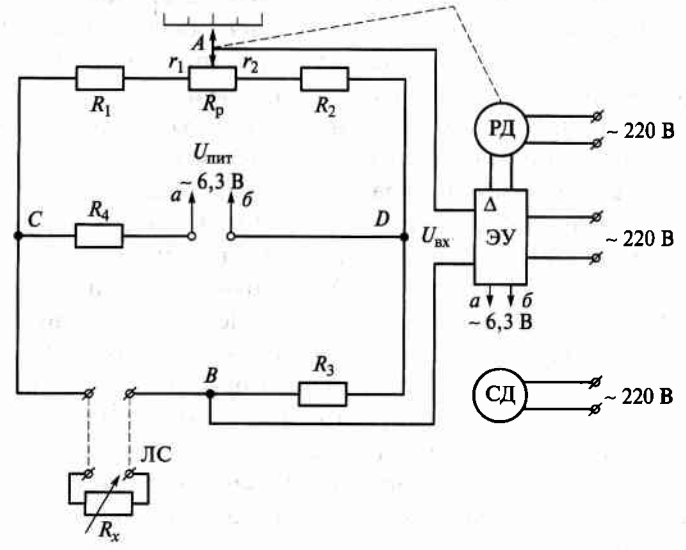


Рис. 3.5. Принципиальная измерительная схема автоматического электронного моста

новесия мостовой схемы не восстановится. При остановке РД стрелка покажет новое значение контролируемого параметра.

Автоматические мосты выпускаются в виде показывающих и самопишущих приборов. Запись может производиться на ленточной или дисковой диаграмме. Самопишущие приборы имеют синхронный двигатель (СД) для привода механизма перемещения диаграммы. Кроме того, автоматические мосты могут иметь дополнительные устройства в виде контактных устройств (для сигнализации и позиционного регулирования), устройств дистанционной передачи сигнала на расстояние и встроенных функциональных регуляторов.

3.3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

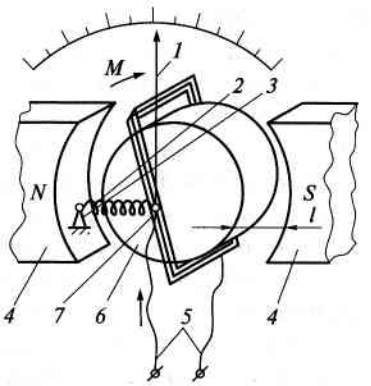
Милливольтметры. Измерительная схема милливольтметра показана на рис. 3.6. Она состоит из круглого цилиндрического сердечника *6*, помещенного между полюсами постоянного магнита *4*. Торцы полюсов образуют правильную окружность, поэтому зазор *l* между сердечником и полюсами постоянен, и магнитная индукция *B* в зазоре также постоянна. Сердечник помещен внутри проволочной рамки *7*, которая жестко скреплена с показывающей стрелкой *1* и подвешена на опорах *3* с помощью упругих пружинных растяжек *2*. Проводами *5* рамка соединена с источником измеряемой ЭДС E_x.

От источника E_x по проводам и рамке проходит ток I, при взаимодействии которого с магнитным полем возникает вращающий момент M, действующий на рамку. Момент пропорционален силе тока I и магнитной индукции B, т. е. $M = f(B, I)$. Так как индукция постоянна (B = const), то вращающий момент M определяется только силой тока $M = f(I)$. По закону Ома сила тока пропорциональна ЭДС, $I = f(E)$. Следовательно, вращающий момент M, действующий на рамку со стрелкой, определяется значением измеряемой ЭДС E_x. При вращении рамки происходит закручивание упругих пружинных растяжек *2*. Когда усилие их упругой деформации уравновесит усилие вращающего момента M, поворот рамки со стрелкой прекратится и прибор покажет новое значение контролируемого параметра.

По своим техническим характеристикам милливольтметры аналогичны логометрам.

Автоматические потенциометры. Так же, как и автоматические мосты, потенциометры являются приборами следящего (компенси-

Рис. 3.6. Принципиальная измерительная схема милливольтметра



рующего) уравновешивания. Принципиальная схема автоматического электронного потенциометра показана на рис. 3.7. Измерительная схема потенциометра представляет собой уравновешенную мостовую схему, плечи которой *AC*, *CB*, *BD* и *DA* образованы частями сопротивления реохорда $R_р$ (r_1 и r_2) и постоянными сопротивлениями R_1, R_2, R_3 и R_4. Диагональ питания — *CD*, измерительная — *AB*. По срав-

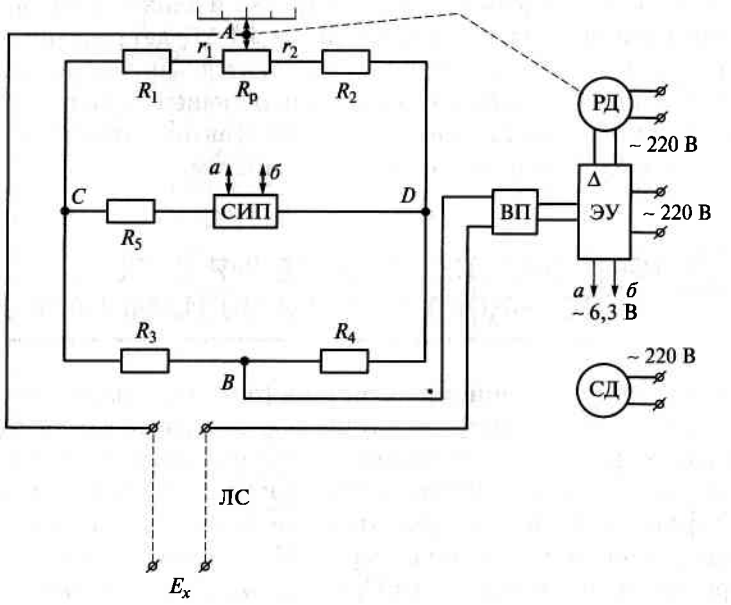


Рис. 3.7. Принципиальная измерительная схема электронного потенциометра

нению с автоматическими мостами, потенциометры имеют следующие принципиальные отличия:

так как они предназначены для измерения ЭДС E_x постоянного тока, то и схема питается от стабилизированного источника питания СИП постоянного тока;

в связи с тем, что в потенциометрах применяется электронный усилитель ЭУ и реверсивный двигатель РД, работающие на переменном токе, измерительная диагональ подключается к ЭУ через вибропреобразователь ВП (преобразователь постоянного тока в переменный);

датчик (источник измеряемой ЭДС E_x) включается не в плечо мостовой схемы, а в измерительную диагональ.

Последнее отличие является принципиальным. Уравнение равновесия мостовой схемы имеет вид: $(r_1 + R_1)R_4 = (r_2 + R_2)R_3$. Однако в момент отсчета контролируемой величины (сигнал на ЭУ равен нулю и РД не работает) должно выполняться следующее условие: падение напряжения в точках A и B измерительной диагонали U_{AB} должно быть равно измеряемой ЭДС E_x с противоположным знаком $U_{AB} = -E_x$ (в автоматических мостах в это время $U_{AB} = 0$).

Если равенство $U_{AB} = -E_x$ не соблюдается, то разностный сигнал $\Delta U = U_{AB} - E_x$ поступает на вход ЭУ и далее на РД. Его вал начинает вращаться, перемещая показывающую стрелку и движок реохорда R_p. При этом будет изменяться напряжение U_{AB}. РД будет работать до тех пор, пока равенство $U_{AB} = -E_x$ не восстановится. Синхронный двигатель СД служит для привода механизма перемещения диаграммы.

По своим техническим характеристикам автоматические потенциометры аналогичны автоматическим мостам.

3.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА (МИЛЛИАМПЕРМЕТРЫ)

По устройству и принципу действия (рис. 3.8) миллиамперметры схожи с потенциометрами. Датчик технологического параметра, преобразующий его физическую величину в изменение силы тока I_x, также подключается в измерительную диагональ AB, но через эталонное сопротивление $R_э$. В результате на его концах возникает напряжение $U_э$ пропорциональное измеряемой силе тока: $U_э \approx I_x$.

При соблюдении равенства $U_э = U_{AB}$ сигнал на ЭУ будет равен нулю, и вал РД будет неподвижен. При изменении технологического параметра изменяются величины I_x и $U_э$. Возникает сигнал разбаланса $\Delta U = U_э - U_{AB}$, который через вибропреобразователь ВП и электронный усилитель ЭУ поступает в обмотку управления реверсивного двигателя РД. Его вал начинает вращаться, перемещая показывающую стрелку и движок реохорда R_p. При этом изменяются сопротивления r_1 и r_2 и падение напряжения в точках A и B — U_{AB}. Когда возникает равенство $U_э = -U_{AB}$, сигнал на ЭУ ΔU станет равным нулю, и работа РД прекратится.

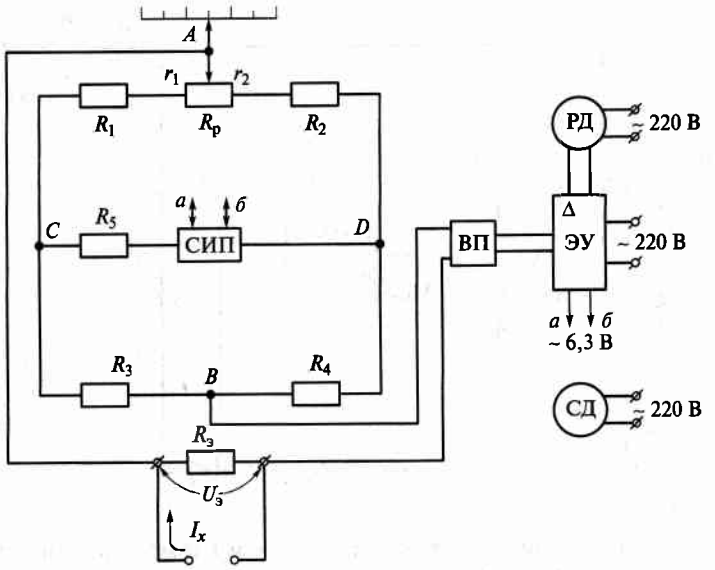


Рис. 3.8. Принципиальная измерительная схема электронного милливольметра

Также как в автоматических мостах и потенциометрах СД служит для привода механизма перемещения диаграммы. Автоматические потенциометры выпускались в виде приборов КС(КП)-1, КС-2, КС-3 и КС-4.

3.5. ПОКАЗЫВАЮЩИЙ ПРИБОР ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ВЕТВИ ГСП ТИПА ПВ

Схема прибора изображена на рис. 3.9. Контролируемый параметр, преобразованный в давление $P_{вх}$, поступает в сильфон *7*. При его увеличении сильфон растягивается и через шток *8* усилие передается рычагу *12*, поворачивая его вокруг опоры *9* против часо-

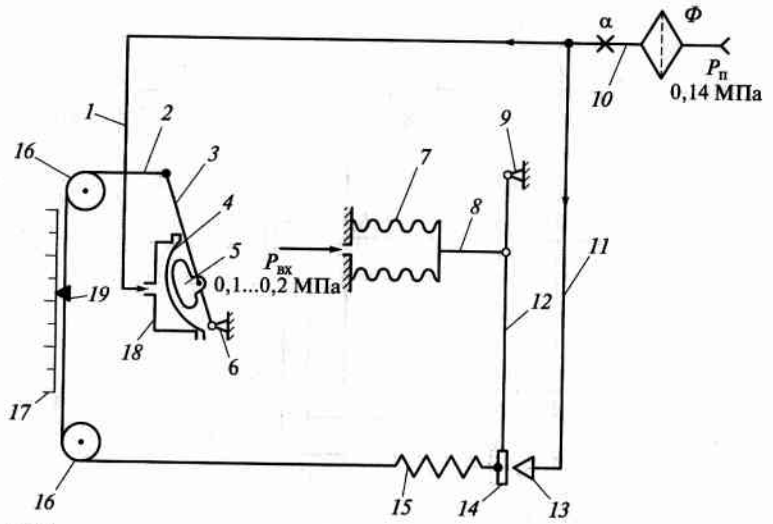


Рис. 3.9. Принципиальная измерительная схема пневматического измерительного прибора типа ПВ

вой стрелки. На конце рычага закреплена заслонка *14*, которая приближается к соплу *13*, уменьшая сброс воздуха из него в атмосферу. Сжатый воздух давлением 0,14 МПа подается в сопло по пневмопроводу *10* через фильтр *Ф* и пневмосопротивление α. При уменьшении сброса воздуха через сопло *13* возрастает давление в пневмопроводах *11* и *1*. По пневмопроводу *1* это давление поступает в коробку *18*, воздействуя на резиновую мембрану *4*. Через толкатель *5* усилие мембраны передается рычагу *3*, поворачивая его вокруг опоры *6* по часовой стрелке. К концу рычага подсоединена лавсановая нить *2*, перекинутая через блоки *16* и через пружину *15*, соединенную с заслонкой *14*. На нити закреплена показывающая стрелка *19*, передвигающаяся по шкале *17*. При повороте рычага *3* нить движется за ним, перемещая показывающую стрелку по шкале и растягивая пружину *15*, стремясь повернуть рычаг *12* по часовой стрелке. Когда усилие пружины уравновесит усилие сильфона *7* на рычаге, его поворот прекратится и стрелка *19* покажет новое значение контролируемого параметра.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие из измерительных приборов электрической ветви ГСП относятся к приборам прямого преобразования, а какие — следящего уравновешивания? **2.** За счет чего прекращается поворот стрелки в логометре и в милливольтметре при отсчете контролируемого параметра? **3.** Какие из измерительных приборов предназначены для измерения технологических параметров преобразованных в механическое перемещение? **4.** Какой элемент измерительной схемы в приборах следящего уравновешивания предназначен для уравновешивания схемы? **5.** Чему равно падение напряжения в измерительной диагонали мостовой схемы в автоматическом мосте, потенциометре и миллиамперметре? **6.** Для чего служит вибропреобразователь в автоматических потенциометрах? **7.** В каких приборах датчик включается в плечо мостовой схемы, а в каких в измерительную диагональ? **8.** Каково назначение реверсивного двигателя (РД) и синхронного (СД) в самопишущих приборах? **9.** Для чего служит пружина, соединенная с заслонкой, в пневматическом приборе?

Глава 4

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ (ВАКУУМА)

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Давлением p называется сила F, действующая на единицу площади S, расположенную перпендикулярно к направлению силы:

$$p = \frac{F}{S}.$$

В системе СИ единицей силы является Ньютон (Н), а единицей площади — м^2. Таким образом, единицей давления в системе СИ является Н/м^2, называемая Паскалем — Па (1 Па = 1 Н/м^2 = 1 гс/см^2). В технике широко применяется внесистемная единица давления — техническая атмосфера (ат):

1 ат = 98 100 Па.

Давление в замкнутом сосуде называется ***абсолютным*** ($p_{аб}$). Если абсолютное давление больше атмосферного $p_{атм}$ (не путать с единицей давления), то их разность называется ***избыточным (манометрическим) давлением*** $p_{изб}$:

$$p_{аб} - p_{атм} = p_{изб}.$$

Если абсолютное давление меньше атмосферного, то разность атмосферного и абсолютного давления называется ***вакуумом*** ($p_{вак}$):

$$p_{атм} - p_{абс} = p_{вак}.$$

Приборы для измерения давления (вакуума) подразделяются:
на манометры для измерения избыточного давления;
вакуумметры для измерения вакуума;
мановакуумметры для измерения избыточного давления и вакуума («0» находится посередине шкалы);

дифференциальные манометры для измерения разницы давлений (вакуума) в двух сосудах;
напоромеры — для измерения малых избыточных давлений (до 0,2 ат);
тягомеры — для измерения малых вакуумов (до 0,2 ат);
тягонапоромеры — измеряют малые вакуумы и избыточные давления (–0,2...+0,2 ат);
барометры — для измерения атмосферного давления.

По принципу действия в пищевой промышленности наиболее широко распространены:

жидкостные приборы, принцип действия которых основан на уравновешении усилия давления измеряемой среды силой давления рабочей жидкости. В качестве рабочей жидкости используют этиловый спирт, трансформаторное масло и ртуть;

приборы с упругими чувствительными элементами (деформационные).

4.2. ЖИДКОСТНЫЕ ПРИБОРЫ

U-образный манометр. На рис. 4.1 приведена схема простейшего жидкостного прибора U-образного манометра, представляющего собой изогнутую стеклянную трубку, закрепленную на вертикальном основании с линейной шкалой и заполненную рабочей жидкостью. На рис. 4.1, *а* показан принцип измерения U-образным

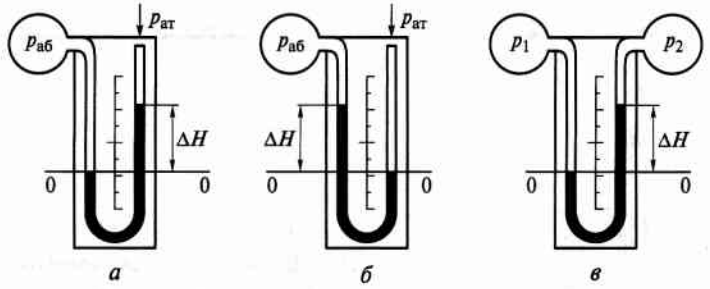


Рис. 4.1. U-образный манометр:
в — для измерения избыточного давления; *б* — для измерения вакуума; *в* — для измерения перепада давлений

манометром. Относительно поверхности равного давления ОО можно составить уравнение:

$$p_{аб} = p_{ат}\rho g\Delta H,$$

где ρ — плотность рабочей жидкости, кг/м^3; g — ускорение свободного падения (9,81 м/с^2); ΔH — разница уровней в коленах прибора, м.

В результате получаем:

$$p_{аб} - p_{ат} = \rho g\Delta H.$$

Но $p_{аб} - p_{атм} = p_{изб}$, тогда при постоянных величинах ρ (не изменяется температура) и g выводится зависимость

$$p_{изб} = K\Delta H,$$

где K — постоянная данного прибора.

То есть по разнице уровней в коленях прибора можно судить об измеряемом избыточном давлении.

На рис. 4,1 *б* показан принцип измерения U-образным манометром вакуума. Можно составить уравнения:

$$p_{ат} = p_{аб} + \rho g\Delta H;\ p_{вак} = K\Delta H.$$

На рис. 4.1, *в* прибор используется как дифференциальный манометр, при условии $p_1 > p_2$:

$$p_1 = p_2 + \rho gH;\ p_1 - p_2 = \rho gH;\ \Delta p = K\Delta H.$$

Приборы подобного типа используются в лабораторных условиях.

Поплавковый манометр. Принципиальная схема поплавкового бесканального преобразователя давления приведена на рис. 4.2. Он

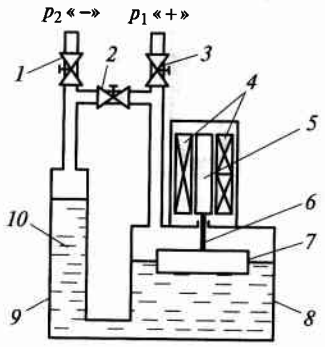


Рис. 4.2. Поплавковый манометр:

1 — «минусовый» вентиль; *2* — байпасный вентиль; *3* — «плюсовой» вентиль; *4* — индукционные обмотки; *5* — сердечник; *6* — шток; *7* — поплавок; *8* — «плюсовой» сосуд; *9* — «минусовой» сосуд; *10* — рабочая жидкость

состоит из двух металлических сообщающихся сосудов: широкого *8*, куда подается большее давление, его называют «плюсовым» и узкого *9*, куда подается меньшее давление, его называют «минусовым».

В прибор заливается рабочая жидкость *10*. На ее поверхности в «плюсовом» сосуде плавает полый металлический поплавок *7*, соединенный штоком *6*, с сердечником *5*. Сердечник находится между индукционными обмотками *4* первичного преобразователя дифференциально-трансформаторной СДПП. При изменении величин контролируемых давлений p_1 и p_2 происходит изменение уровней рабочей жидкости в сосудах *8* и *9*. Это вызывает вертикальное перемещение поплавка *7* и связанного с ним сердечника дифференциально-трансформаторного преобразователя.

Поплавковые манометры серии ДП могут измерять избыточное давление, вакуум или перепад давления в пределах 0,63... 100 кПа. Так как при монтаже приборы внутри корпуса имеют давление в обоих сосудах равное атмосферному (примерно 100 кПа), то приборы, особенно с малым диапазоном измерения, подсоединяются по определенному правилу. Сначала открывается соединительный (байпасный) вентиль *2*. Затем открывается «минусовый» *1*, а байпасный закрывается. После этого открывается «плюсовой» вентиль *3*.

Колокольный манометр. На рис. 4.3 приведена принципиальная схема колокольного манометра, используемого в виде бесшкального преобразователя давления. Он состоит из металлического корпуса *8*, в котором на упругой пружине *5* подвешен металлический колокол *7*. Края колокола погружены в затворную (рабочую) жидкость *11*. В результате в приборе образуется две рабочие камеры: пространство над колоколом *4*, куда подается большее («плюсовое») давление p_1 и пространство под колоколом *9*, куда подается по трубе *13* меньшее («минусовое») давление p_2. Штоком *6* колокол свя-

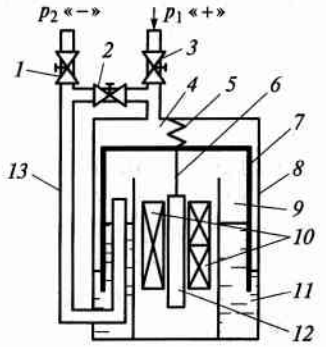


Рис. 4.3. Колокольный манометр:

1 — «минусовой» вентиль; *2* — байпасный вентиль; *3* — «плюсовой» вентиль; *4* — «плюсовая» камера; *5* — пружина; *6* — шток; *7* — колокол; *8* — корпус; *9* — «минусовая» камера; *10* — индукционные обмотки; *11* — затворная жидкость; *12* — сердечник; *13* — труба

зан с сердечником *12*, находящемся между индукционными катушками *10* дифференциально-трансформаторного преобразователя. При изменении контролируемых давлений (или их разницы) возникают вертикальные перемещения колокола и связанного с ним сердечника дифференциально-трансформаторного преобразователя.

Для подсоединения прибора к контролируемым объектам служат байпасный вентиль *2*, «плюсовой» — *3* и «минусовой» — *1*. Порядок их открытия такой же, как и в поплавковом манометре. Диапазон измерений такой же, как и в поплавковых приборах.

Жидкостные приборы описанных типов выпускаются также в виде показывающих и самопищущих приборов для местного контроля. Используются как напоромеры, тягомеры, тягонапоромеры, в зависимости от диапазона измерения.

Достоинствами жидкостных приборов контроля давления являются их высокая точность и чувствительность измерений. Однако из-за применения в них токсичных рабочих жидкостей (в основном ртути) применение этих приборов в пищевой промышленности ограничено вспомогательными производствами.

4.3. ПРИБОРЫ С УПРУГИМИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ (ДИФФЕРЕНЦИОННЫЕ)

Общие сведения. Действие приборов основано на уравновешении измеряемого давления усилием деформации упругих чувствительных элементов (УЧЭ). В результате деформации УЧЭ с помощью передаточного механизма происходит перемещение стрелочного показателя по шкале, либо перемещение устройства дистанционной передачи показаний. Эти приборы составляют наиболее распространенную группу по номенклатуре и количеству. Приборы применяются для измерения вакуумметрических, избыточных, а также разности давлений жидкости и газов.

Достоинствами приборов с УЧЭ являются простота конструкции, широкий диапазон измерения давления при высокой точности показаний хорошая ремонтопригодность. По сравнению с жидкостными приборами, при измерении небольших давлений (вакуум, перепад давлений) они имеют меньшую чувствительность и большую инерционность.

На рис. 4.4 показаны виды УЧЭ, используемых в измерительных приборах. По виду они подразделяются на три большие группы:

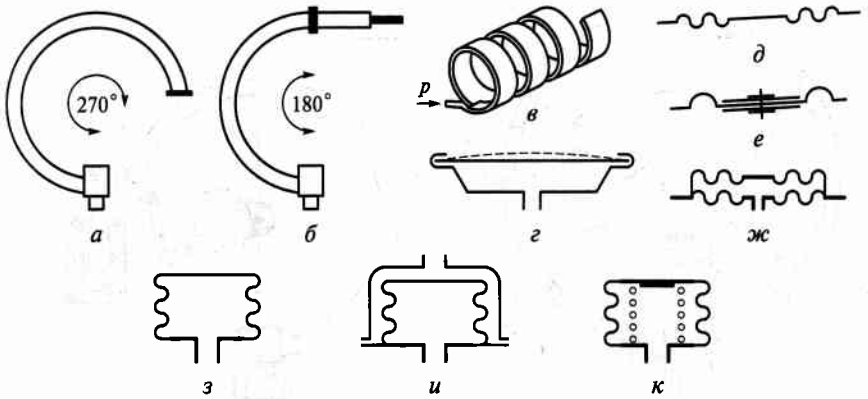


Рис. 4.4. Упругие чувствительные элементы (УЧЭ):
а, б, в — трубчатые пружины; *г, д, е* — мембраны; *ж* — мембранная коробка; *з, и, к* — сильфоны

трубчатые пружины, мембраны и сильфоны. При этом они выполняют одну функцию — преобразование измеряемой величины в перемещение.

На рис. 4.4, *а — в* представлены ***трубчатые пружины***. На рис. 4.4, *а* показана трубчатая пружина с углом закручивания до 270°, а на рис. 4.4, *б* — с углом закручивания до 180°. Первая применяется в показывающих манометрах, а вторая в приборах с передающими преобразователями. На рис. 4.4, *в* показана многовитковая, геликоидальная пружина, используемая в регистрирующих манометрах.

Мембраны по сравнению с трубчатыми пружинами имеют меньшую точность преобразования давления в перемещение центра, поэтому применяются реже. На рис. 4.4, *г* показана плоская мембрана, которая имеет незначительную жесткость и, вследствие этого, небольшое перемещение центра под воздействием измеряемого давления. Для увеличения перемещения мембраны снабжают кольцевыми гофрами (рис. 4.4, *д*) — гофрированная мембрана. Для передачи больших усилий мембраны снабжаются жестким металлическим центром (два металлических диска, расположенных по обеим сторонам мембраны в центре) (рис. 4.4, *е*). Наибольшее распространение получили мембранные коробки (рис. 4.4, *ж*), имеющие достаточно высокую чувствительность при значительном перемещении центра.

Сильфоны представляют собой тонкостенную металлическую гармошку цилиндрической формы (рис. 4.4, *з*). Измеряемое давле-

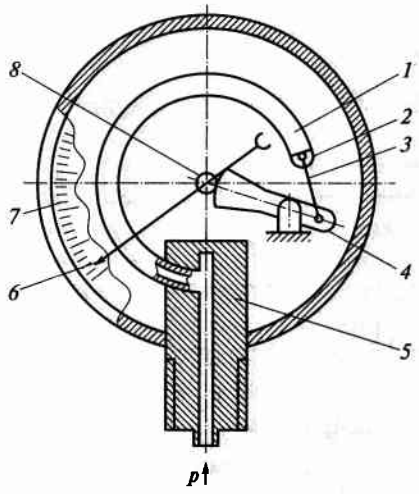


Рис. 4.5. Показывающий трубчатый манометр:

1 — одновитковая трубчатая пружина; *2* — пробка; *3* — тяга; *4* — зубчатый сектор; *5* — основание; *6* — стрелка; *7* — шкала; *8* — трубка

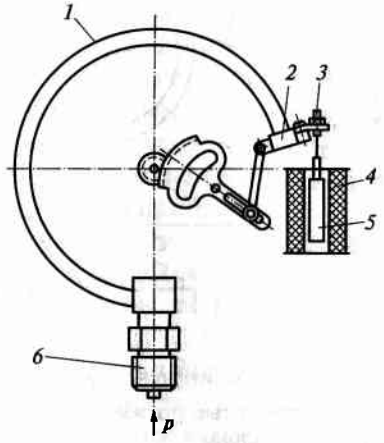


Рис. 4.6. Манометр типа МЭД:

1 — пружина; *2* — узел крепления свободного конца пружины; *3* — шток; *4* — индукционные обмотки; *5* — сердечник; *6* — штуцер с основанием

ние может подаваться внутрь сильфона или снаружи. В этом случае сильфон заключается в наружную оболочку (рис. 4.4, *и*). Для повышения жесткости (величины контролируемого параметра) применяют подпружиненные сильфоны (рис. 4.4, *к*). Сильфоны применяются для измерения давлений и разряжений в более широком диапазоне, чем мембраны, обладая также высокой чувствительностью и значительным перемещением днища.

Манометры с трубчатыми пружинами. ***Показывающий манометр*** (рис. 4.5) состоит из корпуса, в котором размещена одновинтовая трубчатая пружина *1*. С одного конца она приварена к основанию *5*, прикрепленного к корпусу манометра. Основание имеет резьбу и шестигранную головку для установки на объекте контроля. Свободный конец пружины *1* припаян к пробке *2*, шарнирно соединенной тягой *3* с зубчатым сектором *4*. При изменении давления свободный конец пружины перемещается и через тягу *3* поворачивает сектор *4*. Поворот сектора вызывает поворот трибки *8* (маленькая шестерня, используемая в измерительных приборах) вместе с показывающей стрелкой *6*. Показания отсчитываются по циферблатной шкале *7*. Аналогично устроены показывающие вакуумметры и мановакуумметры. У последних нуль отсчета установлен не в начале, а в середине шкалы.

Манометр типа МЭД представляет собой преобразователь давления в дифференциально-трансформаторный электрический сигнал (рис. 4.6). Свободный конец одновитковой трубчатой пружины *1* связан штоком *3* с сердечником *5* дифференциально-трансформаторного преобразователя, находящегося внутри индукционных обмоток *4*. Штуцер *6* служит для монтажа прибора. Измерительная система прибора для местных измерений аналогична предыдущей. Манометры типа МЭД выпускаются также в виде бесшкальных преобразователей (без показывающего устройства).

Самопишущий манометр типа МС с многовитковой пружиной показан на рис. 4.7. Измеряемое давление подводится через капиллярную трубку *6* и воздействует на пружину *2*. Один конец пружины припаян к угольнику, который крепится к корпусу прибора, другой соединен с осью *3*. При повышении измеряемого давления свободный конец пружины перемещается в направлении указанном на рис. 4.7 и вращает ось *3*. Вращение оси через закрепленный на ней рычаг *4* и тягу *5* передается рычагу *1*, жестко закрепленному на одной оси со стрелкой *9*. Таким образом, изменение давления вызы-

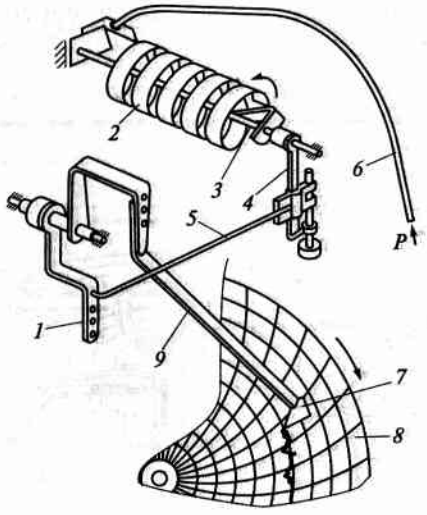
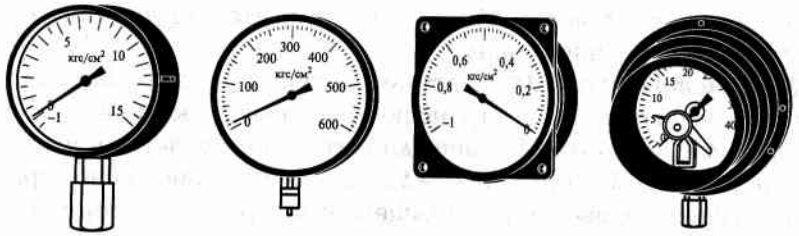


Рис. 4.7. Самопишущий манометр:

1 — рычаг; *2* — многовитковая пружина; *3* — ось; *4* — рычаг; *5* — тяга; *6* — капиллярная трубка; *7* — перо; *8* — диаграммы; *9* — стрелка



а *б* *в* *г*

Рис. 4.8. Общий вид манометров:
а — типа ОБМВ; *б* — типа АМУ; *в* — типа МОШ; *в* — типа ЭКМ

вает перемещение стрелки *9*, на конце которой закреплено перо *7*. Перо записывает давление на дисковой диаграмме *8*, которая приводится в движение часовым механизмом или синхронным двигателем.

На рис. 4.8 показан внешний вид манометров с одновинтовой трубчатой пружиной. Манометры на рис. 4.8, *а*—*в* предназначены для различных видов монтажа. Манометр на рис. 4.8, *г*, типа ЭКМ имеет два задатчика для сигнализации или позиционного регулирования давления. Класс точности пружинных манометров 0,16 ... 1,5. Диапазон измерения $6 \cdot 10^{-3}$ ... 100 МПа.

Мембранные манометры. Служат для измерения незначительных избыточных вакуумметрических давлений и перепадов давлений до 40 кПа.

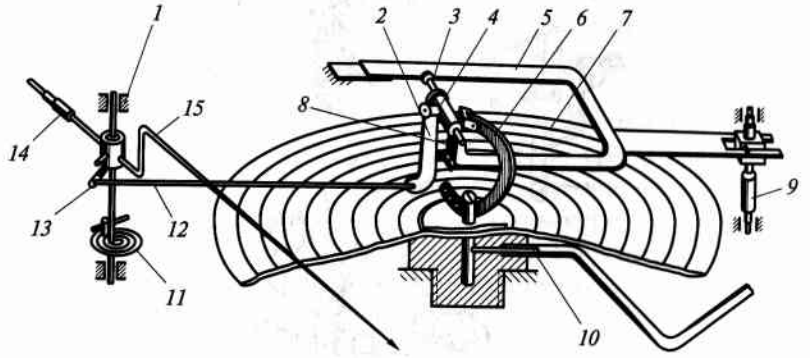


Рис. 4.9. Напоромер типа НМ-П:
1 — ось; *2* и *13* — рычаги; *3* — винт; *4* — стойка; *5* — рамка; *6* — поводок; *7* — мембранная коробка; *8* и *11* — пружины; *9* — корректор; *10* — штуцер; *12* — тяга; *14* — противовес; *15* — стрелка

На рис. 4.9 показана схема ***напоромера***, в котором в качестве чувствительного элемента используется гофрированная мембранная коробка *7*. Измеряемое давление подводится к штуцеру *10*, соединенному с внутренней полостью мембранной коробки. Под действием разности атмосферного и измеряемого давлений коробка *7* расширяется или сжимается. Это вызывает перемещение жесткого центра верхней мембраны, которая через поводок *6*, рычаги *2* и *13* и тягу *12* передается оси *1*, вызывая поворот стрелки *15*. Пружины *8* и *11* предназначены для создания необходимой жесткости в передаче и исключения влияния внешней вибрации на показания. Противовес *14* устраняет колебания стрелки и используется для настройки прибора на нужную чувствительность. Корректор *9* служит для установки стрелки на «нуль». Аналогично устроены мембранные тягомеры и тягонапоромеры.

Схема ***мембранного дифференциального манометра ДМ*** представлена на рис. 4.10. Прибор представляет собой бесшкальный преобразователь перепада давления в дифференциально-трансформаторный электрический сигнал. Давление измеряемой среды подводится к прибору по импульсным трубкам *3*. В «плюсовой» и «минусовой» камерах дифманометра размещены две одинаковые мембранные коробки *5* и *6*, образующие единый мембранный блок. Внутренняя полость заполняется рабочей жидкостью для повышения чувствительности и, во избежание смятия мембранных коробок. Мембранный блок закреплен в разделительный перегородке, которая зажата между крышками корпуса *4*. С центром верхней мембранной коробки связан сердечник *1* дифференциально-трансформаторного преобразователя. При изменении перепада давлений мембранные коробки деформируются, жидкость перетекает из одной коробки в другую, это вызывает перемещение жесткого центра верхней мембраны и связанного с ним сердечника *1*. При-

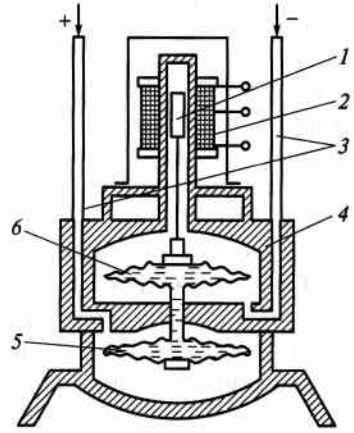


Рис. 4.10. Мембранный дифференциальный манометр:
1 — сердечник; *2* — индукционные обмотки; *3* — импульсные трубки; *4* — корпус; *5* и *6* — мембранные коробки

боры такого типа изготовляются для измерения перепада давлений в пределах 1,6 ... 630 кПа и рабочего давления среды до 25 МПа. Также, как жидкостные приборы, они снабжены «минусовым», «плюсовым» и байпасным вентилем для подключения к объекту измерения. Класс точности приборов 1 ... 1,5.

Сильфонные манометры. Сильфонные приборы занимают промежуточное положение между приборами с трубчатыми пружинами и мембранными. Они воспринимают большие усилия контролируемого давления (перепада давления, вакуума), чем мембранные, но меньшие, чем пружинные. Чувствительность сильфонных приборов сравнима с мембранными. Недостатком является сложность изготовления чувствительного элемента — сильфона.

Приборы выпускаются в виде показывающих и самопищущих, аналогично самопищущему прибору (см. рис. 4.7) и безшкальных преобразователей давления в унифицированный пневматический сигнал ГСП.

На рис. 4.11 показана схема бесшкального преобразователя перепада давления в пневматический сигнал. Дифманометр с пневматическим выходным сигналом состоит из измерительного блока и пневматического преобразователя. Под воздействием измеряемого перепада давления на чувствительных элементах *6* измерительного блока возникает усилие, которое через рычажную систему *4*, *7* и *8* уравновешивается усилием, развиваемым давлением воздуха в сильфоне обратной связи *3*. При изменении перепада давления происходит незначительное перемещение рычажной системы и связанной с ней заслонки *11* относительно сопла *1*. Сигнал рассогласования через пневматическое усилительное устройство *2* поступает в сильфон обратной связи *3* и одновременно в линию дистанционной передачи. Значение этого сигнала прямо пропорционально измеряемому перепаду давления. Прибор на заданный диапазон измерения настраивается с помощью перемещения подвижной опоры *9* вдоль рычагов; для установки начального значения выходного сигнала служит пружинный корректор *10*.

Внутренняя полость сильфонов чувствительного элемента заполнена кремнийорганической жидкостью. Клапаны *5* предохраняют сильфоны от повреждения при односторонней перегрузке измерительного блока и при нарушении герметичности системы.

Особенности установки приборов для контроля давления (вакуума) на оборудовании (трубопроводах) пищевой промышленности. При использовании приборов с трубчатыми УЧЭ, или сильфонов с внутренней подачей, внутрь в них проникает контролируемая среда — пищевой продукт. Со временем из-за развития мик-

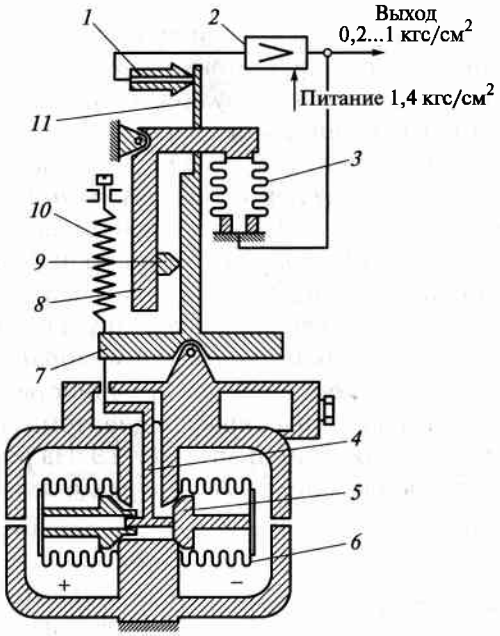


Рис. 4.11. Бесшкальный преобразователь перепада давлений типа ДС:
1 — сопло; *2* — пневмоусилитель; *3* — сильфон обратной связи; *4*, *7* и *8* — рычаги; *5* — клапан; *6* — чувствительный элемент (измерительный сильфон); *9* — подвижная опора (наездник); *10* — корректор; *11* — заслонка

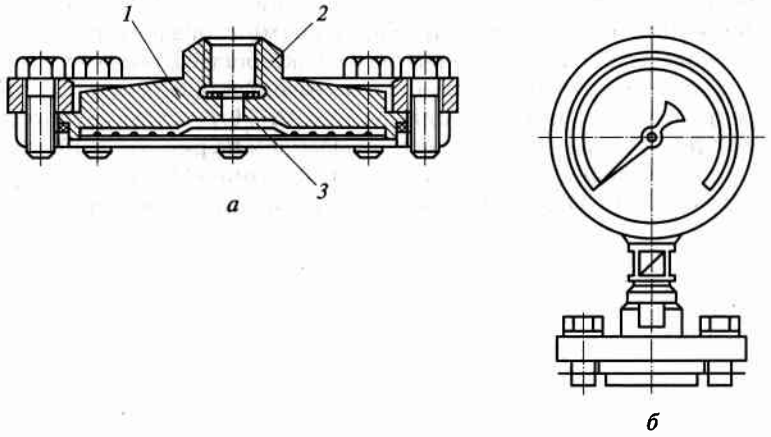


Рис. 4.12. Мембранный разделитель:
а — схема мембранного разделителя: *1* — корпус; *2* — штуцер, *3* — мембрана; *б* — схема установки манометра (вакуумметра) с мембранным разделителем

роорганизмов происходит обсеменение ими всего продукта, находящегося в оборудовании или протекающего по трубопроводу, что приводит к порче продукта. Поэтому при установке манометров, вакуумметров или дифференциальных манометров используют мембранные разделители типа РМ (рис. 4.12, *а*). Действие разделителя основано на использовании деформации мембраны при воздействии на него измеряемого давления (разрежения). Разделитель представляет собой металлический корпус *1* со штуцером *2*, в который устанавливается измерительный прибор. Снизу расположена мембрана *3*, нижняя поверхность которой контактирует с контролируемой средой. Внутреннее пространство сверху мембраны, включая полость УЧЭ прибора, заполняют рабочей кремнийорганической жидкостью (с малым температурным коэффициентом расширения) для передачи давления (разрежения) внутрь УЧЭ. На рис. 4.12, *б* показан манометр в собранном виде вместе с разделительной мембраной.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что означают понятия: «абсолютное давление», «избыточное давление», «вакуум»? **2.** Поясните физический закон, положенный в основу принципа действия жидкостных приборов измерения давления? **3.** Для чего служит байпасный вентиль? **4.** Для чего предназначена рабочая жидкость в колокольном манометре? **5.** В чем преимущество жидкостных приборов измерения давления по сравнению с приборами с УЧЭ? **6.** Почему при подаче давления в одновитковую трубчатую пружину она раскручивается, а не закручивается? **7.** Какая техническая характеристика выше у многовитковой трубчатой пружины, чем у одновитковой? **8.** Какая СДПП используется при работе манометров типа МЭД и ДМ? **9.** Для чего служит сильфон *3* в преобразователе давления, показанном на рис. 4.11? **10.** Можно ли напоромер (см. рис. 4.9) использовать как тягомер? Если да, что нужно для этого сделать? **11.** Для чего служат разделительные мембраны?

Глава 5

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Температурой называется физическая величина, определяющая внутреннюю энергию вещества. Внутренняя энергия определяется подвижностью молекул, атомов и элементарных частиц, составляющих вещество. Таким образом, температура не поддается непосредственному измерению, поэтому она предварительно преобразуется с помощью первичных преобразователей в другую физическую величину, которая может быть измерена непосредственно.

Для измерения температуры применяют различные шкалы, где единицей измерения является градус. В системе СИ используется шкала температуры в кельвинах (К), в которой за нуль принята температура «абсолютного нуля» $T = 273{,}15$ К. До 1968 г. Кельвин официально назывался «градус Кельвина» и обозначался °К. Понятие это абстрактное, так как оно в природе не существует. При такой температуре прекращается всякое движение материи, что означает смерть Вселенной.

В технике широко принято измерение температуры t в градусах Цельсия (°С). При этом один градус кельвина по размеру равен градусу Цельсия (°С). Соотношение между шкалами: $T = t + 273{,}15$. В США и некоторых других англоязычных странах измеряют температуру по шкале Фаренгейта (F). При этом $t_F = 1{,}8t + 32$, или $t = (t_F - 32)/1{,}8$.

По принципу действия в пищевой промышленности наиболее распространены следующие КИП:

- *термометры расширения*. Принцип действия основан на изменении объема (размеров) жидкости или металлов при изменении температуры (при ее увеличении происходит увеличение объема или размеров);

- *манометрические термометры*. Принцип действия этих термометров основан на зависимости давления рабочего вещества, заполняющего определенный объем замкнутой манометрической системы, от температуры;
- *термометры сопротивления* (ТС). Термометры сопротивления являются датчиками, преобразующими изменение температуры в изменение электрического сопротивления чувствительного элемента (ЧЭ). В зависимости от материала ЧЭ они разделяются на проводниковые и полупроводниковые;
- *термоэлектрические термометры* (термопары). Представляют собой первичные преобразователи изменения температуры в изменение ЭДС;
- *оптические пирометры*. Принцип действия основан на зависимости яркости излучения тела в оптическом диапазоне спектра от его температуры.

5.2. ТЕРМОМЕТРЫ РАСШИРЕНИЯ

Жидкостные стеклянные приборы. Прибор представляет собой стеклянный чехол, в который помещен также стеклянный резервуар, заполненный рабочей жидкостью. К резервуару прикреплен стеклянный капилляр, закрепленный на линейной шкале. В качестве рабочей жидкости обычно используют ртуть или окрашенный этиловый спирт. При изменении температуры происходит перемещение столбика рабочей жидкости по капилляру. Ртутные термометры работают в диапазоне температур –35...+750 °С, спиртовые –80...+70 °С. Жидкостные стеклянные термометры обычно применяют в лабораторных условиях, на производстве устанавливают для местного контроля температуры в металлических защитных чехлах.

Механические термометры расширения. Подразделяются на дилатометрические и биметаллические. Оба типа используют различный коэффициент температурного расширения для разных металлов. В ***дилатометрическом термометре*** (рис. 5.1) используется разность удлинения трубки *1* и стержня *2* при изменении температуры. Движение стержня передается стрелке прибора с помощью механической передачи *3*.

В ***биметаллических термометрах*** чувствительный элемент выполнен в виде спиральной *1* (рис. 5.2), или плоской, пружины, состоящей из двух пластин из разных металлов, сваренных по всей

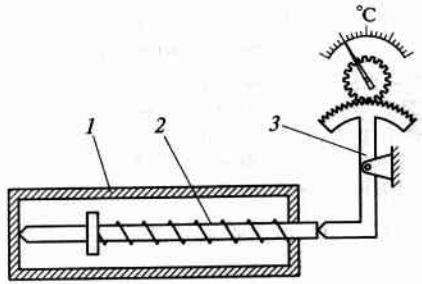


Рис. 5.1. Стержневой дилактометрический термометр:

1 — трубка; *2* — стержень; *3* — механическая передача к стрелке

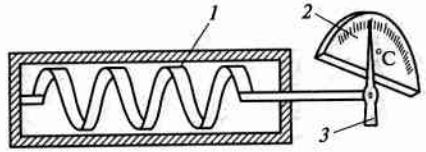


Рис. 5.2. Биметаллический термометр:

1 — чувствительный элемент; *2* — шкала; *3* — стрелка

длине. Внутренняя пластина имеет больший коэффициент линейного расширения, чем внешняя, поэтому при изменении температуры, такая пружина раскручивается, или закручивается, что вызывает перемещение показывающей стрелки *3* на шкале *2*.

Механические термометры используются для измерения температуры в диапазоне –150...+700 °С. Класс точности 1...2,5.

5.3. МАНОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ

В зависимости от используемого рабочего вещества они подразделяются на газовые, жидкостные и паровые (конденсационные). Манометрическая система состоит из чувствительного элемента (датчика) — термобаллона, соединительного элемента — капилляра и упругого чувствительного элемента, находящегося непосредственно в измерительном приборе.

На рис. 5.3 показана схема манометрического прибора. Термобаллон *6* соединен капиллярной трубкой *4*, защищенной металлической оплеткой *5*, с манометрическим чувствительным элементом *1* — одновитковой трубчатой пружиной. Свободный конец пружины, тягой *2*, соединен с механической передачей *7*, которая воздействует на показывающую стрелку. Передаточный механизм от пружины к стрелке аналогичен используемому в показывающих манометрах. Пружина, передаточный механизм и стрелка со шкалой помещены в корпус прибора *3*.

На рис. 5.4 приведен общий вид показывающего манометрического термометра.

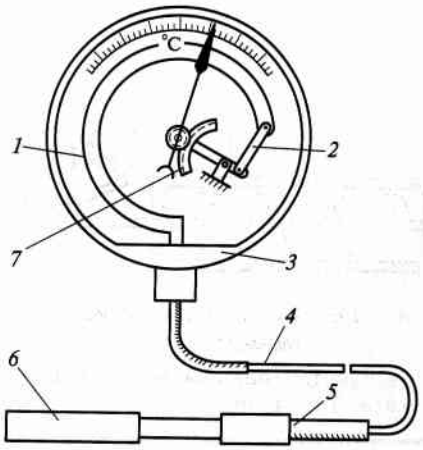


Рис. 5.3. Схема манометрического термометра:

1 — одновитковая трубчатая пружина; *2* — тяга; *3* — корпус; *4* — капиллярная трубка; *5* — защитная металлическая оплетка; *6* — термобаллон; *7* — передаточный механизм

В качестве упругих чувствительных элементов в манометрических приборах используют одновитковые и многовитковые трубчатые пружины, а также сильфоны.

Манометрические термометры выпускаются в виде показывающих, показывающих и сигнализирующих, самопищущих приборов, а также бесшкальных преобразователей температуры в унифицированные сигналы ГСП. Максимальная длина капилляра до 25 м. Класс точности 0,5, 1 или 1,5. Диапазон измерения приборов разных типов 200...600 °С. Основными достоинствами манометрических термометров являются взрывопожаробезопасность, простота конструкции и обслуживания. Недостатки: большая инерционность и меньшая чувствительность, чем в электрических приборах, ограниченная дистанционность передачи показаний.



Рис. 5.4. Общий вид показывающего манометрического термометра:

1 — капилляр; *2* — показывающий прибор; *3* — термобаллон

5.4. ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Проводниковые термометры сопротивления. В них используется зависимость электрического сопротивления ЧЭ от температуры. Для меди $R_t = R_0(1 + \alpha t)$, где R_t — сопротивление ЧЭ датчика при температуре t °С, Ом; R_0 — сопротивление датчика при 0 °С, определяемое его градуировкой, Ом; α — температурный коэффициент электрического сопротивления (для меди $\alpha = 4{,}26 \cdot 10^{-3}$, 1/град).

В проводниковых ТС, в качестве ЧЭ используется медная или платиновая проволока диаметром 0,03...0,08 мм. Проволока наматывается на каркас из диэлектрика (плоский или цилиндрический) и закрывается защитным чехлом (рис. 5.5). В качестве материала для каркаса используют слюду или фарфор.

Для платиновых ТС:

- в области положительных температур ($t > 0$ °С)

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2);$$

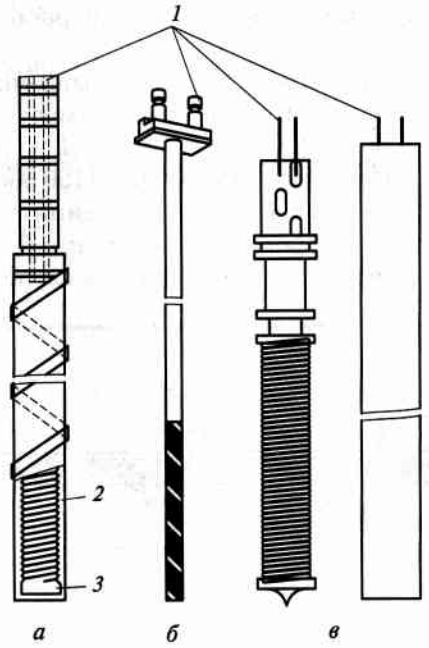


Рис. 5.5. Устройство ЧЭ термометров сопротивления:

а, *б* — платиновый; *в* — медный: *1* — выводы; *2* — изолированная проволока; *3* — изоляционный каркас

- в области отрицательных температур ($t < 0$ °С)

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)^3],$$

где A, B, C — постоянные коэффициенты ($A = 3{,}97 \cdot 10^{-3}$ 1/К; $B = -5{,}85 \cdot 10^{-7}$ 1/К; $C = -4{,}22 \cdot 10^{-12}$ 1/К).

Зависимость $R_t = f(t)$ для платиновых термометров нелинейна, однако отклонение от линейной характеристики в диапазоне температур 0...650 °С не превышает 5 %.

Основной технической характеристикой ТС является их градуировка, которая определяет сопротивление при 0 °С (R_0). Современные ТС выпускаются следующих градуировок (цифры означают сопротивление, Ом при 0 °С, буквы — наименование материала ЧЭ: П — платина, М — медь):

- для платины: 10П, 50П, 100П;
- для меди: 50М, 100М.

Медные преобразователи сопротивления имеют меньшую точность и чувствительность, чем платиновые, работают в диапазоне температур –50...+200 °С.

Платиновые термометры более дорогие, работают в диапазоне температур –200...+600 °С.

На рис. 5.6 показана конструкция промышленного термометра сопротивления. Основными элементами являются корпус (тело) *5* термометра и головка *2*. Тело на величину L (монтажную длину) помещена в контролируемый объект (40...3 150 мм). В теле находится чувствительный элемент *4*, который соединительными проводами, изолированными фарфоровыми бусинами *6*, соединен с клеммами *1*, находящимися в головке. Штуцер *3* служит для крепления

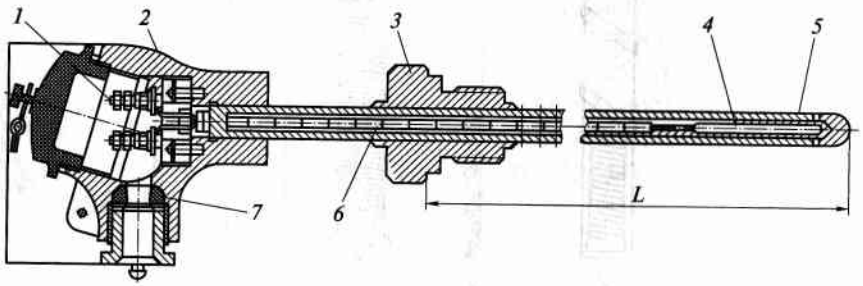


Рис. 5.6. Промышленный термометр:

1 — клеммы; *2* — головка; *3* — штуцер; *4* — чувствительный элемент; *5* — тело; *6* — фарфоровые бусины; *7* — сальниковое уплотнение

термометра на объекте. К линии связи с измерительным прибором термометр подсоединяют с помощью клемм через сальниковое уплотнение *7*.

В качестве материала тела термометра в пищевой промышленности в основном используется нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т.

Применяют также двойные термометры сопротивления, в теле которых установлены два чувствительных элемента. Один обычно, подключается к измерительному прибору, а второй — к регулирующему.

Проводниковые термометры сопротивления работают в комплекте с логометрами и автоматическими мостами, и являются наиболее распространенными датчиками температуры в пищевой промышленности. Применение несколько ограничивает большой размер каркаса ЧЭ (до 100 мм), не позволяющий измерять температуру в «точке».

Полупроводниковые термометры сопротивления. Для изготовления полупроводниковых ТС используют опрессованные порошковые смеси окислов некоторых металлов (марганец, медь, кобальт и др.). В отличие от проводниковых ТС, полупроводниковые уменьшают свое сопротивление при повышении температуры. Отличием полупроводниковых ТС являются малые размеры ЧЭ. Длина составляет 10...20 мм при диаметре 2...4 мм. Полупроводниковые ТС имеют большую чувствительность, чем проводниковые. Недостатками полупроводниковых ТС являются нелинейность зависимости $Rt = f(t)$ и ее большая зависимость от состава смеси материала, что не обеспечивает возможность их взаимозаменяемости.

Применяются в основном в приборах позиционного регулирования температуры.

5.5. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ (ТЕРМОПАРЫ)

Принцип действия основан на использовании эффекта Зеебека, который заключается в том, что в замкнутой цепи, состоящей из разнородных проводников, возникает термоЭДС (ТЭДС), если места контактов поддерживают при разных температурах. Величина ТЭДС зависит только от температур контактов t_1 и t_2 и от материала проводников.

На рис. 5.7, *а* показана цепь, состоящая из двух разнородных проводников *А* и *В* со спаями *1* и *2*. Спай *1* имеет температуру t_1 и разви-

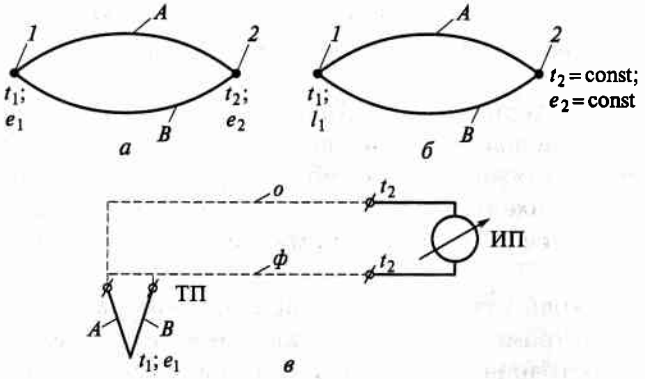


Рис. 5.7. Принцип действия термопары:

а — эффект Зеебека; *б* — принцип действия термопары; *в* — схема включения термопары в измерительную цепь; *А*, *В* — проводники; *1* и *2* — места спаев; *о*, *ф* — соединительные провода; ТП — термопара; ИП — измерительный прибор

вает ТЭДС e_1. Спай *2* имеет температуру t_2 и развивает ТЭДС e_2. Разность ТЭДС зависит от разности температур: $e_1 - e_2 = f(t_1 - t_2)$. Если температуру одного из спаев, например *2*, сделать постоянной (рис. *5.7*, *б*), то и ТЭДС этого спая также будет постоянной. Тогда разность ТЭДС будет зависеть только от температуры спая *1*: $e_1 - e_2 = f(t_1)$. Спай, температура которого изменяется, называют ***«горячим»***. Он помещается в объект, в котором контролируется температура. Спай, температура которого постоянна, называют ***«холодным»***, он помещается в измерительный прибор и принимает температуру окружающей среды. Так как она может изменяться, то принимаются специальные приборные средства, компенсирующие возникающую при этом погрешность измерений. На рис. *5.7*, *в* показана схема контроля температуры с помощью термопары. ТП — собственно термопара, состоящая из проводников *А* и *В* и помещаемая в контролируемый объект, «*о*» и «*ф*» — соединительные провода, ИП — измерительный прибор. Термопара может контролировать и отрицательные температуры (ниже температуры окружающей среды, где находится ИП), поэтому названия спаев «горячий» и «холодный» условные.

Основной технической характеристикой термопар является их градуировка, которая зависит от материала проводников термопары. В промышленности применяют термопары следующих градуировок с указанными материалами проводников:

МК — медь-копель (медно-никелевый сплав);

ХК — хромель (никелево-хромовый сплав)-копель;

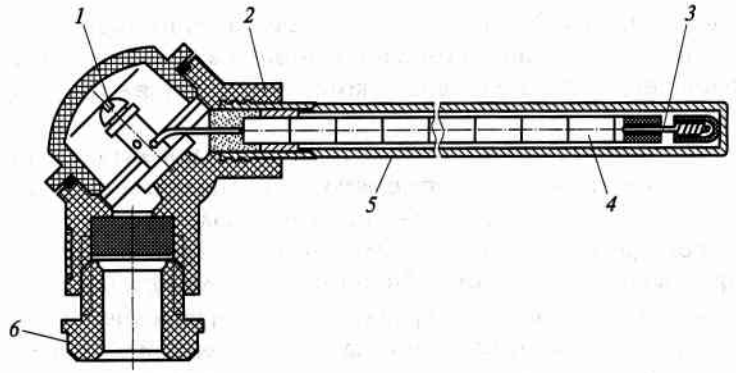


Рис. 5.8. Конструкция промышленной термопары:

1 — клеммы; *2* — головка; *3* — чувствительный элемент с термоэлектродами; *4* — фарфоровые бусины; *5* — тело; *6* — сальниковое уплотнение

ХА — хромель-алюмель (никелево-алюминиевый сплав);

ПП — платинородий (сплав платины и родия)-платина;

ПР — платинородий-платинородий (с разным содержанием платины и родия);

ВР — вольфрам, рений (с разным содержанием вольфрама и рения).

Термопары применяются для контроля температур в диапазоне –200 ... +2 200 °С. В качестве измерительных приборов используются милливольтметры и потенциометры. По сравнению с термометрами сопротивления термопары имеют меньшую чувствительность и точность преобразования температуры. Их отличает малый размер чувствительного элемента (диаметры применяемых проволок 0,1 ... 3,5 мм). В частности, в мясной промышленности для контроля температуры дефростации мяса и варки

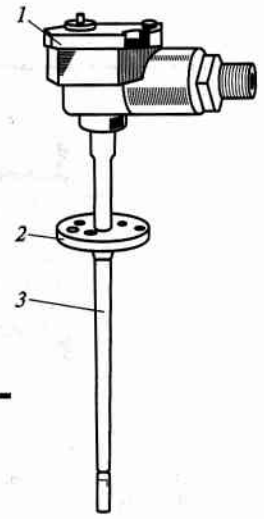


Рис. 5.9. Внешний вид промышленной термопары:

1 — головка; *2* — фланец; *3* — тело

колбасных изделий используют игольчатые термопары. Чувствительный элемент (спай) помещен в корпус в виде полой иглы (наподобие медицинского шприца), которая втыкается в толщу продукта.

Конструкция промышленной термопары показана на рис. 5.8. Она состоит так же, как термометр сопротивления из тела *5* и головки *2*. В теле помещен ЧЭ — спай термоэлектродов *3*. От них в теле проходит провода к клеммам *1* головки. Провода изолированы фарфоровыми бусинами *4*. Внешние провода от измерительного прибора подсоединяются через сальниковое уплотнение *6*.

На рис. 5.9 показан внешний вид промышленной термопары. Она состоит из тела *3* и головки *1*. Для крепления к объекту используется фланец *2*. Может также использоваться резьбовое соединение, показанное в конструкции термометра сопротивления (см. рис. 5.6). Длина монтажной части 40...3 150 мм.

5.6. ОПТИЧЕСКИЕ ПИРОМЕТРЫ

Применяют в диапазоне температур 300...6 000 °С. В пищевой промышленности используются во вспомогательных технологических процессах, например, контроль температуры горения топлива в котельных установках.

В промышленности применяется оптический пирометр типа «Рапир». Он состоит из первичного преобразователя — телескопа

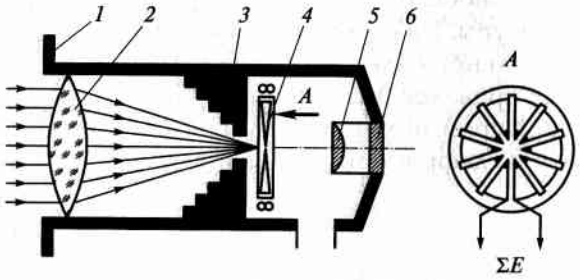


Рис. 5.10. Телескоп пирометра ТЭРА-50:

1 — корпус; *2* — линза; *3* — диафрагма; *4* — батарея термопар; *5* — окуляр; *6* — светофильтр

ТЭРА-50 и измерительного прибора — автоматического потенциометра или милливольтметра.

Первичный преобразователь ТЭРА-50 (рис. 5.10) представляет собой цилиндрический корпус *1* с линзой *2*. Линза концентрирует лучистый поток от тела, температура которого контролируется, луч, направляемый через отверстие диафрагмы *3* на рабочую поверхность термобатареи *4*, которая представляет собой несколько термопар, включенных последовательно. В результате возрастает выходной сигнал $\sum E$, зависящий от измеряемой температуры $t_и$ (повышается чувствительность измерений). При измерениях, предварительно телескоп наводят на объект по наибольшей яркости излучения с помощью окуляра *5* со светофильтром *6*.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как влияет внутренняя энергия вещества на его температуру? **2.** Есть ли разница между 1 К и 1 °С? **3.** На чем основан принцип действия термометров расширения? **4.** В чем различие действия ЧЭ дилатометрического и биметаллического термометров? **5.** В чем заключается принцип действия манометрических термометров? **6.** Какое основное достоинство манометрических термометров, по сравнению с электрическими системами? **7.** Что определяет градуировку проводниковых ТС? **8.** В связи с чем платиновые ТС не применяют для контроля температур выше 650 °С? **9.** Что является основной причиной ограничения применения полупроводниковых ТС для измерения температуры? **10.** Какие измерительные приборы используются в комплекте с термометрами сопротивления и термопарами? **11.** В чем основные достоинства термопар по сравнению с термометрами сопротивления? **12.** От чего может возникнуть погрешность измерения с помощью термопар? Как она ликвидируется? **13.** Для чего служит светофильтр в телескопе ТЭРА-50? **14.** Каково назначение применения батареи термопар в телескопе ТЭРА-50?

Глава 6

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАСХОДА МАССЫ И УЧЕТА ШТУЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расходом жидкости или ***газа (пара)*** называется количество вещества, проходящее через поперечное сечение трубопровода в единицу времени. В зависимости от единицы измерения количества вещества различают:

объемный расход, м^3/с,

$$Q_v = \frac{V}{\tau},$$

где V — объем вещества, м^3; τ — продолжительность перемещения вещества, с;

массовый расход, кг/с,

$$Q_м = \frac{M}{\tau},$$

где M — масса вещества, кг. ***Массой*** называется физическая величина, определяющая инерционные и гравитационные свойства материальных тел. Приборы для измерения массы вещества называются ***весами*** (весовые устройства), а для учета штучной продукции — счетчиками штучной продукции;

весовой расход, кг/с,

$$Q_G = \frac{G}{\tau},$$

где G — вес вещества, Н.

Приборы для измерения расхода по назначению подразделяются:

- на счетчики количества — предназначены для измерения расхода вещества за некоторый промежуток времени. По принципу действия счетчики разделяются на скоростные и объемные. Принцип действия скоростных счетчиков основан на преобразовании изменения расхода потока жидкости или газа, в изменение скорости вращения чувствительного элемента — крыльчатки. Принцип действия объемных счетчиков основан на отсечении определенных, заранее измеренных, объемов среды от основного потока и подсчета количества таких объемов, прошедших через счетчик;
- расходомеры — предназначены для измерения расхода вещества в заданный момент времени. При автоматизации производственных прцоессов в основном применяют расходомеры переменного и постоянного перепада давления и электромагнитные (индукционные).

6.2. СЧЕТЧИКИ КОЛИЧЕСТВА

Скоростные счетчики количества. Принцип действия основан на измерении количества жидкости по частоте вращения крыльчатки или вертушки, скорость вращения которых пропорциональна скорости потока. Частота вращения крыльчатки или вертушки передается счетному механизму, градуируемому в кубических метрах измеряемой жидкости.

Средняя скорость потока связана с объемным расходом жидкости Q, м^3/с, зависимостью:

$$Q = v_{ср}S,$$

где $v_{ср}$ — средняя скорость потока, м/с; S — поперечное сечение потока, м^2.

Полагая, что средняя частота вращения вертушки n или крыльчатки пропорциональна средней скорости движения потока, получим:

$$n = cv_{ср} = \frac{cQ}{S},$$

где c — коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции прибора, и характеризующий механические и гидравлические свойства прибора.

Следовательно, частота вращения вертушки также пропорциональна расходу жидкости.

На рис. 6.1, *а* показана конструкция крыльчатого счетчика для измерения массы холодной воды. Счетчик состоит из корпуса *9*, гайки *10*, установочного кольца *1* с циферблатом *2*, крыльчатки *7*, вращающейся на вертикальной оси в точечной опоре *6* из агата, фильтра *8* для исключения попадания в измерительную камеру крупных частиц, счетной головки *4* с магнитной муфтой *5*, посредством которой передается вращение стрелке *3*. Корпус счетчика изготовлен из чугуна с антикоррозийным покрытием внутренней поверхности.

Счетчик устанавливают только на горизонтальных участках трубопровода циферблатом вверх, подводящий и отводящий участки трубопровода должны находиться на общей прямолинейной оси. Направление, указанное стрелкой на корпусе, должно совпадать с направлением потока воды в трубопроводе. Перед счетчиком устанавливаются муфтовый пробковый кран соответствующего условного прохода, а за счетчиком — вентиль для регулирования расхода.

На рис. 6.1, *б* приведена схема конструкции скоростного счетчика с горизонтальной винтовой вертушкой (вертушка выполнена в виде многозаходного винта). В корпусе *6* расположена вертушка *7*, ось ее установлена на подшипниках *4* и *11*. Передний подшипник *11* закреплен в струевыпрямителе *10*, задний подшипник *4* — в крестовине *5*. Струевыпрямитель предназначен для исключения влияния протекающего потока жидкости на частоту вращения вертушки. На ось вертушки перед задним подшипником насажен червяк червячной пары, передающей вращение через редуктор *2* и ось *12* на счетный механизм *1*, который герметично изолирован от корпуса прибора. Счетчик имеет пять шкал: шкала большой стрелки разбита на 100 частей с ценой деления 0,001 м^3, шкалы малых стрелок разбиты на 10 частей с ценой деления 0,1; 10; 100 и 1 000 м^3. Лопасть *9* вращается вокруг вертикальной оси и служит для регулирования счетчика через рычажный привод *8*.

Счетчики с винтовой вертушкой устанавливают обычно на горизонтальном участке трубопровода; для успокоения потока измеряемой среды прямой участок трубопровода перед счетчиком должен иметь длину, равную 8...10*D*, после него — не менее 5*D* (*D* — внутренний диаметр трубопровода). Счетчики с винтовой вертушкой изготовляют калибром до 300 мм, пропускной способностью до 600 м^3/ч. Погрешность приборов составляет ±(2...3) % в зависимости от расхода. Счетчики с винтовой вертушкой входят в комплект расходомеров горячей и холодной воды типов ВВТ, ВТГ и ВТГД.

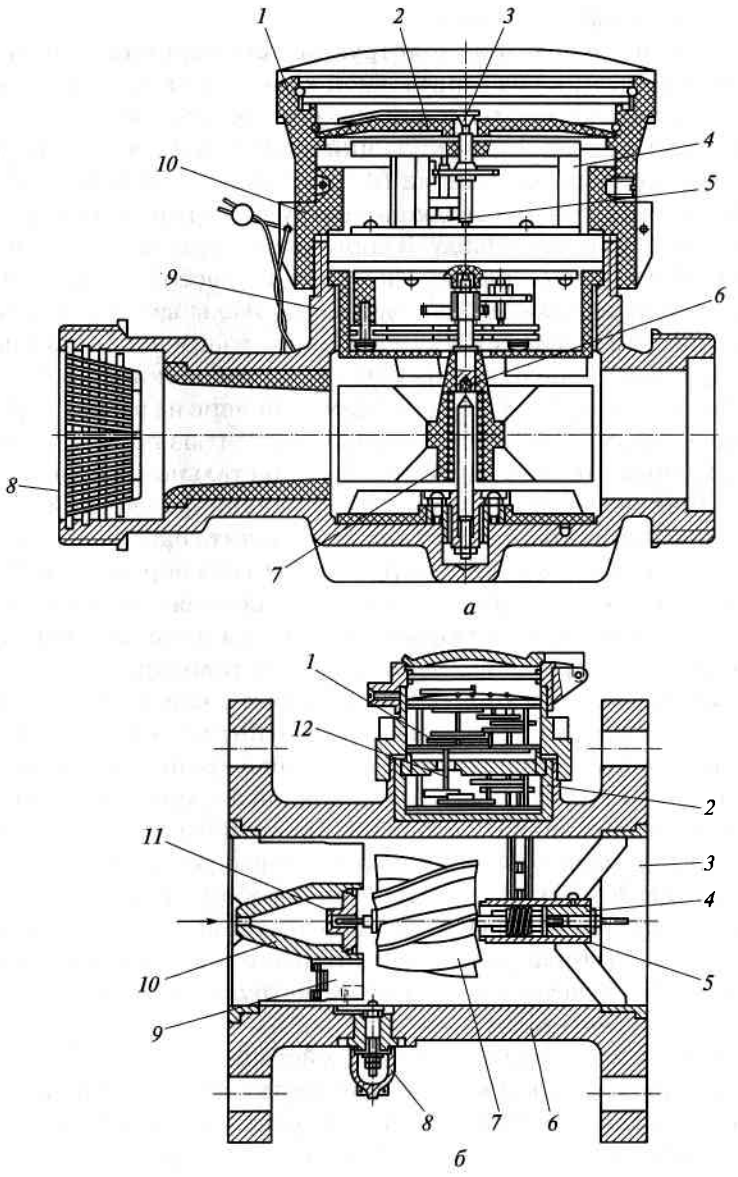


Рис. 6.1. Скоростные счетчики количества:
а — с крыльчаткой; *б* — с винтовой вертушкой

Объемные счетчики. Они бывают: шестеренные; газоротационные; с кольцевым поршнем.

На рис. 6.2, *а* показана конструкция ***шестеренного счетчика***. Счетчик состоит из измерительной камеры с овальными шестернями, магнитной муфты, передаточного механизма и счетной головки, включающей суммирующий механизм, стрелочный указатель на нуль. Корпус счетчика *10* представляет собой стальную отливку с подводящим и отводящим патрубками и фланцами для подсоединения к трубопроводу. В корпусе размещена измерительная камера *9*, в заднюю крышку *7* которой запрессованы две оси *6* из нержавеющей стали. На них насажены овальные шестерни *8*, находящиеся в зацеплении и при вращении взаимно обкатывающие друг друга. В торце одной из шестерен помещении хвостовик *11* с зубчатым колесом *13*, передающим вращение на радиальную магнитную муфту *14*. Магнитная муфта состоит из постоянного магнита, выполненного в форме скобы *2*, и стального сердечника *3*, укрепленного на оси передаточного механизма счетной головки и расположенного между полюсами магнита скобы. Между скобой и сердечником помещается немагнитная перегородка *4*. При вращении скоба силой магнитного притяжения увлекает за собой стальной сердечник, который через ось и передаточный механизм передает вращение на ось счетной головки. Крышка счетчика *15* так же, как и корпус, представляет собой стальную отливку, в которой крепятся радиальная магнитная муфта и плата *16* с передаточным механизмом *17*. Крышка крепится к корпусу *10* шпильками *12* и уплотняется прокладкой *5*. Суммирующий механизм счетной головки состоит из стрелочного счетного указателя *1* и пяти роликов *18* роликового счетного указателя, размещенных на одной оси и связанных между собой трубками. Стрелочный указатель показывает текущее значение расхода жидкости, роликовый счетный указатель учитывает общее количество прошедшей через счетчик жидкости. Конструкции счетных механизмов рассмотрены далее.

На рис. 6.2, *б* показан принцип действия счетчика. Проходя через счетчик, поток жидкости теряет часть своей энергии на вращение овальных колес. В зависимости от расположения колес относительно входа потока жидкости каждое из них является поочередно то ведущим, то ведомым. При вращении овальных колес периодически отсекается определенный объем жидкости, ограниченный овалом измерительной камеры. За один оборот колеса отсекаются четыре определенных объема жидкости, которые в сумме равны свободному объему измерительной камеры счетчика.

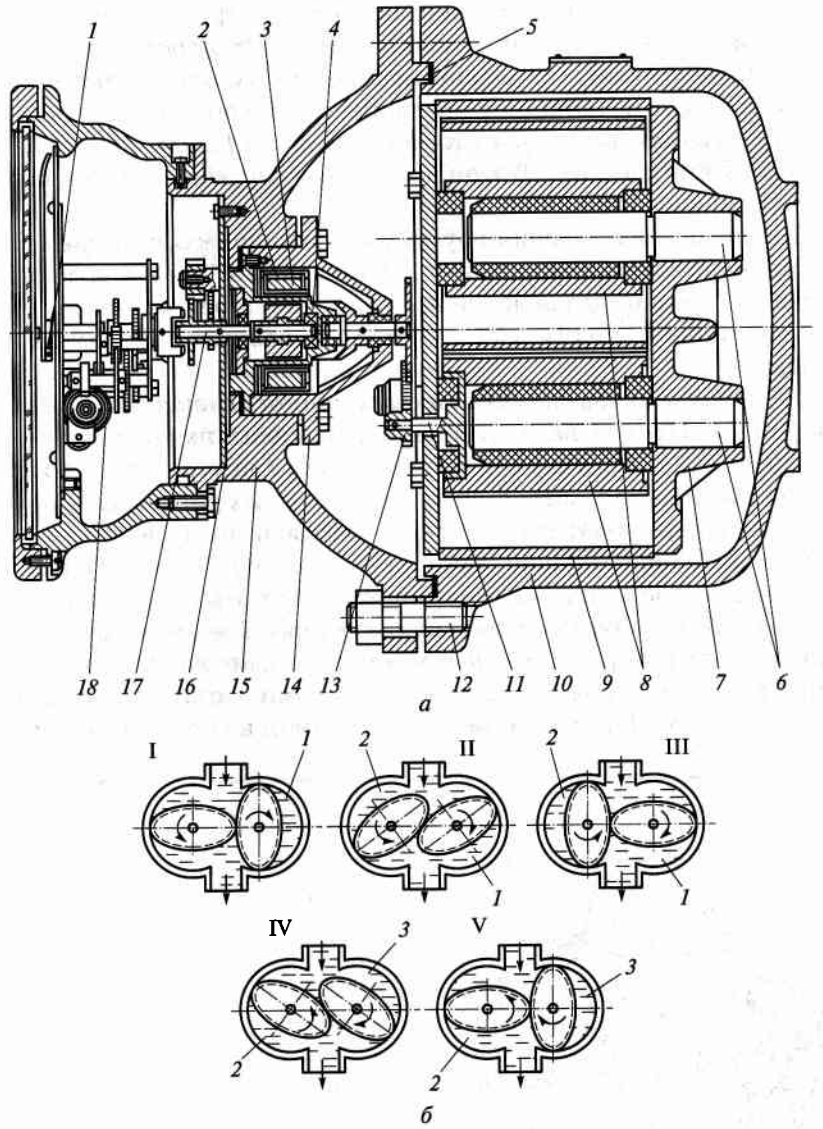


Рис. 6.2. Шестеренный счетчик жидкости:
а — конструкция счетчика; *б* — схема действия счетчика

Количество жидкости, прошедшее через счетчик, определяется по количеству оборотов овальных колес. В положении I (рис. 6.2, *б*) жидкость вращает правое колесо по часовой стрелке, а правое колесо вращает левое против часовой стрелки. В этом положении правое колесо отсекает определенный объем *1* жидкости. В положении II левое колесо заканчивает отсечение нового объема *2* жидкости, а правое выталкивает ранее отсеченный объем *1* жидкости в выходной патрубок счетчика. В этом положении крутящий момент передается на оба колеса.

В положении III ведущим будет уже левое колесо, которое к этому времени уже отсекло объем *2*. Оно вращает правое колесо по часовой стрелке. Дальнейшее вращение шестерен протекает аналогично (положения IV и V), с соответствующими объемами *2* и *3* жидкости.

Принципиальная схема ***газоротационного счетчика*** показана на рис. 6.3. Предназначен для измерения больших количеств газа (до 30 000 м^3/ч). Счетчик состоит из кожуха *2*, внутри которого вращаются на параллельных горизонтальных валах роторы *1*. Валы роторов связаны зубчатыми колесами, находящимися вне кожуха. От одного из валов вращение передается счетному механизму. Шарико- или роликоподшипники валов, а также зубчатые колеса находятся в масляных ваннах и заключены в картеры. Тонкий валик, соединяющий вал ротора со счетным механизмом, проходит через сальник в стенке картера. Зазор между роторами и конусом очень мал (около 0,12 мм). В положении, изображенном на схеме, правый ротор не вращается под действием газа (давление с обеих сторон оси вращения одинаково). На верхнюю часть левого ротора воздействует газ с более высоким давлением, чем на нижнюю; левый ротор поворачивается, увлекая за собой правый. Когда правый ротор стоит вертикально (а левый горизонтально), то он поворачивает левый. При одном обороте обоих роторов объем газа, прошедшего через прибор, равен объему измерительной камеры счетчика.

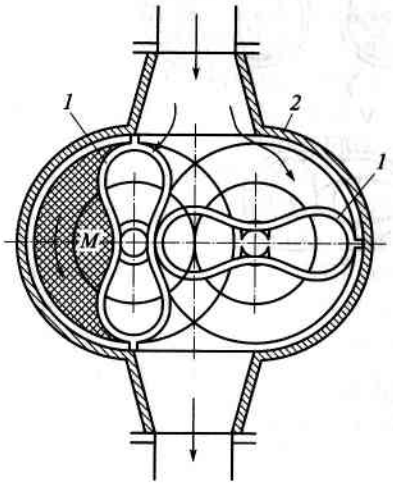


Рис. 6.3. Газоротационный счетчик:
1 — роторы; *2* — кожух

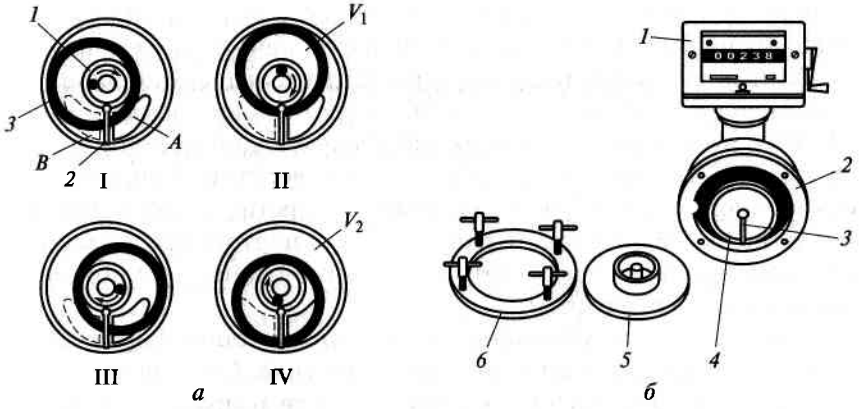


Рис. 6.4. Счетчик с кольцевым поршнем:
а — схема действия счетчика: I, II, III, IV — положения поршня; *1* — ведущая цапфа; *2* — перегородка; *3* — поршень; *А* — входное отверстие; *В* — выходное отверстие; V_1, V_2 — объемы продукта; *б* — конструкция счетчика: *1* — отсчетное устройство; *2* — измерительная камера; *3* — перегородка; *4* — кольцевой поршень; *5* — крышка; *6* — стопорное кольцо

Счетчик с кольцевым поршнем широко применяется в молочной промышленности при приемке молока на молокозаводы. На рис. 6.4, *а* приведена схема действия счетчика. Измерительная камера ограничена двумя концентрическими цилиндрами и разделена перегородкой *2*. С двух сторон от перегородки расположены входное *В* и выходное *А* отверстия. Вход от выхода изолирован с одной стороны перегородкой, с другой — подвижным плотно пригнанным поршнем *3*. Кольцевой поршень состоит из цилиндрического кольца, прорезь которого скользит по перегородке. В середине поршня расположена ведущая цапфа, которая движется в кольцевом пространстве.

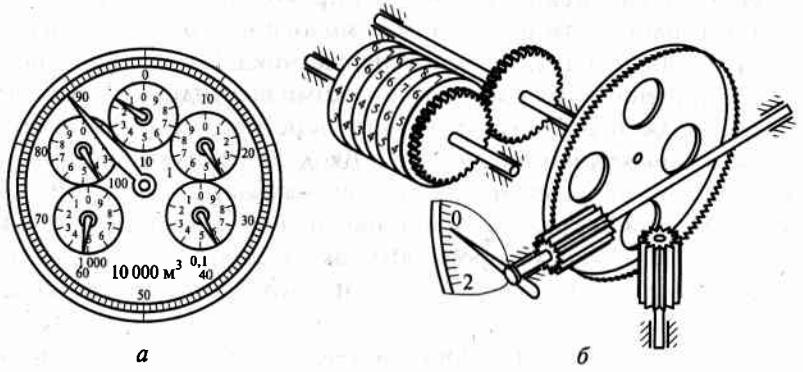
В положении I жидкость поступает через входное отверстие, заполняя кольцевой поршень и поворачивая его в положение II. В положении II измеряемый объем продукта V_1, находящийся внутри поршня, отсечен от входного и выходного отверстий и счетчик за-

полняется объемом V_2. Под давлением, создаваемым продуктом, поршень переходит в положение III, и отмеренный объем продукта выливается в выходное отверстие. Когда кольцевой поршень переместится в положение IV, объем V_2 будет полностью отсоединен от входного и выходного отверстий. В следующий момент начнется заполнение объемом V_1 через входное отверстие и опорожнение отмеренного объема V_2 через выходное отверстие. Затем кольцевой поршень перейдет в положение II и цикл повторится. Вращение кольцевого поршня передается счетному механизму с помощью магнитной связи (муфты).

На рис. 6.4, *б* представлена конструкция счетчика фирмы Dissel (Германия). Конструкция понятна из рисунка. Стопорное кольцо используется для крепления крышки в корпусе. Выпускаются различные типоразмеры счетчиков с диапазоном измерения 0,06...60 м^3/ч для трубопроводов диаметром D_y = 15...100 мм. Относительная погрешность измерений ±0,2 %.

Отсчетные устройства. Суммирующие приборы (счетчики или интеграторы) для отсчета показаний имеют стрелочный или роликовый счетный механизм (рис. 6.5). В некоторых приборах эти механизмы могут присутствовать вместе. Прибор со стрелочным механизмом содержит несколько круговых шкал, из них одна большая (единицы) и несколько малых (десятки, сотни и др.) с соотношением 1:10, стрелки которых связаны между собой и с ведущей осью зубчатой передачи.

Прибор с роликовым счетным механизмом содержит несколько десятизубых колес (роликов) с нанесенными на ободе цифрами от



а *б*

Рис. 6.5. Отсчетные механизмы приборов:
а — стрелочный; *б* — роликовый

0 до 9, одна из которых видна в соответствующем окне циферблата. Крайнее справа колесо единиц при каждом повороте ведущей оси поворачивается на один зубец. В момент перехода цифры с 9 на 0 это колесо вызывает поворот на один зубец смежного с ним колеса десятков, в окне которого появляется следующая очередная цифра, и т. д. Имеются также комбинированные счетные механизмы, у которых отсчет первой цифры выполняется по стрелочному устройству, а всех последующих — по роликовому.

Показание счетного механизма имеет предельное значение — емкость. По достижении этого значения прибор начинает счет с нуля.

6.3. РАСХОДОМЕРЫ

Расходомеры переменного перепада давления. Принцип действия расходомера основан на изменении потенциальной энергии (статического давления) вещества, протекающего через местное сужение в трубопроводе. Расходомером измеряют перепад давления, создаваемый сужающим устройством, установленным в трубопроводе на пути потока измеряемого вещества. Перепад давления тем больше, чем больше скорость протекающего вещества и, следовательно, его расход. Зависимость между расходом жидкости Q, м^3/с, и перепадом давления выражается уравнением

$$Q = \alpha\varepsilon F_0\sqrt{(2/\rho)\Delta p},$$

где α — коэффициент расхода, зависящий от геометрической формы сужающего устройства и физических свойств измеряемой среды; ε — поправочный коэффициент, учитывающий влияние сжимаемости измеряемой среды при прохождении потока через сужающее устройство (для жидкостей ε = 1); F_0 — площадь проходного сечения сужающего устройства, м^2; ρ — плотность измеряемой среды, кг/м^3; Δp — перепад давления, Па.

Сужающее устройство является первичным преобразователем расходомера, в комплект которого кроме него входят соединительные линии (импульсные трубки), дополнительные устройства (разделительные сосуды, конденсационные сосуды) и измерительный прибор (дифференциальный манометр).

На рис. 6.6, *а* показаны схема установки сужающего устройства (диафрагмы) в трубопроводе, прохождение потока через него и гра-

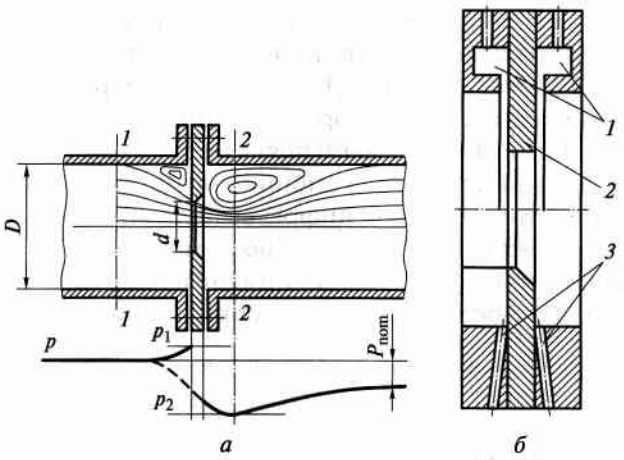


Рис. 6.6. Схема сужающего устройства расходомера:
а — установка диафрагмы на трубопроводе; *б* — нормальная диафрагма

фик распределения статического давления по длине струи. Сужение потока начинается в сечении *1-1* перед диафрагмой с диаметра *D* и вследствие действия сил инерции достигает наибольшего значения уже за диафрагмой, после чего поток вновь расширяется до полного сечения трубопровода. Перед диафрагмой и за ней образуются зоны с вихревым движением, причем зона вихрей за диафрагмой больше, чем перед ней. Давление потока около стенки трубопровода возрастает до p_1 в результате подпора перед диафрагмой и понижается до минимума p_2 за диафрагмой в самом узком сечении потока *2-2*, где оно меньше, чем отверстие диафрагмы *d*. Далее по мере расширения потока давление около стенки снова повышается, но не достигает прежнего значения на величину $p_{пот}$, называемую остаточной потерей давления. Объясняется это в основном потерями энергии на трение и завихрения. Сужающие устройства изготовляют трех типов: нормальные диафрагмы, сопла и трубы Вентури. Основные размеры их нормализованы. Для всех устройств опытным путем определены значения коэффициентов расхода α, что позволяет применять их без предварительной градуировки. Наиболее широко применяют нормальные диафрагмы.

Нормальная диафрагма (рис. 6.6, *б*) представляет собой тонкий металлический диск *2* с концентрическим отверстием, которое во входной части делается цилиндрическим с острой кромкой, а затем растачивается на конус под углом 30...45 °. Толщина нормальной

диафрагмы $0{,}1D$ (диаметра трубопровода), длина цилиндрической части отверстия $0{,}02D$. Нормальные диафрагмы различают камерные (рис. 6.6, *б* выше оси) и бескамерные (рис. 6.6, *б* ниже оси).

Отбор давления в камерной диафрагме производится с помощью двух кольцевых уравнительных камер *1*, расположенных в ее корпусе перед диском и за ним и соединенных с внутренней полостью трубопровода кольцевыми щелями. Кольцевые камеры позволяют усреднить давление по окружности трубопровода, что обеспечивает более точное измерение перепада давления. Отбор давления в бескамерной диафрагме производится с помощью двух отверстий *3*: в корпусе диафрагмы или во фланцах трубопровода перед диском и за ним. Нормальные диафрагмы применяют для трубопроводов диаметром не менее 50 мм при условии $0{,}05 \geq (d/D) \leq 0{,}7$.

Расходомеры постоянного перепада давления (ротаметры). Действие этих приборов основано на уравновешивании массы подвижного поплавка (поршня) силой, возникающей в результате перепада давления на проходном отверстии прибора; при этом площадь проходного отверстия изменяется в зависимости от расхода, а перепад давления остается постоянным.

Схема ротаметра показана на рис. 6.7, *а*. Измерительная часть представляет собой коническую вертикальную трубку *2*, в которую помещен поплавок или поршень *1*. Проходящий через трубку поток измеряемого вещества (жидкости или газа) поднимает поплавок. Когда щель между телом поплавка и стенками трубки достигнет размера, при котором силы, действующие на поплавок, уравновесятся, поплавок установится на определенной высоте, соответствующей величине расхода.

На поплавок, погруженный в поток, действует выталкивающая сила измеряемой среды

$$F_1 = V_п(\gamma_п - \gamma_ж),$$

где $V_п$ — объем поплавка, м^3; $\gamma_п$, $\gamma_ж$ — удельный вес материала поплавка и измеряемой среды соответственно, Н/м^3.

Навстречу силе F_1 направлена сила F_2, вызванная движением потока:

$$F_2 = S_п \Delta p,$$

где $S_п$ — площадь лобовой поверхности поплавка, м^2.

Поплавок находится в состоянии равновесия, когда $F_1 = F_2 = \text{const}$ (силой трения в данном случае можно пренебречь). Следовательно, поскольку площадь лобовой поверхности поплавка не изменяется,

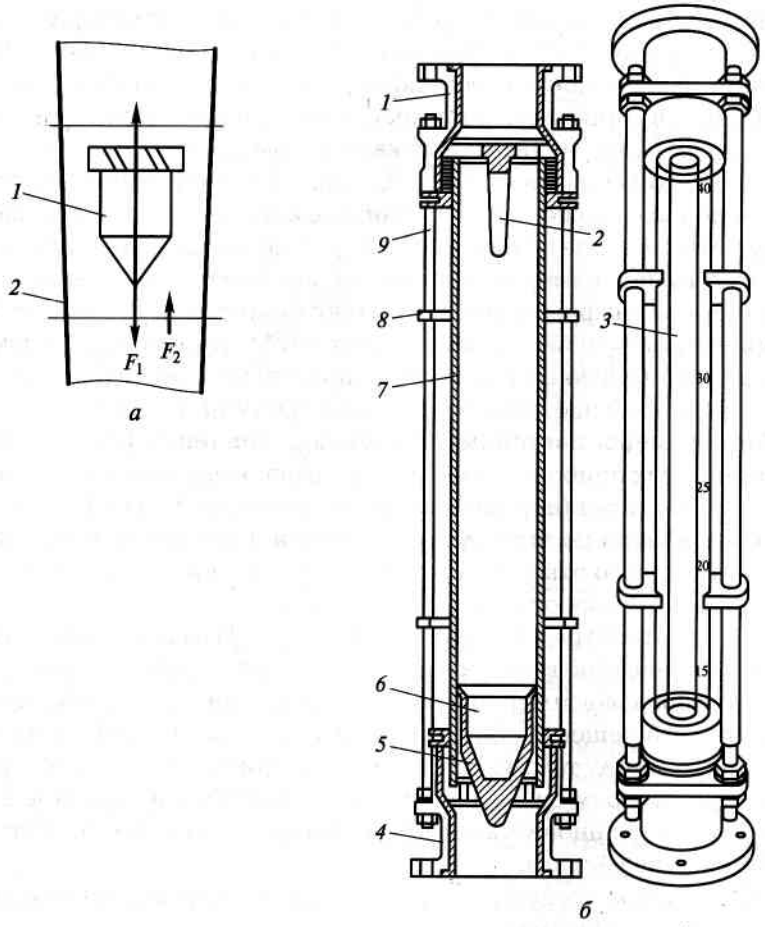


Рис. 6.7. Стеклянный ротаметр:
а — схема ротаметра; *б* — конструкция ротаметра

то и перепад давления будет постоянным, отсюда ротаметры и получили название расходомеров постоянного перепада давления.

Расход среды, протекающей через расходомер

$$Q = \alpha(S_т - S_п)\sqrt{(2/\rho)\Delta p},$$

где $S_т$ — площадь поперечного сечения трубки, соответствующая подъему поплавка на определенную высоту.

Из этой формулы следует, что при постоянном значении всех величин, кроме $S_т$, расход определяется по высоте подъема поплавка. Эту высоту в простейших (стеклянных) ротаметрах устанавливают визуально по положению верхней плоскости поплавка. Для отсчета на внешней поверхности трубки имеется равномерная шкала, отградуированная в единицах объема. Ротаметрами можно измерять малые расходы неагрессивных и агрессивных жидкостей и газов, они имеют большой диапазон измерения. Относительная погрешность ротаметров по всей шкале постоянная.

Ротаметры выпускают двух основных типов: стеклянные (показывающий) и с дистанционной (электрической или пневматической) передачей показаний на вторичный прибор (показывающие и бесшкальные).

Стеклянный ротаметр (рис. 6.7, *б*) состоит из стеклянной трубки *7*, закрепленной в металлических головках *1* и *4*, снабженных сальниковыми уплотнениями и фланцами для монтажа в вертикальном трубопроводе. Головки стянуты несколькими тягами *9*, которые вместе с поперечинами *8* образуют защитную решетку трубки. Внутри трубки *7* свободно перемещается поплавок *6*. В нижней головке находится седло *5*, на которое опускается поплавок при отсутствии потока, в верхней головке установлен ограничитель хода поплавка *2*. Шкала *3* нанесена непосредственно на поверхность трубки, отсчет по которой проводится по верхней горизонтальной плоскости поплавка. Для того чтобы по время измерения расхода поплавок находился в центре трубки и не касался ее стенок, в верхней части поплавка делают косые прорези, благодаря которым движущийся поток вращает поплавок и он центрируется в трубке. Стеклянные ротаметры выпускают с пределами измерений по воде до 3 000 л/ч, по воздуху — до 40 м^3/ч; предельное статическое давление 0,58 МПа (6 кгс/см^2), погрешность измерения составляет 2,5 %.

Ротаметры с дистанционной передачей показаний представлены двумя типами.

На рис. 6.8, *а* показана схема устройства ротаметра типа РЭД с электрической дифференциально-трансформаторной передачей показаний на расстояние. Измерительная часть прибора включает металлический корпус *3* с диафрагмой *4*, внутри которой перемещается поплавок *5* с жестко связанным с ним штоком *6*, на верхней части штока закреплен сердечник *7* дифференциально-трансформаторной катушки *2*, сердечник отделен от катушки разделительной трубкой *1* из немагнитного металла. Ротаметры этого типа выпускаются с пределами измерений по воде до 1 600 л/ч, статическим давлением 6,27 МПа, погрешностью измерения, равный 2,5 %.

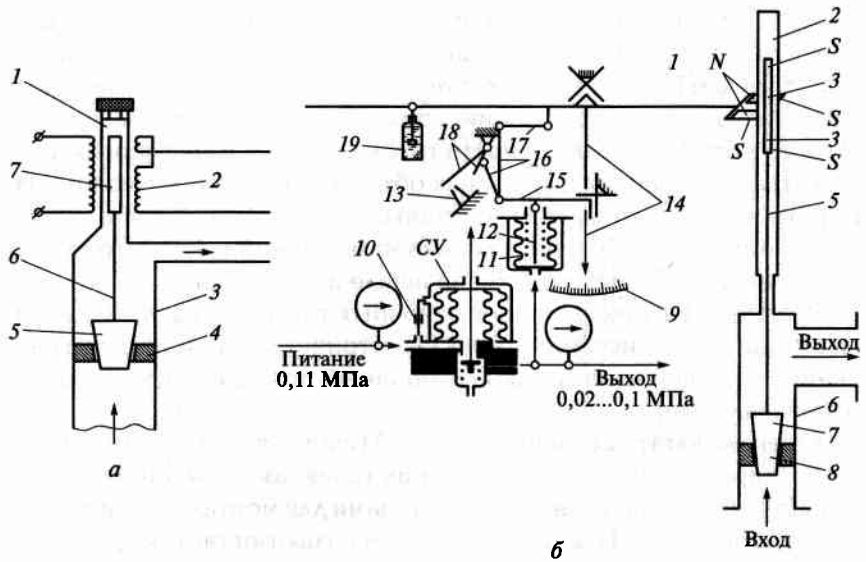


Рис. 6.8. Ротаметры с дистанционной передачей показаний:
а — с электрической; *б* — с пневматической

На рис. 6.8, *б* показана схема устройства ротаметра типа РПД с пневматической дистанционной передачей показаний. Измерительная часть ротаметра состоит из металлической трубки *6*, диафрагмы *8* и конического поплавка *7* со штоком *5*; на втором конце штока закреплены два цилиндрических магнита *3*, обращенные друг к другу одноименными полюсами *N* и *S*. Магниты перемещаются одновременно с поплавком внутри трубки *3*, выполненной из немагнитного материала. Снаружи трубку охватывает магнит *4*, укрепленный на рычаге *1*. Цилиндрические магниты *3* и магнит *4* образуют магнитную муфту, с помощью которой перемещение поплавка передается через рычаг *1* стрелке *14*, указывающей измеряемое значение расхода на шкале *9*, одновременно через рычаги *1* и *17* приводится в действие механизм пневматической дистанционной передачи.

Механизм пневматической дистанционной передачи состоит из дроссельной заслонки *18*, рычагов *16* и *17*, сопла *13*, постоянного дросселя *10*, сильфонного усилителя уровня и мощности выходного сигнала СУ и узла отрицательной обратной связи — сильфона *11*, штока *12* и промежуточного рычага *15*. Для уменьшения колебаний стрелки *14* и улучшения переходного процесса компенсации на рычаге *1* установлен демпфер *19*.

Электромагнитные расходомеры. Действие электромагнитных (индукционных) расходомеров основано на явлении электромагнитной индукции. При прохождении электропроводной жидкости через однородное магнитное поле в ней, как в движущемся проводнике, наводится электродвижущая сила

$$E = Blw_{ср},$$

где B — электромагнитная индукция в зазоре между полюсами магнита, Тл; l — расстояние между электродами, м; $w_{ср}$ — средняя скорость потока, м/с

или

$$E = 36 \cdot 10^{-5}(BQ_ж/D_т),$$

где $Q_ж$ — объемный расход жидкости, м^3/ч; $D_т$ — внутренний диаметр трубы, равный расстоянию между электродами, м.

На рис. 6.9 показана принципиальная схема индукционного расходомера ИР, включающая первичный преобразователь I и измерительный блок II. Первичный преобразователь расхода состоит из электромагнита *4*, немагнитной трубы *5*, покрытой изоляционным материалом (резина полиуретановая, эмаль, фторопласт), и двух электродов *6*, установленных диаметрально противоположно в одном поперечном сечении в стенке трубы *5*. Электромагнит создаст внутри трубы переменное магнитное поле. В движущемся по трубе потоке жидкости при пересечении магнитного поля образуется электродвижущая сила, которая снимается электродами. Причем выводы одного из электродов монтируются симметрично располо-

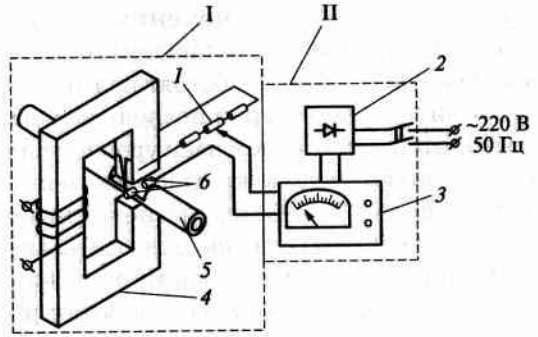


Рис. 6.9. Принципиальная схема индукционного расходомера:
I — преобразователь; II — измерительный блок

женными проводниками, замкнутыми на низкоомный потенциометр *1* для компенсации возникающей ЭДС трансформаторной помехи. Напряжение, получаемое от преобразователя расхода, снимается с движка потенциометра *1* и второго электрода. При настройке прибора (когда преобразователь расхода заполнен неподвижной жидкостью) изменением положения движка потенциометра выбирается точка, потенциал которой равен потенциалу другого электрода. Сигнал от преобразователя расхода подается по экранированному кабелю (для уменьшения емкостной помехи) на вход измерительного блока II. Все элементы измерительного блока: усилитель, трансформаторы, блок питания *2*, показывающий прибор *3* и элементы измерительной схемы собраны на одном шасси. В измерительном блоке поступивший сигнал преобразуется и унифицированный выходной сигнал постоянного тока (0...5 мА). Измерительный блок имеет шкалу с пределами измерений 0...100 %.

6.4. ВЕСЫ И ДОЗАТОРЫ

Весы. Предназначены для определения массы твердых, сыпучих и вязких материалов. По способу уравновешивания весы подразделяют на две основные группы: рычажные (коромысловые) и поворотные (квадрантные).

Рычажные весы (рис. 6.10, *а*) состоят из рычага *2* (системы рычагов), установленного на призменную опору *1*. На концах рычага укреплены чашки *3* и *4* на расстоянии l_1 и l_2 от точки опоры. На одну чашку помещают взвешиваемый груз массой m_1, на другую чашку — уравновешивающий груз массой m_2. Условие равновесия рычага выражается уравнением равенства моментов, создаваемых этими грузами: $m_1 l_1 = m_2 l_2$ откуда масса взвешиваемого груза $m_1 = m_2 l_2 / l_1$.

Поворотные весы (рис. 6.10, *б*) состоят из гибкой ленты *6*, огибающей шкив *2* радиуса *r*, на которой подвешена чашка *5* с грузом массой m_1. На рычаге *3*, длиной *R*, укреплен уравновешивающий груз *4* массой m_2. Рычаг и шкив расположены на одном валу. Момент M_1 силы тяжести взвешиваемого груза m_1 уравновешивается моментом M_2 силы тяжести постоянного груза m_2, следовательно, $M_1 = M_2$ или $m_1 r = m_2 R \sin\varphi$, откуда $m_1 = m_2 R \sin\varphi / r$. Каждому значению измеряемой массы соответствует определенный угол поворота φ рычага *3* и шкива *2*, с валом которого соединяется стрелочный указатель весов *1*.

Рычажные весы входят в группу приборов, предназначенных для лабораторных, метрологических и специальных измерений.

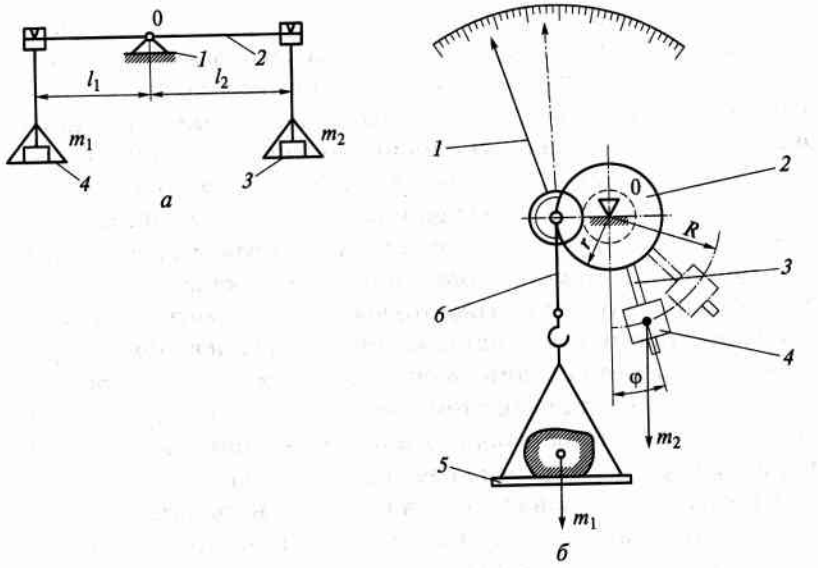


Рис. 6.10. Весы:
а — рычажные; *б* — поворотные

Квадрантные весы применяют как приборы общего назначения и как приборы технологические, а также широко используются в автоматических весоизмерительных установках.

Электротензометрическое весовое устройство (рис. 6.11) предназначено для автоматического взвешивания, загружаемых

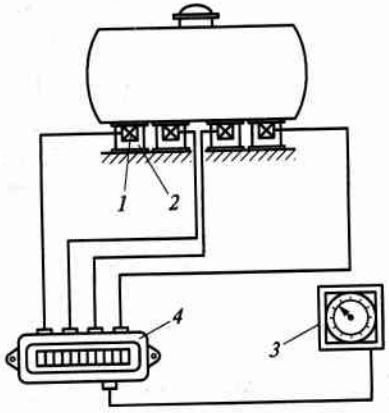


Рис. 6.11. Принципиальная схема электротензометрического устройства

емкостей, а также для дистанционного дозирования, если в емкости предусмотрены дискретная загрузка или отпуск материала.

Принцип действия устройства основан на компенсационном методе измерения напряжения, возникающего в измерительной диагонали преобразования деформации его упругого элемента во время приложения измеряемой нагрузки. Устройство состоит из измерительного прибора *3*, узла внешних соединений с кабелями *4* преобразователя *1*. Преобразователи устанавливаются в воспринимающие устройства *4* или опоры. В качестве измерительного прибора служит автоматический одноточечный тензометрический показывающий и регистрирующий с записью на дисковой диаграмме прибор с искробезопасной измерительной схемой. Измерительная схема прибора — типовая схема потенциометра, в котором плечи компенсационного моста образованы тензосопротивлениями. Шкала прибора проградуирована в единицах массы.

Дозаторы. Предназначены для непрерывного автоматического дозирования сыпучих материалов с заданной производительностью. На рис. 6.12 приведена схема конструкции автоматического дозатора непрерывного действия для сыпучих материалов.

Принцип действия дозатора основан на поддержании постоянной массы дозируемого материала на ленте весового транспортера путем увеличения или уменьшения скорости движения ленты питателя, следовательно, подачи материала. Дозатор состоит из вертикально перемещающегося грузоприемного бункера *1*; уравновешивающего механизма *9*, состоящего из индукционного датчика *2*,

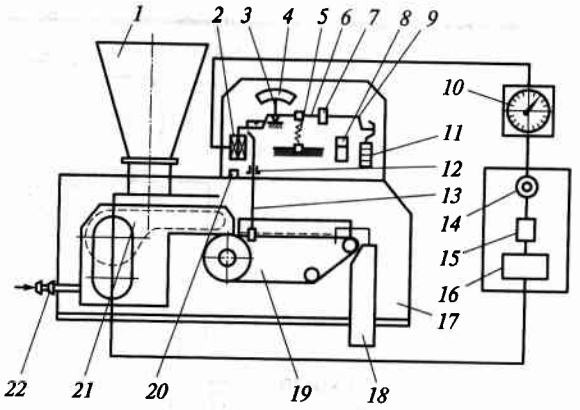


Рис. 6.12. Автоматический дозатор для сыпучих материалов

рычажной системы *6*, шкалы производительности *4* со стрелкой указателя *3*, силоизмерительной пружины *5*, тарных гирь *11*, передвижной гири *7* и гидравлического затвора *12*; подвески *13*, воспринимающей усилие от весового транспортера *19* на силоизмерительную пружину и индукционный датчик; ленточного питателя *21*, служащего весовой грузоприемной платформой и приводимого в движение синхронным двигателем с редуктором, которые расположены под транспортером; пылезащищенного корпуса *17* с двумя съемными дверцами. Для снятия резких колебаний рычажной системы в уравновешивающем механизме предусмотрен гидравлический демпфер *8*. Из дозатора материал выдается через воронку *18*. Защита от пыли коллектора электродвигателя ленточного питателя осуществляется путем подачи в него воздуха под давлением через штуцер *22*. Для монтажа дозатора в корпусе его установлен уровень *20*.

Дозатор работает следующим образом. Дозируемый материал через бункер поступает на ленточный питатель *21*, скорость движения ленты которого зависит от величины напряжения постоянного тока, подаваемого на двигатель (на обмотки катушек). Производительность питателя регулируется автоматическим изменением напряжения постоянного тока. Масса дозируемого материала, поступающего с ленты питателя на ленту весового транспортера *19*, воздействует на подвеску *13* и рычажную систему *6*, на силоизмерительную пружину *5* и индукционный датчик *2*. Силоизмерительная пружина деформируется от изменения нагрузки на ленту транспортера, что вызывает перемещение плунжера индукционного датчика и соответственно разбаланс напряжений на входе электронного дифференциально-трансформаторного прибора *10*. Позиционный регулятор прибора *10* подает сигнал на блок регулирования (реостат *15*, серводвигатель *14*) в виде напряжения постоянного тока. Блок регулирования через магнитный усилитель *16* изменяет напряжение постоянного тока, подаваемого на двигатель ленточного питателя *21*, изменяя скорость движения его ленты. Нагрузка на ленту транспортера определяется высотой слоя материала.

6.5. СЧЕТЧИКИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УЧЕТА ШТУЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

В процессе производства необходимо вести учет количества выработанной продукции, фасованной в различную тару (бутылки, банки, ящики). Для автоматического учета применяют различного

типа счетчики: механические, электромеханические, электромагнитные, фотоэлектрические и др.

Механический счетчик обычно является местным прибором, у которого преобразователи имеют рычажный или турникетный привод. На рис. 6.13, *а* показана конструкция механического счетчика рычажного типа. Механизм счетчика состоит из набора барабанов, связанных десятичной передачей. На барабаны нанесены цифры от 0 до 9. Первый барабан единиц приводится во вращение рычагом *5*, который поворачивается движущимся по транспортеру грузом и с помощью защелки *4* и храпового колеса *3* перемещает барабан на один шаг. Защелка *6* барабана десятков не достигает зубцов своих храповых колес, так как барабан единиц справа опирается площадкой на борт барабана десятков, а лапка *1* — на его защелку. Когда барабан единиц сделает полный оборот, защелка *6* барабана десятков попадает в прорезь *2* бортика барабана справа и одновременно в зацепление с храповым колесом барабана десятков, поворачивая его на $^1/_{10}$ оборота.

На рис. 6.13, *б* показана схема конструкции механического счетчика турникетного типа. Счетчик состоит из преобразователя звезды *5* с шестью металлическими пальцами *4*, жестко закрепленными на валу *6*. На конце вала закреплена шестигранная втулка *1*, фиксирующая каждое положение вала. Грани втулки взаимодействуют с прерывателем *2*, который соединен со счетным устройством *3* посредством пружины и рычага. Вал *6* установлен в подшипниках *7*, в корпусе которых вмонтированы фиксирующие механизмы, удерживающие вал от произвольного вращения. Двигаясь по транспортеру, штучные грузы наталкиваются на пальцы звезды и поворачивают ее вместе с валом на $^1/_6$ оборота, счетное устройство при этом производит отсчет.

Электромеханический счетчик представляет собой прибор с дистанционной передачей измерений (рис. 6.13, *в*). Счетчик состоит из механического преобразователя, микровыключателя и счетного устройства, Преобразователь счетчика представляет собой фиксирующую крестовину *2*, изготовленную из двух стальных листов *6*, между которыми проложена выступающая резиновая прокладка *14*. Пластины скреплены болтами *5*. Крестовина установлена на фланец *12* и закреплена гайкой *4*. Внутри фланца проходит центрирующий фланец *7* с гайкой *3*. К фланцу *7* приварен упорный кронштейн *8* с двумя болтами *9* для крепления узла счетчика. Для торможения преобразователя при прохождении по транспортеру *1* штучного груза во фланцах *7* и *12* установлены четыре фиксатора, каждый из которых состоит из пружины *11* и шарика *10*. Фиксаторы обеспечивают поворот преобразователя только под воздействием очередного штучного груза. При повороте преобразователь упорами *13* воздействует на микровыключатель, который подключен в электрическую цепь счетного устройства типа СЭИ, установленного рядом на щите.

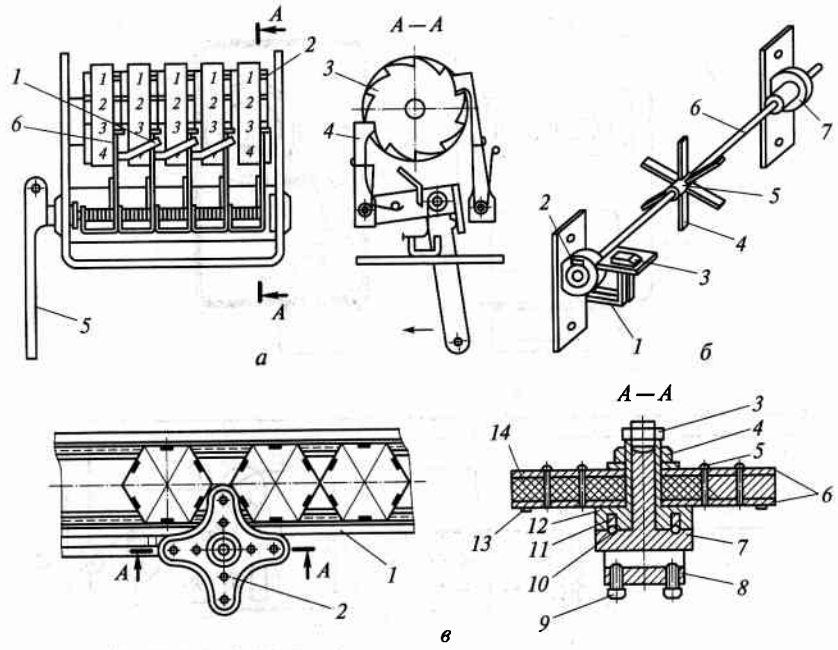


Рис. 6.13. Механические счетчики штучной продукции:
а — рычажный; *б* — турникетный; *в* — электромеханический

Электромагнитный счетчик (рис. 6.14, *а*) включает в себя следующие элементы: роликовый счетный механизм *1* обычной конструкции, ось *2* которого вращается с помощью храпового колеса *3*, насаженного на ту же ось, и собачки *4*, насаженной на ось *5*; электромагнитный привод, состоящий из электромагнита *7*, якоря *9* с рычажком *8*, возвратной пружины *10* и цепи управления *6*. Усилием штучного груза, перемещающегося с лентой транспортера, кратковременно (импульсно) замыкается кнопочный выключатель цепи управления, ток подается на катушку электромагнита *7*, якорь *9* притягивается и собачка *4* храпового механизма повернет храповое колесо на один шаг, счетчик зафиксирует одну штуку груза и т.д.

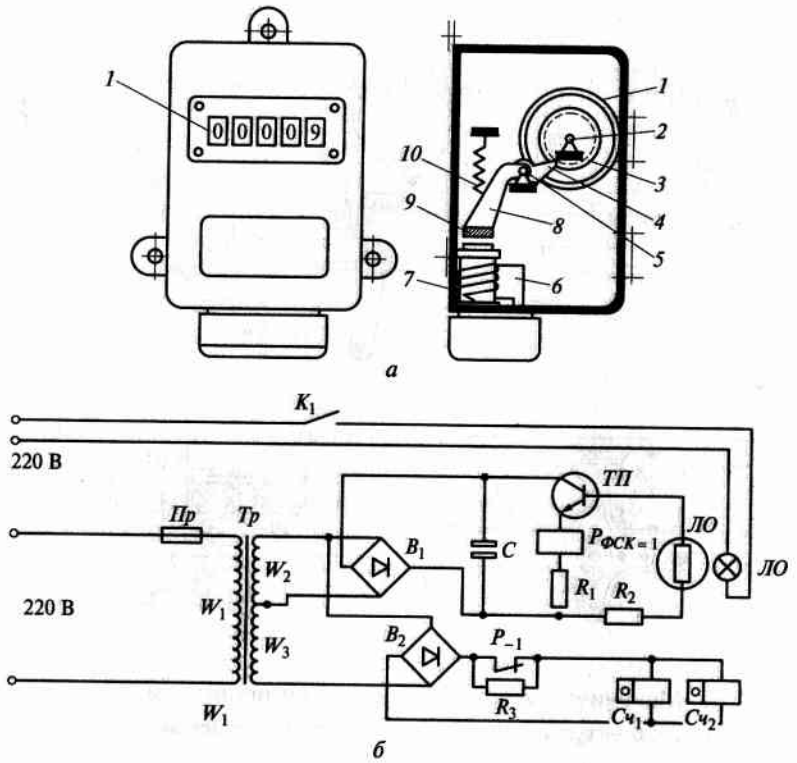


Рис. 6.14. Электрические счетчики штучной продукции:
а — электромагнитный; *б* — фотоэлектрический

Фотоэлектрический счетчик — это бесконтактный прибор, предназначенный для учета непрозрачной штучной продукции передвигаемой транспортером, например коробов, ящиков и др. На рис. 6.14, *б* приведена принципиальная электрическая схема фотоэлектрического счетчика типа СФЭ. Конструктивно счетчик состоит из трех блоков. Первый блок содержит осветитель и трансформатор и монтируется по одну сторону транспортера, второй блок содержит фотосопротивление и объектив и монтируется по другую сторону транспортера. Третий блок, включающий остальные элементы электрической схемы и импульсный счетчик, монтируется на щите. Работа счетчика заключается в следующем. Штучный груз, передвигаясь с транспортером между осветительной лампой ЛО и фотосопротивлением ФСК-1, прерывает луч света, падающий на фотосопротивление. В этот момент электрическое сопротивление

его резко возрастает, ток в цепи транзистора ТП падает, реле *Р* обесточивается и нормально разомкнутым контактом P_1 замыкает цепь питания импульсных счетных механизмов $Сч_1$ и $Сч_2$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В какую величину преобразуется изменение массы в поворотных весах? **2.** Какая измерительная схема используется в электротензометрических весовых устройствах? **3.** На чем основан принцип действия весового дозатора? **4.** Какие типы механических счетчиков вы знаете? **5.** Для чего служит электромагнит в электромагнитном счетчике? **6.** Для чего служит осветительная лампа в фотоэлектрическом счетчике? **7.** В чем разница между счетчиком и расходомером? **8.** Какие чувствительные элементы используются в скоростных счетчиках? **9.** За счет чего происходит вращение рабочих элементов в объемных счетчиках? **10.** Какие виды отсчетных устройств вы знаете? **11.** Какой измерительный прибор используют в расходомерах переменного перепада? **12.** За счет чего происходит вертикальное перемещение поплавка в ротаметрах? **13.** В чем основной недостаток электромагнитных расходомеров?

Глава 7

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЖИДКИХ И СЫПУЧИХ ТЕЛ

7.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ

В пищевой промышленности используют приборы для контроля уровня жидких и сыпучих тел. По своему назначению приборы для контроля уровня подразделяют на сигнализаторы уровня и индикаторы уровня. *Сигнализаторы уровня* контролируют определенные, предельные значения уровня. *Индикаторы уровня* предназначены для непрерывного, текущего контроля уровня.

По принципу действия наиболее широко распространены следующие приборы:

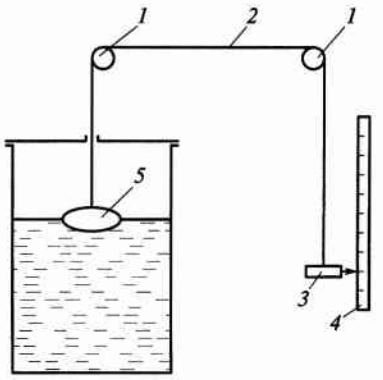
- поплавковые;
- буйковые;
- пьезометрические;
- уровнемеры-дифманометры;
- кондуктометрические;
- емкостные.

Общим недостатком поплавковых и буйковых приборов является большая поверхность контакта чувствительного элемента с продуктом, невозможность контроля уровня вязких («липучих») сред, контроль только верхнего уровня жидкости, значительная инерционность.

7.2. ПОПЛАВКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Принцип действия поплавковых приборов основан на зависимости вертикального перемещения поплавка, свободно плавающего на поверхности жидкости, от ее уровня.

Рис. 7.1. Схема контроля уровня поплавковым прибором



На рис. 7.1 показано простейшее устройство с плавающим поплавком. Поплавок *5* плавает на поверхности контролируемой среды. Тросом *2*, перекинутым через ролики *1*, он соединен с грузом *3* для поддержания постоянного натяжения троса, к грузу прикреплена стрелка, показывающая на шкале *4* уровень жидкости.

Недостатками поплавковых индикаторов уровня являются перевернутая шкала (с нулем у верхнего края бака), трудность отсчета в начале шкалы у высокого резервуара, погрешность из-за изменения силы натяжения троса (при подъеме уровня к силе тяжести груза прибавляется сила тяжести троса).

Поплавковые приборы в основном применяют как сигнализаторы уровня. На рис. 7.2 показана схема сигнализатора типа ПРУ-5. Широко применяется во вспомогательных технологических процессах — холодильных установках. Сигнализатор состоит из первичного преобразователя (рис. 7.2, *а*) и электронного релейного усилительного блока, соединяемых между собой через штекерный разъем $Ш_1$ (рис. 7.2, *б*). Первичный преобразователь состоит из металлического цилиндрического корпуса *3*, соединенного трубками *2* с резервуаром *1*, в котором контролируется жидкость, как сообщающийся сосуд. На поверхности жидкости внутри преобразователя плавает полый металлический поплавок *5*. Он является сердечником для окружающих внутреннюю камеру индукционных катушек *6*. Вертикальное перемещение поплавка ограничивается сетками *4*. На рис. 7.2, *б* показана принципиальная схема сигнализатора. Индукционные обмотки L_1 и L_2, находящиеся в первичном преобразователе, вместе с резисторами R_1, R_2 и R_3 электронного блока образуют неуравновешенную индуктивно-резистивную мостовую схему. Диагональ питания *AB* питается от сети ~220 В через понижающий

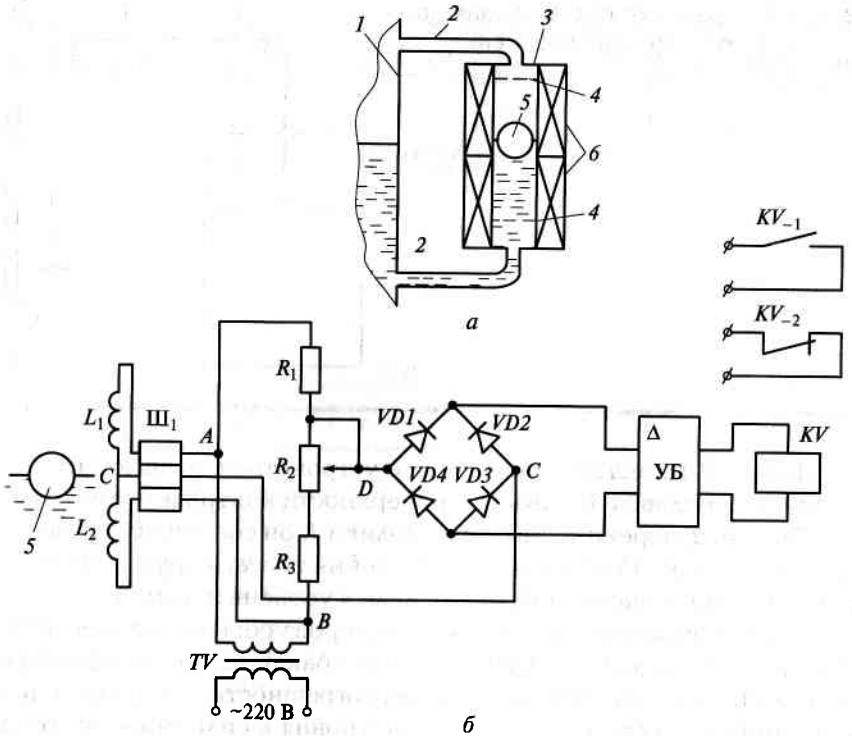


Рис. 7.2. Сигнализатор уровня типа ПРУ-5:
а — схема датчика; *б* — принципиальная схема

трансформатор напряжения *TV*. Измерительная диагональ *CD* подключена на вход диодного мостикового выпрямителя $VD_1 \ldots VD_4$, выход которого соединен со входом усилительного блока УБ. К его выходу подключено электромагнитное реле напряжения *KV*.

Прибор работает следующим образом. Когда поплавок находится внизу, индуктивные сопротивления катушек таковы, что мостовая схема находится в состоянии близком к равновесному, и сигнал, поступающий на УБ, близок к нулю. По мере подъема уровня жидкости в резервуаре поплавок начинает всплывать. При этом изменяются индуктивные сопротивления катушек и наступает разбаланс мостовой схемы. На вход УБ поступает электрический сигнал разбаланса, возрастающий по мере подъема уровня. Когда уровень достигает максимально заданного, на выходе УБ появляется напряжение, вызывающее срабатывание реле *KV*. Замыкающий контакт KV_1 замыкается, а размыкающий KV_2 размыкается. Один из контактов управляет исполнительным механизмом подачи жидкости в резервуар. При этом подача жидкости прекращается и уровень начинает уменьшаться. Поплавок перемещается вниз, сигнал разбаланса уменьшается, что вызывает отключение реле *KV*. Когда поплавок занимает нижнее положение, схема приходит в начальное состояние. Резистор R_2 служит для настройки прибора на верхний предел контролируемого уровня.

7.3. БУЙКОВЫЕ УРОВНЕМЕРЫ

В буйковых уровнемерах чувствительным элементом также является поплавок, но в отличие от поплавковых, он изменяет глубину своего погружения, при изменении уровня жидкости. Принцип действия основан на изменении выталкивающей силы (сила Архимеда), действующей на тело, погруженное в жидкость.

На рис. 7.3 показана схема буйкового уровнемера с пневматической передачей показаний на расстояние. Поплавок *1* подвешен к рычагу *2*, укрепленному на конце упругой пружинной трубки *3*. Поплавок своей тяжестью закручивает трубку *3* и стальной стержень *4*, который находится внутри трубки *3* и одним концом плотно связан с ней. Угол закручивания пропорционален силе тяжести *G* поплавка *1* и изменяется при изменении уровня жидкости из-за изменения выталкивающей силы погруженной части поплавка:

$$G_в = HS\rho g,$$

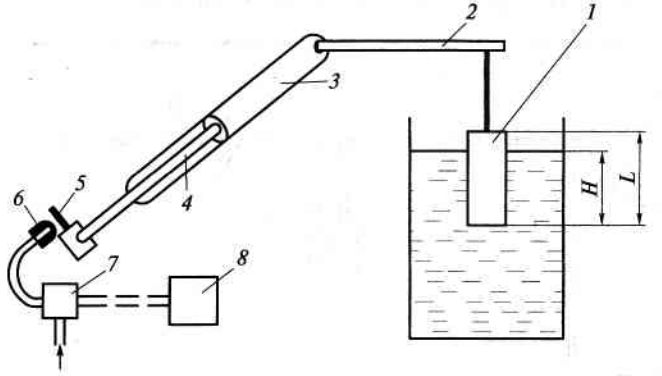


Рис. 7.3. Буйковый уровнемер с пневматической СДПП

где H — глубина погруженной части, м; S — площадь поперечного сечения, м^2; ρ — плотность жидкости, кг/м^3; g — ускорение свободного падения (g = 9,81 м/с^2).

Собственный вес поплавка рассчитан так, чтобы при полном его погружении в жидкость он не всплывал.

На свободном конце стержня *4* укреплена заслонка *5*. При повороте стержня торсионной трубки заслонка отклоняется относительно сопла *6* на такой же угол. В результате пропорционально изменяется давление воздуха на входе в пневмоусилитель *7*. Усиленный по мощности (по расходу воздуха) пневмосигнал далее передается к показывающему прибору *8*, шкала которого отградуирована в единицах уровня.

7.4. ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЕ УРОВНЕМЕРЫ

Принцип действия основан на зависимости гидростатического давления в определенной точке жидкости, от глубины ее погружения. Прибор, показанный на рис. 7.4, действует следующим образом. По пневмоприводу *2* подается сжатый воздух, расход и давление которого регулируется редуктором-стабилизатором давления *1*. Затем воздух проходит очистку в фильтре *3* и поступает через контрольный сосуд *4* в пневмопривод *5*, глубина погружения H которого находится в прямой зависимости от уровня жидкости в сосуде *7*. В пневмоприводе создается давление $p_2 = \rho g H + p_a$, где p_a — давление на свободной поверхности жидкости, Па.

Таким образом, при постоянных ρ, g и p_a давление p_2 является функцией H, $p_2 = f(H)$. Это давление измеряется манометром *6*, шкала которого отградуирована в единицах уровня.

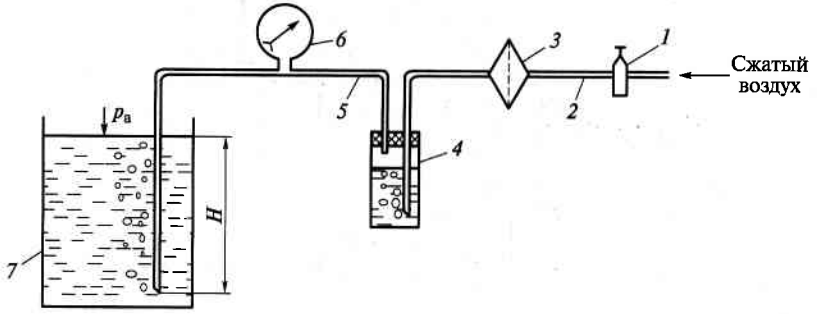


Рис. 7.4. Пьезометрический уровнемер

Достоинством прибора является простота конструкции и возможность использования как в качестве индикатора, так и сигнализатора уровня (это определяется конструкцией манометра, который может быть снабжен контактными устройствами).

К недостаткам относятся зависимость показаний от колебаний давления на свободной поверхности p_a и изменения плотности ρ (при изменении температуры). Кроме того, устройство требует наличие сжатого воздуха высокой степени очистки. При пропускании воздуха через контролируемую среду она насыщается кислородом, что создает благоприятные условия для развития микрофлоры, а также может происходить вспенивание продукта.

7.5. УРОВНЕМЕРЫ-ДИФМАНОМЕТРЫ

Устройство состоит из уравнительного сосуда *2* и дифференциального манометра *3*, подсоединяемых к контролируемому резервуару *1* по схеме, приведенной на рис. 7.5. Дифференциальный манометр используется в качестве измерительного прибора. Уравнительный сосуд обеспечивает постоянную высоту столба жидкости H_2, подаваемую в «минусовую» измерительную камеру дифманометра. Постоянство высоты столба обеспечивается непрерывными сливом и подачей рабочей жидкости в сосуд. К другой камере («плюсовой») подсоединяется резервуар, в котором контролируется уровень жидкости H_1. Дифманометр измеряет перепад давления Δp, Па, который рассчитывается по формулам:

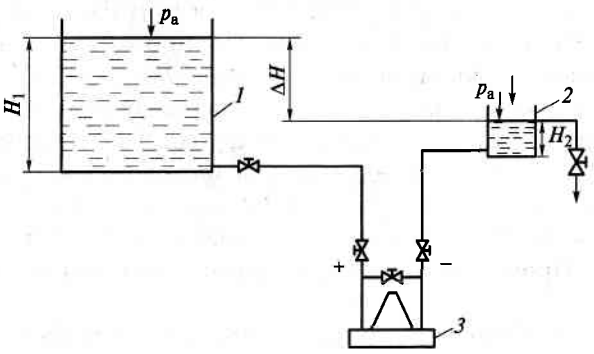


Рис. 7.5. Уровнемер-дифманометр

$$\Delta p = (p_a + H_1\rho_1 g) - (p_a + H_2\rho_2 g);$$

$$\Delta p = H_1\rho_1 g - H_2\rho_2 g; \qquad (7.1)$$

где ρ_1 — плотность контролируемой жидкости, кг/м^3; ρ_2 — плотность рабочей жидкости в уравнительном сосуде, кг/м^3.

Так как величина H_2 = const, то при постоянных ρ_1 и ρ_2 измеряемый перепад давления зависит только от H_1, т. е. уровня жидкости в резервуаре. Если в уравнительном сосуде используется та же жидкость, что и контролируемая, то уравнение (7.1) приобретает вид:

$$\Delta p = \rho g(H_1 - H_2).$$

Достоинства уровнемеров-дифманометров те же, что и пьезометрических. Кроме того, их использование не зависит от колебаний давления на свободной поверхности (для открытых резервуаров).

Недостатки: громоздкость конструкции, необходимость постоянной подпитки рабочей жидкостью уравнительного бачка, зависимость показаний от плотности (температуры) жидкости.

7.6. КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЕ УРОВНЕМЕРЫ

Принцип действия основан на замыкании электрической измерительной цепи, при достижении продуктом определенного уровня — уровня установки первичного преобразователя. Применяются в основном, как сигнализаторы уровня.

На рис. 7.6, *а* показано устройство первичного преобразователя сигнализатора уровня типа ЭРСУ. Он состоит из изолированного электрода *8* постоянной длины и неизолированного электрода *5*, длину которого можно изменять. Штуцер *9* служит для установки датчика в стенке резервуара, а пластмассовый колпачок *3* фиксатором датчиков внутри корпуса. Электроды *5* и *8* соединены наконечником *7* и гайкой *6*. Усадка фторопластового изолятора электрода *8* компенсируется пружиной *4*. Соединительный провод подключается к электроду гайками *2*, которые изолируются резиновым колпачком. Провод от корпуса резервуара подсоединяется к лепестку *10*.

На рис. 7.6, *б* показана схема контроля уровня трехканальным сигнализатором. К электронному блоку прибора ЭБ подсоединены три датчика *2* нижнего уровня ДНУ, среднего ДСУ и верхнего ДВУ.

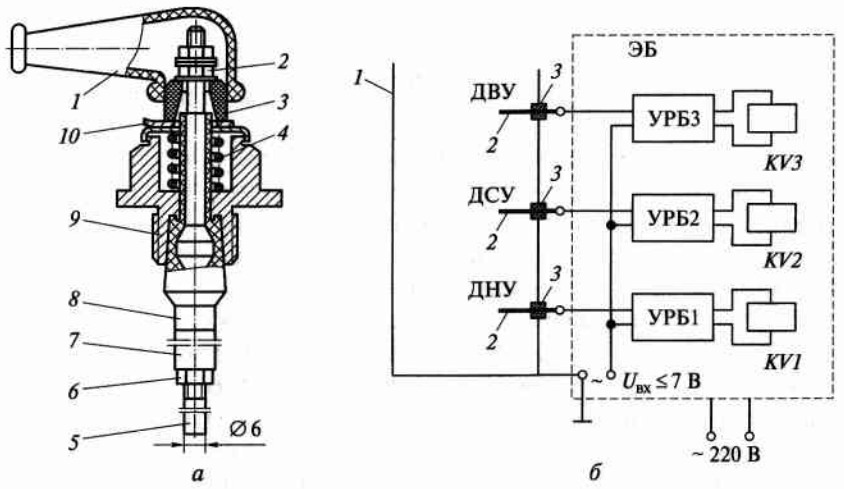


Рис. 7.6. Кондуктометрический сигнализатор уровня:
а — конструкция датчика; *б* — схема контроля уровней

Датчики установлены в стенке резервуара *1* через изолирующие прокладки *3*. Каждый из датчиков подключен к усилительному релейному блоку (УРБ) УРБ1 ... УРБ3. На выходе УРБ установлены электромагнитные реле *KV*1 ... *KV*3. При достижении уровня жидкости соответствующего датчика, через нее замыкается цепь входного напряжения $U_{вх}$ на соответствующий УРБ, что вызывает срабатывание выходного реле *KV* и замыкание и размыкание его контактов (на схеме не показаны).

Достоинством кондуктометрических сигнализаторов является возможность контроля нескольких уровней и высокая точность срабатывания. Основной недостаток заключается в невозможности контроля уровня неэлектропроводящих сред.

7.7. ЕМКОСТНЫЕ ПРИБОРЫ

Принцип действия основан на зависимости электрической емкости конденсатора от относительной диэлектрической проницаемости среды, которая изменяется для разных веществ от 1 (воздух, вакуум) до 81 (вода).

Емкость коаксиального цилиндрического конденсатора *C*, пФ, определяется выражением

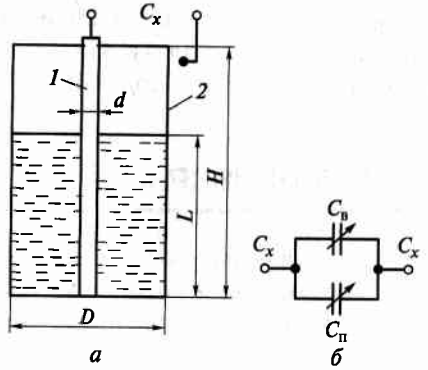
$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon L_э}{\ln\frac{D}{d}},$$

где ε_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ε — относительная диэлектрическая проницаемость вещества, находящегося между электродами конденсатора; $L_э$ — длина электродов, мм; D — внутренний диаметр наружного электрода, мм; d — наружный диаметр внутреннего электрода, мм.

На рис. 7.7, *а* показана схема контроля уровня емкостным методом. В резервуар *2* высотой H опущен металлический стержень *1*, имеющий внешнее диэлектрическое фторопластовое покрытие. Корпус резервуара является наружным электродом, а стержень внутренним. Высота уровня продукта в резервуаре — L. Общая емкость такого конденсатора C_x может быть представлена схемой замещения (рис. 7.7, *б*). При параллельном соединении конденсаторов их общая емкость равна сумме составляющих $C_x = C_в + C_п$, где $C_в$ — электрическая емкость части резервуара, заполненной воздухом, пФ; $C_п$ — электрическая емкость части резервуара, заполненной продуктом, пФ.

Значения электрических емкостей рассчитываеются по формулам:

$$C_в = \frac{2\pi\varepsilon_в\varepsilon_0(H-L)}{\ln\frac{D}{d}}; \quad C_п = \frac{2\pi\varepsilon_п\varepsilon_0 L}{\ln\frac{D}{d}},$$



а *б*

Рис. 7.7. Контроль уровня емкостным методом:
а — схема контроля; *б* — схема замещения

в результате получаем

$$C_x = \frac{2\pi\varepsilon_п\varepsilon_0 L}{\ln\frac{D}{d}} + \frac{2\pi\varepsilon_в\varepsilon_0(H-L)}{\ln\frac{D}{d}}.$$

Учитывая, что $\varepsilon_в = 1$, окончательно получаем:

$$C_x = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{d}}\left[\varepsilon_п L + (H-L)\right].$$

Для определенного продукта $\varepsilon_п$ = const, поэтому в правой части уравнения переменной величиной является только уровень продукта L. Таким образом получим пропорциональную зависимость $C_x = f(L)$.

Емкостные приборы выпускают в виде сигнализаторов и индикаторов уровней.

Емкостной сигнализатор уровня. Состоит из датчика стержневого типа и электронного блока, соединенных коаксиальным кабелем. Устройство датчика аналогично датчику кондуктометрического сигнализатора, но электрод покрывается оболочкой из фторопласта. Используют резонансный метод измерения, при этом контролируемая электрическая емкость, включенная параллельно с индуктивностью, образует резонансный контур. Контур, настраивается на резонанс питающей частоты при определенной начальной электрической емкости преобразователя, которая соответствует наличию или отсутствию контролируемого вещества на заданном уровне. Изменение этой емкости, при определенном уровне, приводит к изменению собственной частоты контура и срыву резонанса.

На рис. 7.8 показана упрощенная принципиальная схема емкостного сигнализатора уровня. Основной частью схемы является колебательный контур, состоящий из индуктивности $L_д$ и емкости катушки $C_д$, который вместе усилительным релейным блоком УРБ образует резонансный контур. Контур подключается к напряжению через трансформаторную связь *TV* от генератора тока высокой частоты ГВЧ, а устройства ГВЧ и УРБ — к блоку питания БП. Резонансный генератор настраивается таким образом, чтобы генерация срывалась при изменении уровня среды на величину, больше допустимой. При этом на выходе УРБ появляется напряжение тока низкой частоты, которое вызывается срабатываие электромагнитного реле *KV*.

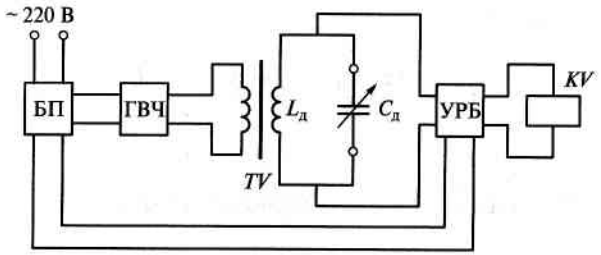


Рис. 7.8. Схема емкостного сигнализатора уровня

Емкостной индикатор уровня состоит из емкостного первичного преобразователя, соединенного коаксиальным кабелем с электронным блоком. К выходу электронного блока подключается измерительный прибор (милливольтметр или потенциометр). Датчик монтируется на крышке резервуара.

Упрощенная электрическая схема прибора показана на рис. 7.9. Схема состоит из генератора высокой частоты ГВЧ, измерительной схемы, представляющей собой индуктивно-емкостной неуравновешенный мост и усилительного блока УБ. К его выходу подключаются измерительный прибор мВ. Отдельные элементы схемы получают напряжение от блока питания БП. Индуктивно-емкостная мостовая схема состоит из индуктивностей L_1, L_2, подстроечной емкости $C_п$ и емкости датчика $C_д$. Схема питается от ГВЧ через трансформаторную связь *TV*. Диагональ питания *CD*. Измерительная диагональ *AB* подключена на вход УБ. При изменении уровня контролируемой среды, меняется степень разбаланса мостовой схемы. Сиг-

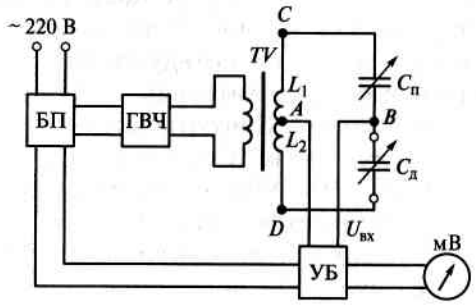


Рис. 7.9. Схема емкостного индикатора уровня

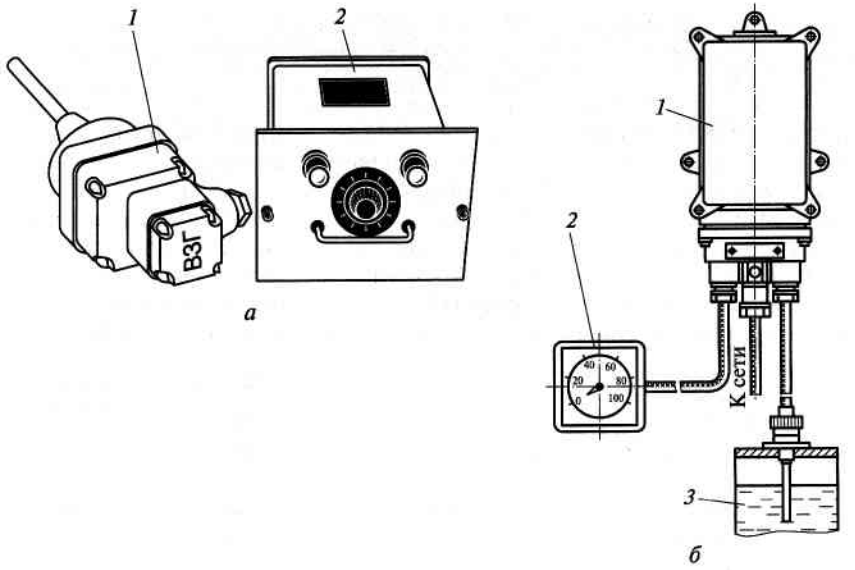


Рис. 7.10. Общий вид емкостных приборов:

а — емкостной сигнализатор: *1* — датчик; *2* — силовой блок; *б* — емкостной индикатор: *1* — электронный блок; *2* — измерительный прибор; *3* — датчик

нал разбаланса через УБ передается на измерительный прибор, шкала которого отградуирована в единицах уровня.

На рис. 7.10, *а* показан общий вид емкостного сигнализатора типа ЭСУ, а на рис. 7.10, *б* — емкостного индикатора типа ЭИУ-2. Особенностью сигнализатора МЭСУ является то, что измерительная часть вмонтирована в датчик и сам прибор представляет собой силовой блок. Это позволяет соединить датчик и блок обычными проводами, что повышает дистанционность контроля.

Основной недостаток емкостных приборов — зависимость от внешних электромагнитных полей из-за наличия в измерительных схемах индуктивностей. В них возникает токи самоиндукции, что приводит к ложным срабатываниям сигнализаторов и погрешности в показаниях индикаторов. Поэтому электронные блоки приборов помещают в металлический корпус — экран, а датчик с блоком соединяют экранированным коаксиальным кабелем, что снижает дистанционность передачи сигнала. Достоинством приборов является возможность контроля уровня любых жидких сред (проводящих и непроводящих), а также уровня сыпучих материалов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как классифицируются приборы для контроля уровней? **2.** Какая измерительная схема используется в поплавковом сигнализаторе уровня? **3.** В чем принципиальное отличие поплавковых и буйковых приборов? **4.** В чем достоинство уровнемеров-дифманометров, по сравнению с пьезометрическими? **5.** В чем недостаток кондуктометрических сигнализаторов уровня? **6.** От какой величины зависит чувствительность емкостных приборов? **7.** Какие измерительные схемы используются в емкостных сигнализаторах и индикаторах уровня? **8.** В чем основное преимущество емкостных сигнализаторов, по сравнению с кондуктометрическими?

Глава 8

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ И СОСТАВА ВЕЩЕСТВА

8.1. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ СОСТАВА ЖИДКОСТИ

Потенциометрические концентратомеры (pH-метры). Дистиллированная вода диссоциирует на ионы водорода H^+ и ионы гидроксильного остатка OH^-

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-.$$

В нейтральном растворе концентрация ионов H^+ и OH^- одинакова:

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}.$$

Отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов называется ***водородным показателем*** и обозначается pH:

$$pH = -\lg[H^+].$$

Для нейтральной среды (дистиллированная вода) pH = 7.

При увеличении концентрации водородных ионов среда приобретает кислотные свойства, а при уменьшении — щелочные. Для кислых сред pH < 7, а для щелочных pH > 7.

Принцип действия pH-метров основан на зависимости свойств среды от концентрации водородных ионов. На рис. 8.1 показана измерительная схема pH-метра. В сосуд с контролируемой средой *10* помещается измерительный электрод *11*. Он представляет собой стеклянную пробирку, на конце которой находится шарик *9* из специального литиевого стекла. Внутри электрода находится стержень *12* из бромистого серебра. Пробирка заполняется раствором бромисто-водородной кислоты HBr и закрывается пробкой *1*. При опускании электрода в контролируемый раствор ионы лития на поверхности шарика замещаются на ионы водорода из раствора и

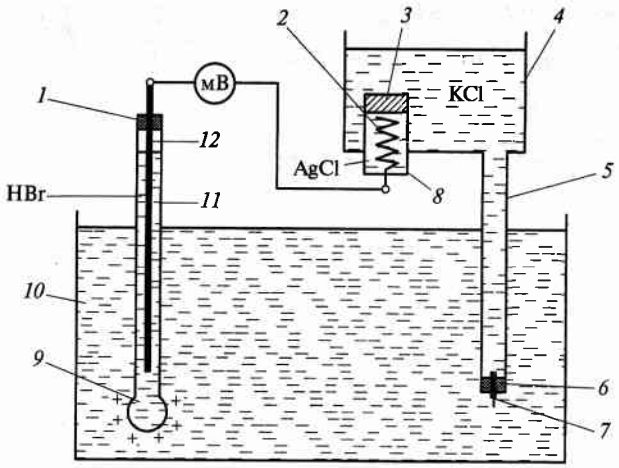


Рис. 8.1. Измерительная схема pH-метра

электрод приобретает положительный электрический потенциал E_x, тем больший, чем больше концентрация ионов водорода, т. е. кислотность среды. Для создания разницы электрических потенциалов служит вспомогательный хлорсеребряный электрод *8*. Он представляет собой стеклянную колбу, в которой находится серебряная спираль *2*. На конце спирали, выведенной из электрода, находится клемма для подсоединения внешнего провода. Электрод заполняется раствором хлористого серебра AgCl и электрод закрывается пористой пробкой *3*. При химическом взаимодействии серебра с раствором AgCl, электрод приобретает постоянный электрический потенциал $E_п$. Для замыкания электрической цепи служит электролитический ключ *4*, представляющий сосуд с трубкой *5*, опущенный в контролируемый раствор. Трубка затыкается пробкой *6*, сквозь которую пропущен матерчатый фитилек *7*. Ключ заполняется раствором хлористого калия KCl. Электрический контакт между растворами AgCl и KCl происходит через пористую пробку (перегородка) *3*, а между раствором KCl и контролируемой средой медленным (около 4 мл/сут) перетеканием раствора KCl по фитильку в контролируемую среду. В качестве измерительного прибора используется специальный милливольтметр или преобразователь сигнала с высокоомным входом, подключаемые к клеммам измерительного и вспомогательного электродов. На входе в измерительный прибор формируется падение напряжения $\Delta E = E_x - E_п = f(E_x)$, т. е. пропорциональное потенциалу измерительного электрода.

Приборы широко применяются для контроля кислотности (щелочности) продуктов в основных технологических процессах пищевых производств.

Кондуктометрические концентратомеры. Принцип действия основан на зависимости электрической проводимости электролита от его концентрации. Для водных растворов проводимость возрастает до концентрации примерно 40 %, что объясняется увеличением количества носителей электрических зарядов — ионов, а затем начинает падать из-за влияния Броуновского, хаотического движения ионов.

Приборы широко применяются для измерения концентрации моющих растворов при автоматизированной мойке оборудования и трубопроводов.

На рис. 8.2, *а* показана схема конструкции первичного преобразователя кондуктометрических концентратомеров КК-8 и КК-9, предназначенных для измерения концентрации чистых и загрязненных водных растворов кислот, солей и щелочей. Первичный преобразователь приборов бесконтактный индукционного типа, проточного или погружного исполнения. Чувствительная часть преобразователя состоит из двух тороидальных трансформаторов — силового *5* и измерительного *6*, разделенных электростатическим экраном, и встроенного термистора для температурной компенсации. Измерительный трансформатор имеет две обмотки — измерительную и компенсационную. Чувствительная часть первичного преобразователя помещена в корпус *4* из полипропилена и закрыта заглушкой *7*, которая приварена к корпусу. Первичный преобразователь погружного исполнения крепится к штанге *3*, закрепленной на фланце *2*, в котором размещена клеммная коробка *1*. Первичный преобразователь проточного исполнения заключен в специальный корпус с фланцами для установки в трубопроводе. Принцип действия прибора заключается в бесконтактном измерении сопротивления жидкостного контура связи, электрически связывающего оба тороидальных трансформатора первичного преобразователя.

Принципиальная электрическая схема концентратомеров КК-8, КК-9 показана на рис. 8.2, *б*. Жидкостной контур связи ЖК, образованный потоком контролируемого раствора, протекающего через первичный преобразователь, является вторичной обмоткой по отношению к силовому трансформатору I. Сила тока в контуре связи пропорциональна его электрической проводимости. Изменение силы тока в контуре связи изменяет наводимое им напряжение в измерительной обмотке II. По отношению к этой обмотке жидко-

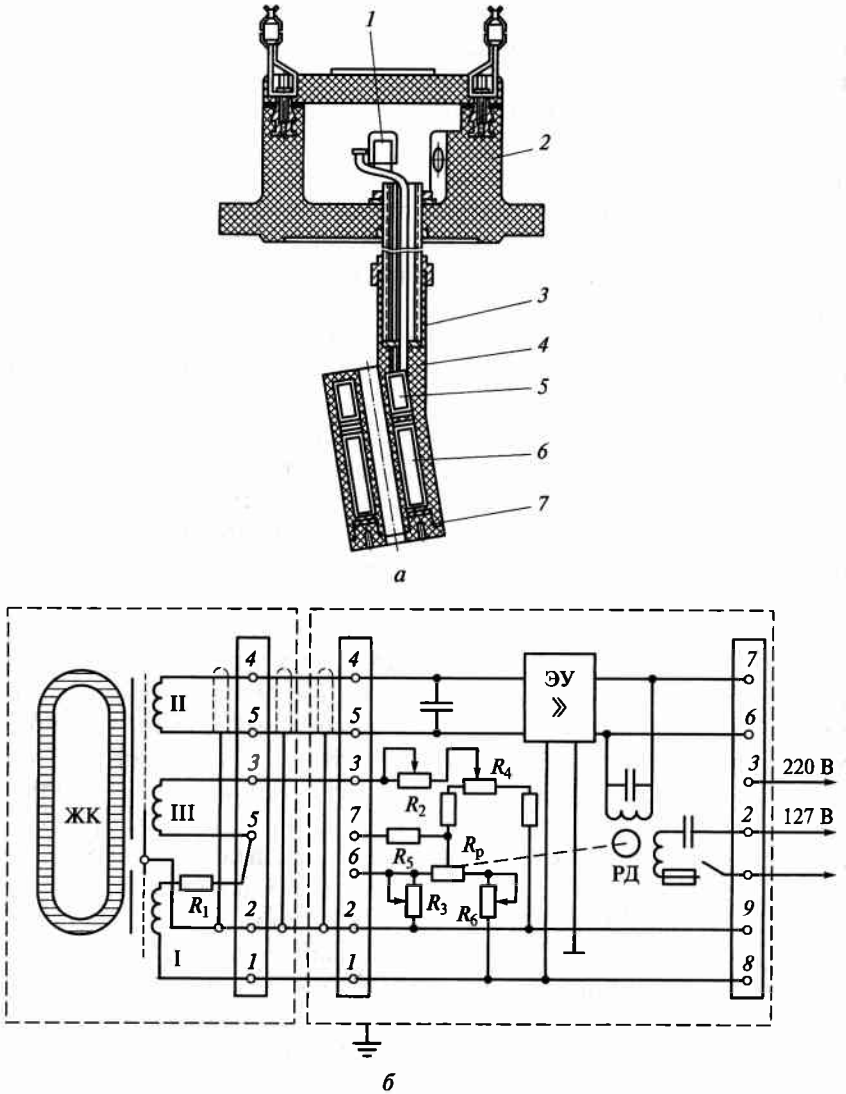


Рис. 8.2. Кондуктометрический концентратор:

а — конструкция первичного преобразователя; *б* — принципиальная электрическая схема: *1*...*9* — клеммы

стной контур является первичной обмоткой. Напряжение в обмотке II изменяется путем создания электрическим током встречного магнитного потока в компенсационной обмотке III, расположенной на сердечнике измерительного трансформатора. Напряжение с

измерительной обмотки подается на усилитель ЭУ и приводит во вращение реверсивный двигатель РД. Двигатель перемещает по шкале стрелку прибора и движок реохорда R_p, который включен в компенсационную схему. При полной компенсации магнитных потоков, создаваемых жидкостным контуром связи и компенсационной обмоткой III, напряжение, подаваемое на вход усилителя, станет равным нулю, и вращение вала реверсивного двигателя прекратится. В измерительной схеме прибора предусмотрена температурная компенсация, которая осуществляется терморезистором R_1, помещенным в чувствительной части первичного преобразователя, и подстроечным сопротивлением R_2. Для настройки шкалы на различные пределы измерения служат переменные сопротивления начала и конца шкалы — R_3 и R_4, для изменения диапазона измерения на один порядок — сопротивление R_5.

Оптические концентратомеры. Эти приборы подразделяются на фотоэлектрические рефрактомеры, нефелометры и др.

В ***фотоэлектрических рефрактометрах*** используется свойство светового потока замедлять свое движение при прохождении сквозь прозрачную среду. Так, в вакууме свет распространяется со скоростью примерно 300 000 км/с. При прохождении сквозь прозрачную среду световой поток замедляет свое движение. Степень уменьшения скорости определяется физическим свойством среды, которая называется ***оптической плотностью***. Чем она больше, тем больше степень замедления скорости.

При прохождении луча света через границу раздела сред с различной оптической плотностью происходит изменение направления его движения. Это явление называется ***преломлением света***

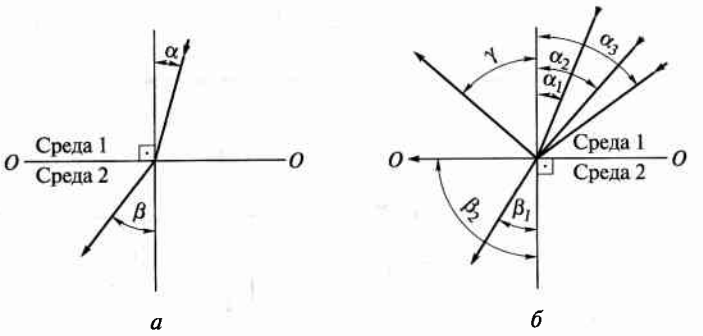


Рис. 8.3. Преломление (*а*) и полное отражение (*б*) светового луча на границе двух сред

(рис. 8.3, *а*). Луч падает на границу раздела двух сред *ОО* под углом α, который называется ***углом падения***. За границей раздела луч изменяет направление движения и образуется угол β — ***угол преломления***. Если среда *1* имеет постоянный состав, то при определенном угле падения, угол преломления будет зависеть от состава среды *2*. На этом явлении основан принцип действия рефактометров преломления.

Если начать увеличивать угол падения (рис. 8.3, *б*), то при определенном его значении α_2 угол преломления β_2 составляет 90° и луч будет скользить по поверхности раздела. При дальнейшем увеличении угла падения — α_3, луч будет отражаться от поверхности раздела и появиться угол γ — ***угол отражения***. При постоянном составе среды *1* и определенном значении β_2 угол отражения будет зависеть от состава среды *2*. На этом явлении основан принцип действия рефрактометров отражения.

В *рефрактометре преломления* (рис. 8.4) поток света от источника *EL* проходит через конденсор *1* (специальная линза), который формирует его в параллельный. Затем из потока диафрагмой *2* выделяется узкий луч, который проходит сквозь прозрачную кювету *3*, разделенную прозрачной перегородкой на два отсека. В одном находится среда эталонного состава, а через другой прокачивается контролируемая среда. После кюветы луч проходит сквозь прозрачную корректирующую призму *4*, поворот которой вызывает изменение направления луча после нее. За призмой луч падает на фотоэлементы $ФЭ_1$ и $ФЭ_2$. Фотоэлементы включены встречно и подключены к электронному усилителю ЭУ, выход которого связан с реверсивным двигателем РД, вал которого механически связан с корректирующей призмой *4* и показывающей стрелкой *5*. Если состав контролируемой среды соответствует эталонному, то луч не преломляется при прохождении через кювету *3* и падает на границу между

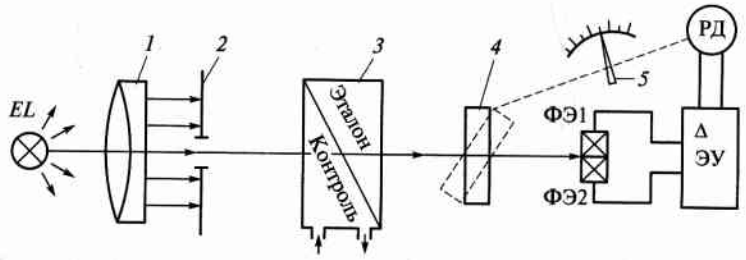


Рис. 8.4. Схема рефрактометра преломления

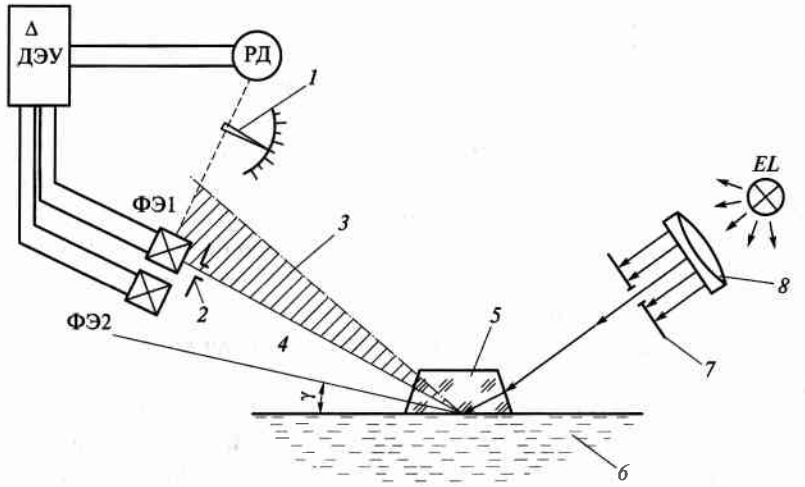


Рис. 8.5. Схема рефрактометра отражения

$ФЭ_1$ и $ФЭ_2$. Их освещенности будут одинаковы, а сигнал на ЭУ равен нулю.

При изменении состава контролируемой среды происходит преломление луча в кювете и его направление изменяется в сторону $ФЭ_1$ или $ФЭ_2$. Их освещенности становятся разными и на входе ЭУ появляется электрический сигнал, который передается на РД. Его вал начинает поворачиваться, перемещая показывающую стрелку по шкале и поворачивая корректирующую призму. При этом будет изменяться направление луча после нее. Реверсивный двигатель будет работать до тех пор, пока луч вновь не будет падать на границу между $ФЭ_1$ и $ФЭ_2$.

Рефрактометры применяют для контроля состава и концентрации жидких прозрачных сред.

В рефрактометре отражения (рис. 8.5) поток света от источника *EL* конденсором *8* формируется в параллельный, из которого диафрагмой *7* выделяется узкий луч, падающий на призму *5*. Призма плавает на поверхности контролируемой среды *6*. Материал призмы подобран таким образом, что луч отражается от поверхности контролируемой среды. Отраженный свет делится на две зоны — световую *4* и затемненную *3*. В световой зоне находится фотоэлемент $ФЭ_2$, а на границе световой и затемненной зоны (формируемой с помощью щелевой диафрагмы *2*) фотоэлемент $ФЭ_2$. При таком положении фотоэлементов, сигнал, формируемый на выхо-

де дифференциального электронного усилителя ДЭУ равен нулю. Фотоэлемент ФЭ1 вместе с показывающей стрелкой *1* механически соединен с валом реверсивного двигателя РД и при его работе может двигаться. При изменении состава контролируемой среды изменяется угол отражения луча γ и граница освещенной и затемненных зон смещается. Это вызывает изменение освещенности $ФЭ_1$. В результате возникает электрический сигнал, который через ДЭУ поступает на РД. Его вал начинает поворачиваться, перемещая показывающую стрелку *1* и смещая $ФЭ_1$ до тех пор, пока он вновь не окажется на границе зон света и тени.

Рефрактометры отражения применяются для контроля концентрации и состава непрозрачных сред.

Нефелометры предназначены для контроля концентрации суспензий и эмульсий. Принцип действия основан на степени рассеяния светового потока, проходящего через контролируемую среду, в зависимости от количества взвешенных частиц, находящихся в ней.

Схема прибора показана на рис. 8.6. Свет от источника *EL* через окно *7* попадает в камеру *6*, через которую прокачивается контролируемая среда. Основной световой поток проходит через камеру сквозь окно *9* и зеркалом *1* направляется сначала на фокусирующую линзу *2*, формирующую из него световой луч. Далее луч проходит

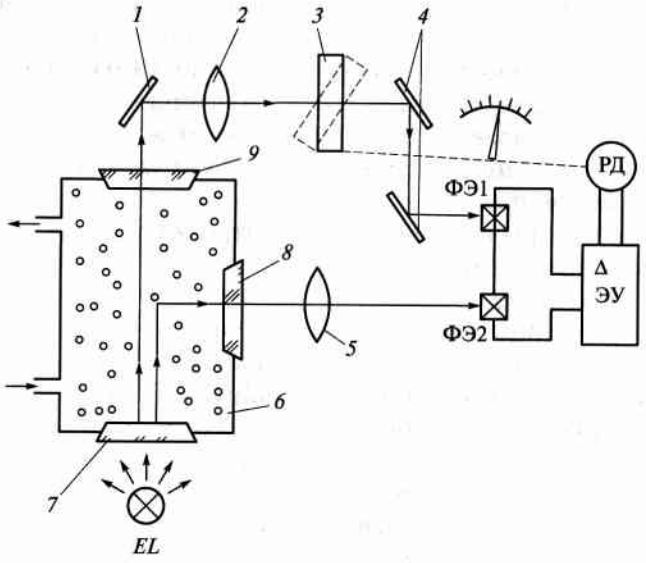


Рис. 8.6 Схема нефелометра

сквозь корректирующую призму *3* и зеркалами *4* направляется на фотоэлемент $ФЭ_1$. Корректирующая призма механически связана с валом реверсивного двигателя и при повороте изменяет интенсивность светового потока после нее. Часть светового потока, в виде потока рассеяния, отражается от частиц, находящихся в контролируемой среде, выходит через окно *8*, фокусируется линзой *5* и направляется на фотоэлемент $ФЭ_2$. Фотоэлементы включены встречно друг другу, а их характеристики подобраны таким образом, что при эталонной концентрации среды их освещенности таковы, что сигнал на электронный усилитель ЭУ равен нулю. При изменении концентрации изменяются интенсивности основного потока и потока рассеяния, что приводит к изменению освещенности $ФЭ_1$ и $ФЭ_2$, в результате возникает электрический сигнал, поступающий через ЭУ на РД. Его вал начинает вращаться, перемещая показывающую стрелку и поворачивая призму *3*. При этом интенсивность светового потока после нее начинает изменяться. Когда соотношение интенсивностей основного светового потока и потока рассеяния, освещающих $ФЭ_1$ и $ФЭ_2$ достигнет прежней величины, работа РД прекращается.

8.2. ПРИБОРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТАВА ГАЗОВ (ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ)

Термокондуктометрические газоанализаторы. Предназначены для анализа состава воздуха на наличие вредных примесей NH_3, CO, CO_2, SO_2, SO_3 и др. Принцип действия основан на использовании закона Фурье для теплопроводности, на основании которого плотность теплового потока (количество теплоты, передаваемой через слой вещества площадью 1 м^2 за время 1 с), Вт/(м^2·с), определяется уравнением:

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2),$$

где λ — коэффициент теплопроводности (теплофизическая характеристика, определенная для вещества), Вт/(м^2·К); t_1 и t_2 — температуры на поверхностях слоя, К; δ — толщина слоя, м.

Схема газоанализатора показана на рис. 8.7. Прибор состоит из двух стеклянных колб *1*, через которые прокачивается анализируемый воздух и герметичных колб *2*, в которых находится воздух эталонного состава. В колбах *1* находятся платиновые нити *4*, а в кол-

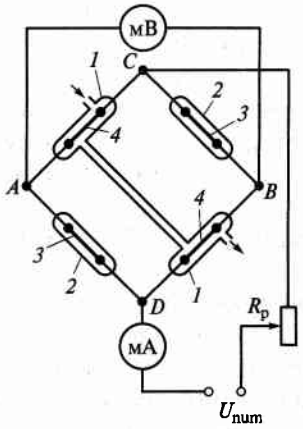


Рис. 8.7. Схема термокондуктометрического газоанализатора

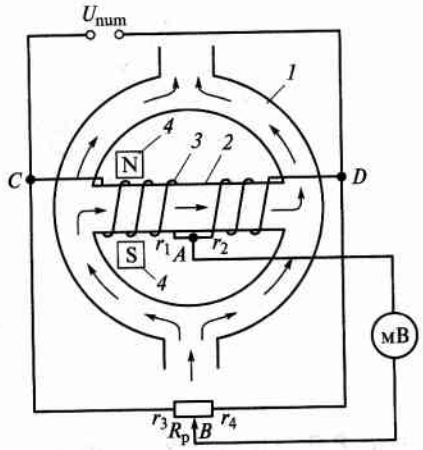
бах *2* — нити *3*. Размеры колб и нитей абсолютно идентичны. Сопротивления нитей включены в мостовую неуравновешенную схему с диагоналями питания *CD* и измерительной *AB*. В диагонали питания установлен регулировочный реостат и контрольный миллиамперметр мА для поддержания постоянной величины тока питания. В измерительную диагональ включается милливольтметр или потенциометр мВ, отградуированные в процентах содержания примесей.

При прохождении тока по нитям они разогреваются и выделяют теплоту в окружающую среду. Если состав контролируемого воздуха соответствует эталонному, то коэффициенты теплопроводности будут одинаковы и потери тепла из колб также будут одинаковы. При этом температуры нитей и их электрические сопротивления тоже будут одинаковы. Мостовая схема будет находиться в равновесии. При изменении состава воздуха изменяется его коэффициент теплопроводности в колбах *1*. При этом излучение тепла в окружающую среду из них также изменяется. Это приводит к изменению температур нитей *4* и изменению их сопротивлений. Возникает разбаланс мостовой схемы, возникает падение напряжения U_{AB} в точках *A* и *B*, которое измеряется измерительным прибором.

Термомагнитные газоанализаторы. Предназначены для анализа состава воздуха на концентрацию кислорода O_2. Принцип действия основан на парамагнитных свойствах O_2, которые заключаются в следующем. Если молекулы кислорода попадают в магнитное поле при обычной температуре (близкой к комнатной), то они намагничиваются, т. е. приобретают свойства магнитов. При нагревании молекулы O_2 теряют магнитные свойства.

На рис. 8.8 приведена принципиальная схема газоанализатора. Он состоит из первичного преобразователя, представляющего собой полый тороид *1* с перемычкой *2*. На перемычку намотана платиновая проволока *3*. Части проволоки с сопротивлениями r_1 и r_2, и части регулировочного сопротивления $R_р$ с сопротивлениями r_3 и r_4 образуют мостовую неуравновешенную схему, где *CD* — диагональ

Рис. 8.8. Схема термомагнитного газоанализатора



питания. В измерительную диагональ *AB* включен измерительный прибор мВ (милливольтметр или потенциометр), шкала которого отградуирована в процентах содержания кислорода. В левой части перемычки находятся полюса *4* постоянного магнита.

Прибор работает следующим образом. Первоначально, при отсутствии потока воздуха через тороид, с помощью движка сопротивления $R_р$ уравновешивают мостовую схему. О равновесии схемы судят по показаниям измерительного прибора мВ. Затем, через тороид начинают пропускать анализируемый воздух. Проходя по левой половине тороида, молекулы O_2 попадают в поле магнита, намагничиваются и втягиваются в перемычку *2*. Платиновая спираль *3* от тока питания разогревается, и от этого тепла молекулы O_2 размагничиваются. Следующие молекулы O_2, попадая в поле магнита также намагничиваются, втягиваются в перемычку и проталкивают размагниченные молекулы O_2 дальше. Так в перемычке возникает поток молекул кислорода слева направо, тем более интенсивный, чем больше концентрация кислорода. Этот поток переносит с левой части спирали на правую: в результате изменяются их температура и сопротивление, что приводит к разбалансу мостовой схемы.

8.3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Психрометры. Психрометрический метод измерения влажности основан на психрометрическом эффекте, т. е. на зависимости

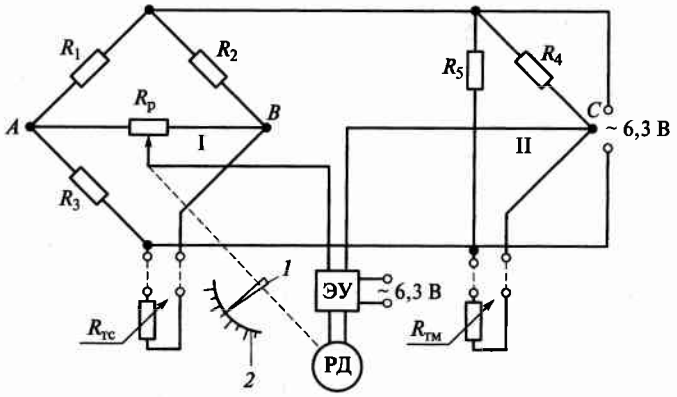


Рис. 8.9. Принципиальная схема автоматического электронного психрометра

скорости испарения влаги в окружающую среду, от влажности этой среды. Скорость (интенсивность) испарения тем больше, чем меньше влажность газа, и, наоборот, тем меньше, чем больше влажность газа.

Для измерения психрометрического эффекта психрометр имеет два одинаковых термометра, из которых у одного «мокрого» чувствительный элемент помещен во влажную среду, соприкасаясь с гигроскопическим телом, всасывающим дистиллированную воду из специального сосуда. При испарении влаги с увлажненной поверхности «мокрого» термометра его температура снижается, так как процесс испарения сопровождается значительными затратами энергии. В результате между «сухим» и «мокрым» термометрами возникает разность температур, называемая ***психрометрической разностью***. Эта величина связана обратно пропорциональной зависимостью с влажностью воздуха, т. е., чем психрометрическая разность больше, тем меньше влажность воздуха.

На рис. 8.9 показана принципиальная схема электронного психрометра с датчиками — термометрами сопротивления. Измерительная часть прибора состоит из двух мостовых схем I и II. Оба моста питаются переменным током от обмотки силового трансформатора электронного усилителя ЭУ и имеют два общих плеча R_1 и R_3. «Сухой» термометр сопротивления $R_{тс}$ включен в плечо моста I, «мокрый» $R_{тм}$ — в плечо моста II. Мост I образован сопротивлениями R_1, R_2, R_3, $R_{тс}$, а мост II — сопротивлениями R_1, R_3, R_4, $R_{тм}$. Разность потенциалов на вершинах A и B диагонали моста I пропорциональ-

на температуре «сухого» термометра, а разность потенциалов на вершинах A и C — температуре «мокрого» термометра. Падение напряжения между точками B и C диагонали двойного моста пропорционально разности температур «сухого» и «мокрого» термометров сопротивления, или обратно пропорционально влажности воздуха. Равновесие измерительной схемы при изменении влажности устанавливается перемещением движка реохорда $R_р$ с помощью реверсивного двигателя РД. Одновременно РД поворачивает стрелку *1* на шкале прибора 2.

На процесс испарения значительное влияние оказывает движение окружающего газа. Поэтому в психрометре применяют вентилятор для обдува «мокрого» термометра газом с постоянной скоростью.

Гигрометры. Принцип действия основан на зависимости «точки росы» от влажности воздуха. ***Точкой росы*** называется температура при которой влажный воздух переходит в состояние насыщения, т. е. влага, содержащаяся в нем начинает выделяться в капельно-жидком виде. Температура «точки росы» находится в обратной пропорциональной зависимости от влажности воздуха. Чем больше влажность воздуха, тем ниже «точка росы».

Принципиальная схема автоматического гигрометра приведена на рис. 8.10. В своей работе гигрометр использует эффект Пельтье, который заключается в том, что при прохождении электрического тока через термопару один из спаев нагревается, второй охлаждается.

Поток света от источника *EL* фокусируется линзой *4* и падает в виде луча на зеркало *2*, отражается от него и направляется на фото-

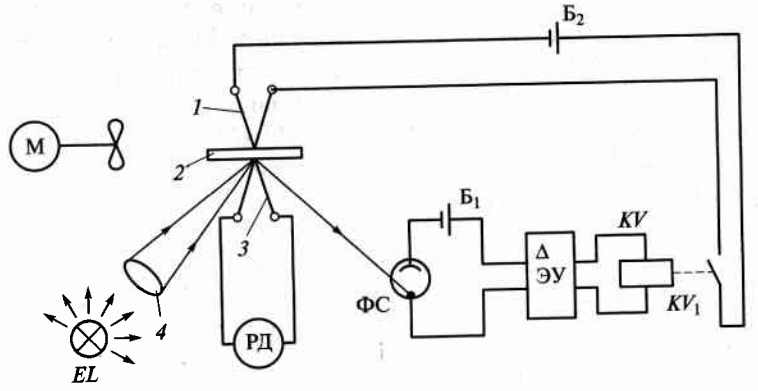


Рис. 8.10. Принципиальная схема гигрометра

сопротивление ФС. При этом его сопротивление резко уменьшается и от батарейки $Б_1$ на вход электронного усилителя ЭУ поступает электрический сигнал. В результате срабатывает реле *KV*, которое замыкает контакт KV_1. Тогда от батареи $Б_2$ через «холодный» спай термопары *1*, прикрепленной к зеркалу *2*, начинает проходить ток, охлаждая спай и зеркало. Когда зеркало достигает температуры «точки росы», оно запотевает и теряет отражательные способности. Фотосопротивление ФС перестает освещаться, его сопротивление становится большим, сигнал на входе ЭУ становится близким к нулю, реле *KV* отключается и контакт KV_1 размыкается. Через спай термопары *1* перестает проходить ток, она перестает охлаждать зеркало и влага с его поверхности испаряется. Зеркало восстанавливает свою отражательную способность, и цикл работы гигрометра повторяется.

Таким образом, температура зеркала поддерживается постоянно близкой к «точке росы». Эта температура измеряется термопарой *3*, подключенной к измерительному прибору мВ (милливольтметру или потенциометру), шкала которого отградуирована в процентах влажности. Для ускорения процесса испарения влаги с зеркала служит вентилятор М, что снижает инерционность и повышает точность измерений.

8.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Кондуктометрические влагомеры. Предназначены для контроля влажности вязких продуктов: сгущенное молоко, сгущенный сироп и др. Принцип действия основан на зависимости электрической проводимости продуктов от их влажности. С уменьшением влажности проводимость продукта уменьшается и достигает минимума при примерно 2%-ной влажности. Это объясняется тем, что с уменьшением влажности уменьшается подвижность ионов составляющих веществ продукта.

Кондуктометрический влагомер для сгущенного молока типа АВСГ состоит из датчика и измерительного прибора на базе автоматического уравновешенного моста. Датчик состоит из корпуса (отрезок трубопровода), монтируемого в основной трубопровод с помощью накидных гаек. Корпус представляет собой низкопотенциальную электродную ячейку, в которой находится контролируемый продукт. Вторым электродом, высокопотенциальным, служит

молибденовый стержень, запрессованный во фторопластовую втулку и установленный в корпусе датчика. Внутрь корпуса помещается платиновый термометр сопротивления, для компенсации температурной погрешности от изменения температуры продукта. Датчик подсоединяется к измерительному прибору, который измеряет электрическое сопротивление продукта, находящегося между электродами.

На рис. 8.11 приведена принципиальная схема влагомера. Измерительная схема автоматического моста образована постоянными сопротивлениями R_1, R_2, R_3, сопротивлением реохорда $R_р$, сопротивлением шунта $R_ш$ и сопротивлением термометра $R_{тс}$, где диагональ питания — *CD*, измерительная — *AB*. В плечо *CB* включено также сопротивление электродной ячейки $R_{эя}$, в которой находится контролируемый продукт. Так как с изменением температуры продукта изменяется подвижность ионов и проводимость, то для компенсации этой погрешности последовательно с $R_{эя}$ подключено сопротивление термометра $R_{тс}$. Для согласования температурных характеристик $R_{эя}$ и $R_{тс}$, параллельно $R_{эя}$, подключено сопротивление шунта $R_ш$. Его сопротивление подбирается в зависимости от диапазона изменения температуры продукта. При изменении влажности продуктов изменяется сопротивление $R_{эя}$ и возникает разбаланс мостовой схемы. С измерительной диагонали сигнал поступает через электронный усилитель ЭУ на реверсивный двигатель РД. Его вал начинает поворачиваться, перемещая показывающую стрелку и

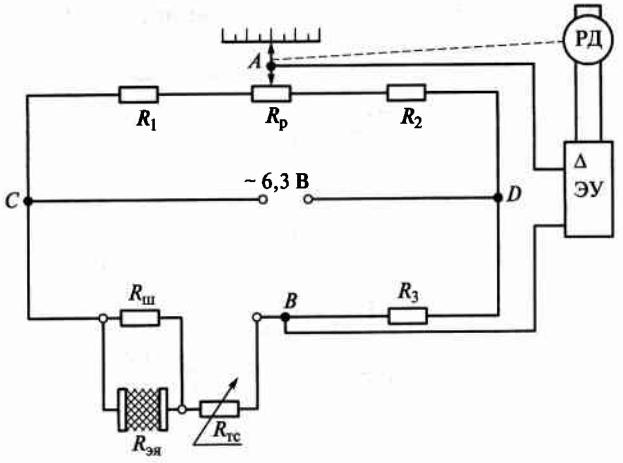


Рис. 8.11. Кондуктометрический влагомер для пищевых продуктов

движок реохорда $R_р$. При этом будут изменяться сопротивления плеч AC и AD. Двигатель будет работать до тех пор, пока равновесие мостовой схемы не восстановится.

Диэлькометрические влагомеры. Диэлькометрические влагомеры могут применяться для измерения влажности как твердых, так и жидких веществ. Принцип их действия основан на том, что относительная диэлектрическая проницаемость ε твердых капиллярно-пористых и жидких веществ в большой степени зависит от их влажности.

Емкостные преобразователи диэлькометрических влагомеров обычно выполняются в виде двух или более плоских пластин или двух коаксиальных цилиндров, пространство между которыми заполняется контролируемым веществом.

На рис. 8.12 приведена структурная схема диэлькометрического влагомера. Измерительная схема ИС состоит из двух генераторов высокой частоты, к которым подключены два колебательных контура. Контур I состоит из индуктивности L_1 и емкости компенсационного конденсатора $C_к$. Контур II образуют индуктивность L_2 и емкость датчика $C_х$. Первоначально схема настраивается так, чтобы при пустом датчике собственные частоты обоих контуров были равны, при этом измерительная схема находится в равновесии и разность напряжений на ее выходе в точках О и Ф равна нулю. При заполнении первичного преобразователя веществом его емкость $C_х$ изменяется, симметрия в работе генераторов нарушается, вследствие чего между точками О и Ф появляется разность потенциалов. Разность потенциалов поступает в схему компенсации КС и далее на реверсивный двигатель РД. Его вал начинает поворачиваться,

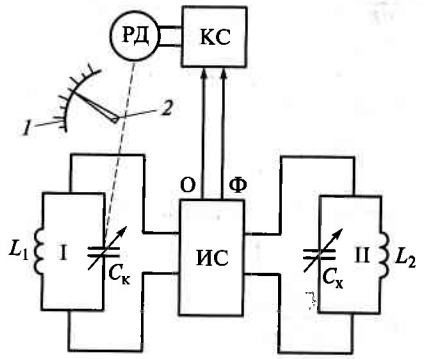


Рис. 8.12. Структурная схема диэлькометрического влагомера

перемещая показывающую стрелку *2* по шкале *1* и изменяя емкость компенсационного конденсатора $C_к$ до приведения схемы в новое равновесное состояние. Емкость конденсатора $C_к$ в момент равновесия схемы соответствует определенной влажности контролируемого вещества.

Влагомеры подобного типа позволяют измерять влажность веществ в широком диапазоне с погрешностью ±1 %.

8.5. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЖИДКИХ СРЕД

Эти приборы называют плотномерами, ареометрами или денсиметрами.

Плотностью — называется физическая величина, представляющая собой массу вещества M, находящегося в единице объема V, кг/м^3,

$$\rho = \frac{M}{V}.$$

Существует несколько методов измерения плотности, из которых в пищевой промышленности наибольшее применение нашли поплавковые (буйковые) и весовые плотномеры.

Схема ***поплавкового плотномера*** приведена на рис. 8.13. Контролируемая среда по трубе *1* поступает в переливной сосуд *2*. С его помощью и регулирующим вентилем *9* создается требуемая скорость потока и обеспечивается постоянство напора контролируемой среды, поступающей в измерительную камеру *6*. В камере установлена перегородка *7*, устраняющая завихрения жидкости внутри камеры. Сливная труба *8* так же, как и сливная труба *10* в переливном сосуде обеспечивает постоянство уровня. Внутри камеры в контролируемой среде плавает поплавок *5*. На поплавок действует сила тяжести G, равная весу поплавка, и архимедова выталкивающая сила Н

$$A = \rho g S_п h,$$

где $S_п$ — площадь сечения поплавка, м^2; h — глубина погружения поплавка, м.

Из условия плавания тела

$$G = A \text{ или } G = \rho g S_п h,$$

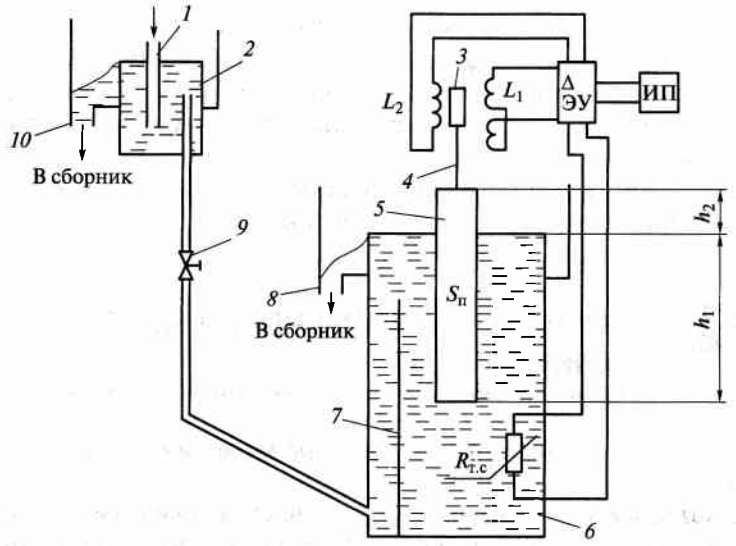


Рис. 8.13. Схема поплавкового плотномера

отсюда

$$h_1 = G/\rho g S_п.$$

Величины G, g и $S_п$ постоянны, поэтому последнюю формулу можно представить в виде:

$$h_1 = K/\rho,$$

где K — постоянный коэффициент.

Таким образом, при изменении плотности изменяется величина h_1, а следовательно, и h_2, т. е. происходит вертикальное перемещение поплавка. Через шток *4* это движение передается сердечнику *3* дифференциального трансформатора находящегося между питающей L_2 и измерительной обмотками. Перемещение сердечника вызывает изменение ЭДС измерительной обмотки. Этот сигнал через электронный усилитель ЭУ передается на измерительный прибор ИП. Термометр $R_{т.с}$ служит для компенсации температурной погрешности.

Принцип действия буйковых плотномеров аналогичен, но чувствительный элемент — буек полностью погружен в жидкость. Подобные плотномеры применяются для контроля плотности чистых жидкостей.

Весовые плотномеры применяют для измерения плотности чистых жидкостей, суспензий и жидкостей, содержащих твердые

включения. Действие плотномеров основано на изменении веса чувствительного элемента определенного объема заполненного контролируемой жидкостью, при изменении ее плотности. Вес элемента пропорционален плотности жидкости и определяется по формуле

$$G = \rho_ж V g + G_0,$$

где $\rho_ж$ — плотность жидкости, кг/м^3; V — внутренний объем элемента, м^3; G_0 — вес чувствительного элемента без контролируемой жидкости, Н.

На рис. 8.14 показана принципиальная схема конструкции весового плотномера. Чувствительным элементом — первичным измерительным преобразователем — служит U-образная трубка *4*, соединенная сильфонами *9* с подводящим и отводящим трубопроводами. По трубке непрерывно протекает контролируемая жидкость.

Изменение массы через рычажную систему *5* передается на пневмосиловой компенсационный преобразователь, состоящий из сопла *2*, заслонки *3*, пневмоусилителя *1* и сильфона обратной связи *7*. Сигнал, преобразованный в стандартный выходной, подается по линии пневмосвязи *12* на вторичный измерительный прибор *11*. Для автоматического введения поправки на изменение температуры контролируемой жидкости служит манометрический термометр, термобаллон которого *10* установлен в патрубке подвода жидкости к плотномеру, а сильфон *14* при отклонении температуры от градуировки 20 °С воздействует на рычаг обратной связи *8*. Для ввe-

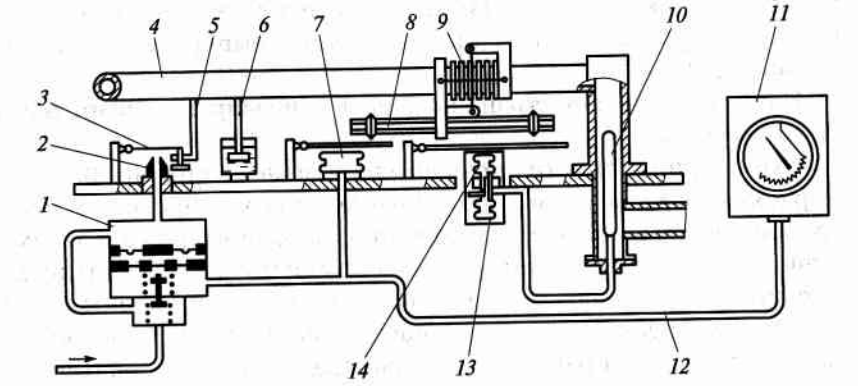


Рис. 8.14. Схема весового плотномера

дения поправки в показания в зависимости от изменения температуры окружающей среды служит сильфон *13*. Весоизмерительная система приводится в состояние покоя демпфирующим устройством *6*.

8.6. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ (ВИСКОЗИМЕТРЫ)

Вязкостью называется свойство газов, жидкостей и вязко-пластичных тел (сметана, йогурт, джем, повидло и др.) оказывать сопротивление сдвигу одного слоя продукта относительно другого. Возникающая сила сопротивления называется силой вязкостного трения. Величина ***силы вязкостного трения*** F определяется законом Ньютона

$$-F_{тр} = \mu \frac{\partial w}{\partial n} S_c,$$

где μ — коэффициент пропорциональности, Па · с; w — скорость сдвига, м/с; n — толщина слоя, м; $\frac{\partial w}{\partial n}$ — градиент скорости, показывающий изменение скорости сдвига по толщине слоя, в направлении перпендикулярном сдвигающей силе; S_c — площадь слоя, м^2.

Знак «–» показывает, что сила вязкостного трения направлена навстречу сдвигающей силе. Коэффициент пропорциональности μ называется ***динамическим коэффициентом вязкости***, который определяет вязкостные свойства вещества. Чем больше μ, тем больше вязкость продукта. На вязкость значительное влияние оказывает температура продукта. При повышении температуры вязкость уменьшается.

Наибольшее распространение нашли капиллярные и шариковые вискозиметры.

Схема ***капиллярного вискозиметра*** показана на рис. 8.15. Измеряемая среда насосом *2* прокачивается по трубопроводу *1*. Часть трубопровода, состоящая из змеевиковых капилляров *3* и *5*, помещена в сосуд *7* с термостатирующей жидкостью. Термостатирование производится регулирующим устройством, состоящим из датчика температуры ТЕ, регулирующего прибора ТС и термоэлектронагревателя *6*. Для равномерного распределения температуры по всему объему сосуда *7* служит мешалка *4*. В капилляре *3* жидкость приобретает температуру термостатирующей жидкости, чем лик-

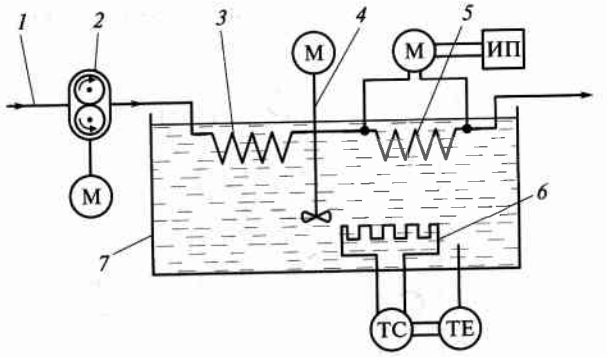


Рис. 8.15. Схема капиллярного вискозиметра

видируется погрешность измерений от колебаний температуры. Затем контролируемая среда поступает в измерительный капилляр *5*. Проходя по нему, за счет сил сопротивления вязкостного трения она теряет свою энергию, в результате чего происходит падение давления по длине капилляра. Чем больше вязкость жидкости, тем больше возникающий перепад давления, который измеряется дифманометрическим преобразователем ДМ. Сигнал с него передается на измерительный прибор ИП.

Капиллярные вискозиметры предназначены для контроля однородных сред с относительно небольшой вязкостью (10^{-3}... 10 Па · с).

Принцип действия ***шариковых вискозиметров*** основан на использовании закона Стокса, определяющего силу сопротивления F, испытываемую твердым шариком при его падении в неограниченно вязкой жидкости:

$$F = 6\pi\mu r w,$$

где r — радиус шарика, м; w — скорость падения шарика, м/с.

На основании закона Стокса можно определить зависимость между динамическим коэффициентом вязкости и скоростью падения шарика:

$$\mu = 2\left[(\rho_c - \rho_ш)^2 r^2 g\right]\frac{w}{9},$$

где ρ_c — плотность среды, кг/м^3; $\rho_ш$ — плотность шарика, кг/м^3.

Вискозиметры с падающим шариком применяются для измерения вязкости очень вязких однородных жидкостей (до 100 Па · с), не содержащих загрязнений и пузырьков газа.

На рис. 8.16 приведена схема устройства автоматического вискозиметра с падающим шариком. Контролируемая среда прокачи-

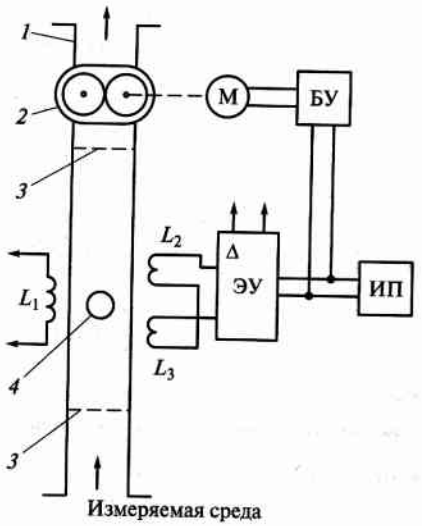


Рис. 8.16. Схема вискозиметра с падающим шариком

вается насосом *2* через измерительную камеру *1* (отрезок немагнитной трубки с калиброванным внутренним сечением). Скорость протекания в зависимости от вязкости среды регулируется с помощью блока управления БУ электродвигателем М насоса *2*.

Внутри камеры между индукционными катушками L_1 и L_2 дифференциально-трансформаторного преобразователя (ДТП) находится металлический шарик *4*, являющийся сердечником ДТП. Шарик удерживается во взвешенном состоянии восходящим потоком жидкости. Если он занимает среднее положение между секциями измерительной обмотки L_2, то сигнал на электронный усилитель ЭУ равен нулю. При изменении вязкости среды шарик смещается относительно нейтрального положения, при этом в измерительной обмотке возникает падение напряжения, которое через ЭУ передается на измерительный прибор ИП и блок управления БУ, который изменяет режим работы насоса *2* так, чтобы шарик вновь вернулся в нейтральное положение. Перемещение шарика ограничивается сетками *3*.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое величина pH? **2.** Для чего служит вспомогательный электрод в pH-метре? **3.** Каково назначение трех индукционных обмоток в кондуктометрическом концентратомере? **4.** В чем преимущество рефрактометра отражения перед рефрактометром преломления? **5.** Для чего служит корректирующая призма в нефелометре? **6.** Можно ли термокондуктометрическим газоанализатором измерять концентрации кислорода в воздухе? **7.** В чем заключаются парамагнитные свойства кислорода? **8.** Какова зависимость между влажностью воздуха и психрометрической разностью? **9.** Что такое «точка росы»? **10.** Какая из термопар в гигрометре использует эффект Зеебека, а какая эффект Пельтье? **11.** Для чего служит шунт и термометр сопротивления в кондуктометрическом влагомере? **12.** На чем основан принцип действия диэлькометрических влагомеров? **13.** Почему наличие влаги резко увеличивает относительную диэлектрическую проницаемость? **14.** На чем основан принцип действия поплавкового плотномера? **15.** Для чего служит термоманометрическая система в весовом плотномере? **16.** Для чего части капиллярного вискозиметра выполняют в виде змеевиковых капилляров? **17.** Какую роль играет шарик в вискозиметре с падающим шариком?

II

РАЗДЕЛ

ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Глава 9. Общие сведения о процессах автоматического управления

Глава 10. Объекты автоматизации и их основные свойства

Глава 11. Системы автоматического регулирования

Глава 9

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

9.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Основные понятия автоматизации. Автоматизация производственных процессов развивается в двух направлениях: первое — создание систем локальной автоматизации технологических процессов, которые обеспечивают стабилизацию заданных рабочих режимов путем поддержания постоянными или изменяющимися по заданной программе параметров процесса; второе — создание автоматизированных систем управления технологическими процессами и производством в целом с применением вычислительной техники.

Автоматизацию производственных процессов в зависимости от поставленных задач подразделяют на частичную, комплексную и полную.

Частичная автоматизация отдельных производственных процессов, устройств, элементов оборудования реализуется простыми техническими средствами без сложной подготовки автоматизируемого оборудования и процессов.

Комплексная автоматизация проводится на участке, в отделении, цехе, которые функционируют как единый взаимосвязанный автоматизированный комплекс, т. е. при участии людей. Комплексная автоматизация возможна при высокоразвитом производстве с совершенной технологией и при прогрессивных методах управления с применением надежного производственного оборудования, действующего по заданной или саморегулирующейся программе. При комплексной автоматизации функции человека состоят в контроле и управлении работой комплекса.

Полная автоматизация предусматривает передачу всех функций управления и контроля производством автоматическим систе-

мам управления. Полностью автоматизируют рентабельно устойчивые производства, режимы работы которых практически неизменны. Особенно важна полная автоматизация в условиях, опасных для жизни и здоровья человека.

При автоматизации технологических процессов, например, в пищевой промышленности применяют локальные системы различных классов, в том числе системы автоматического управления (САУ).

Системой автоматического управления называется совокупность объекта управления (ОУ) и устройства управления (УУ). В зависимости от уровня автоматизации производства под ОУ понимают отдельный аппарат, машину, агрегат, технологический участок, технологическую линию или цех. Современный уровень автоматизации не обеспечивает полную автоматизацию предприятий (заводов, фабрик и др.). Устройством управления называется комплекс технических средств, обеспечивающих получение информации о состоянии ОУ, сравнении ее с заданными технологическими параметрами и при рассогласовании параметров ОУ с заданием, выдаче управляющего воздействия в ОУ.

При этом качество работы ОУ может определять несколько технологических параметров, также, как и управляющие воздействия могут вводиться по нескольким каналам. Технологические параметры, определяющие качество выпускаемой из объекта продукции называются *качественными*. Параметры продуктов и энергоносителей на входе в ОУ, которые влияют на качественные параметры называются *количественными*.

Структурная схема системы автоматического управления. В зависимости от числа контролируемых (регулируемых) качественных параметров САУ могут быть одно- и многопараметровыми. На рис. 9.1 показана схема многоконтурной САУ.

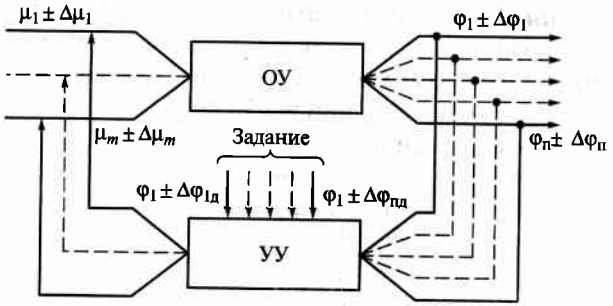


Рис. 9.1. Структурная схема многоконтурной САУ

Из объекта выходит продукт, качество которого характеризуется качественными параметрами φ числом от 1 до n. Продукт имеет отклонения качественных параметров от номинального φ на величину $\Delta\varphi$. Эта информация поступает в устройство управления УУ, которое сравнивает отклонения качественных параметров $\Delta\varphi_1$ с допускаемыми $\Delta\varphi_{1д}$. При превышении $\Delta\varphi_1$ по отношению к $\Delta\varphi_{1д}$, УУ выдает управляющее воздействие $\mu_1 \pm \Delta\mu_1$ на количественные параметры, поступающие в ОУ. Число количественных параметров m не обязательно должно совпадать с числом качественных параметров n, так как один и тот же количественный параметр может влиять на несколько качественных одинаково.

9.2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ САУ

По своему назначению САУ классифицируются на четыре основных типа:

- система автоматического регулирования (САР);
- система автоматической блокировки (САБ);
- система программного управления (СПУ);
- система операторного управления (СОУ).

На рис. 9.2 показаны структурные схемы разновидностей одноконтурной САУ.

Система автоматического регулирования предназначена для автоматического управления ОУ (поддержания величины качественного параметра φ с допускаемыми отклонениями $\pm\Delta\varphi$). Система состоит из следующих элементов (рис. 9.2, *а*):

Д (ПП) — датчик (первичный преобразователь) — устройство, предназначенное для восприятия величины качественного параметра φ и преобразования его в другую физическую величину, удобную для преобразования и передачи на расстояние;

СП — согласующий преобразователь, предназначенный для согласования выходного сигнала с датчика во входной сигнал последующего элемента схемы (при их рассогласовании);

ИП — измерительный прибор, предназначенный для преобразования выходного сигнала ПП или СП в визуальную информацию. Если она не требуется, то в САР может отсутствовать;

БФЗР — блок формирования закона регулирования, предназначенный для сравнения текущего значения качественного параметра с заданным, и при их рассогласовании выдаче управляющего

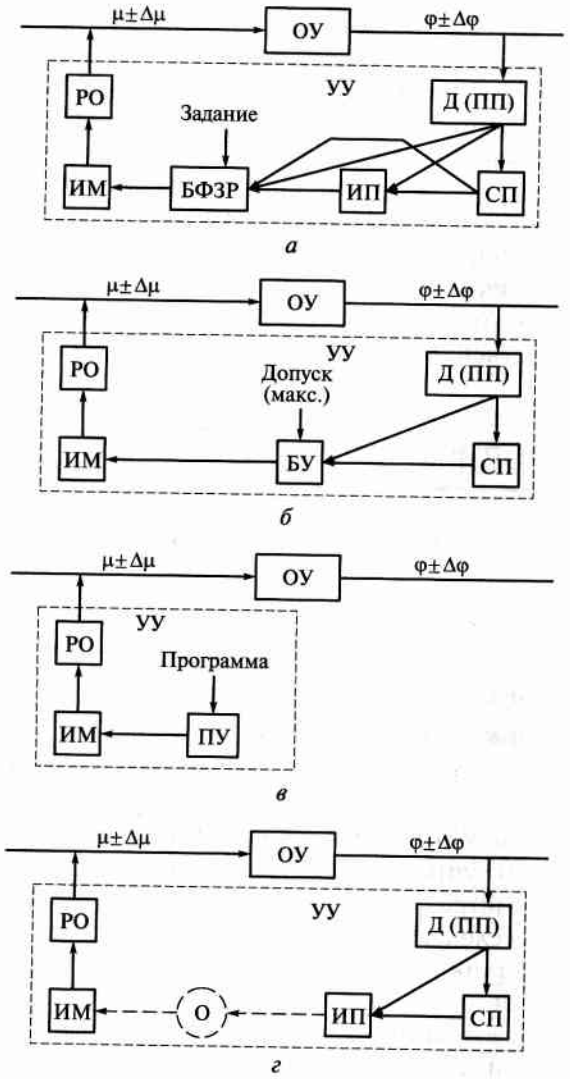


Рис. 9.2. Структурные схемы САУ:

а — система автоматического регулирования САР; *б* — система автоматической блокировки САБ; *в* — система программного управления СПУ; *г* — система операторного управления СОУ

воздействия в ОУ. В одноконтурных САР в качестве БФЗР используется регулирующий прибор приборного типа, а в многоконтурных — управляющий микропроцессор;

ИМ — исполнительный механизм, преобразующий управляющий сигнал с БФЗР в механическое перемещение (возвратно-поступательное или вращательное);

РО — рабочий орган — устройство непосредственного воздействия на потоки продукта или энергоносителя (кран, клапан, вентиль, задвижка).

Система автоматической блокировки предназначена для отключения или переключения потоков продукта или энергоносителя при возникновении аварийных ситуаций или резкого отклонения качественного параметра от заданного (рис. 9.2, *б*). На этом рисунке БУ — блокирующее устройство предназначено для выдачи управляющего воздействия на закрытие или переключение РО.

Остальные элементы схемы имеют то же назначение, что и в системе автоматического регулирования.

Системы программного управления в отличие от предыдущих (замкнутых САУ) относятся к разомкнутым системам управления. Предназначены для управления ОУ по заранее заданной временной программе, вне зависимости от величины качественного параметра (рис. 9.2, *в*). На этом рисунке ПУ — программное устройство, предназначено для выдачи управляющих воздействий в ОУ по заданной временно́й программе.

Примером СПУ может служить автоматизированная система мойки технологического оборудования и трубопроводов.

Система операторного управления относится к человеко-машинным системам автоматизации, в которых информация о состоянии ОУ поступает с помощью технических средств, а управляющее воздействие в него вносится человеком-оператором (рис. 9.2, *г*).

9.3. ПРИНЦИПЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

По принципу регулирования САР подразделяются на три вида: системы регулирования по отклонению, системы регулирования по возмущению, комбинированные системы.

В системах регулирования по отклонению регулирующее воздействие вводится при отклонении регулируемого параметра от заданного значения независимо от вида возмущения и места их возникновения. В этом отношении такие системы универсальны, но они имеют недостаток: действие системы начинается лишь при наличии отклонения регулируемого параметра, следовательно, обеспечить точное поддержание его на заданном значении невозмож-

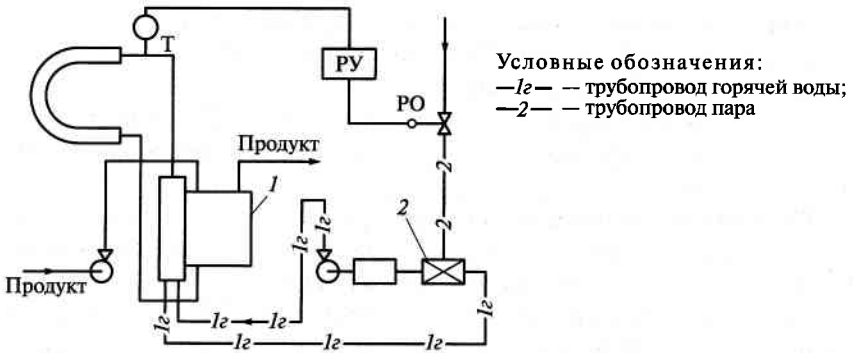


Рис. 9.3. Схема САР по отклонению:
1 — секция пастеризации; *2* — инжектор

но. Системы, работающие по данному принципу, являются замкнутыми системами автоматического регулирования с отрицательной обратной связью.

Примером САР по отклонению может служить автоматическая система регулирования температуры пастеризации молока в отечественных пастеризационно-охладительных установках типа ОПУ (рис. 9.3). Температура продукта, выходящего из секции пастеризации *1*, измеряется термометром Т. При отклонении ее от заданного значения регулирующее устройство РУ с помощью рабочего органа РО соответственно изменяет подачу пара в инжектор *2*, в результате изменяется температура горячей воды, подаваемой в секцию пастеризации, чем обеспечивается требуемая температура пастеризации продукта.

Системы регулирования по возмущению основаны на том, что регулирующее воздействие регулятора направлено на компенсацию возмущения по месту его возникновения на входе объекта, обеспечивая таким образом стабилизацию его входных параметров. Так как в большинстве случаев в системах автоматического регулирования по возмущению происходит изменение нескольких параметров, то возникает необходимость установки соответствующего числа регулирующих автоматических устройств, что усложняет и удорожает систему. Кроме того, автоматические системы регулирования по возмущению не компенсируют возможные внутренние возмущения, которые, как известно, могут также вызвать отклонение параметров на выходе из объекта. Этот факт — существенный недостаток САР по возмущению. Автоматические системы регулирования по возмущению являются разомкнутыми системами.

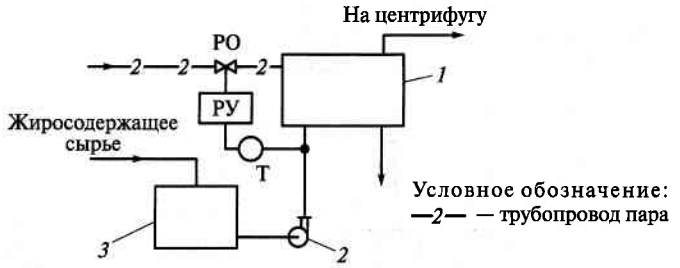
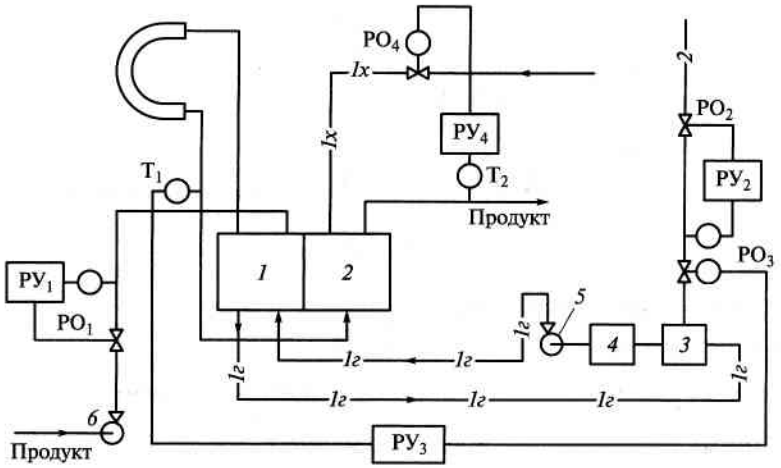


Рис. 9.4. Схема САР по возмущению:
1 — теплообменник; *2* — насос; *3* — емкость

Примером САР по возмущению может служить автоматическая система регулирования температуры жиросодержащего сырья в теплообменнике в линии обработки мягкого сырья (рис. 9.4). Жиросодержащее сырье из емкости для промежуточного хранения *3* подается насосом *2* в теплообменник *1*, где нагревается до температуры 90... 135 °С и затем подается на центрифугу. Заданная температура нагрева сырья в теплообменнике обеспечивается регулятором, включающим термометр Т, регулирующее устройство РУ, рабочий орган РО. При изменении температуры сырья на входе в теплообменник сигнал от термометра Т поступает на регулирующее устройство РУ, которое, воздействуя на рабочий орган РО, изменяет соответственно подачу пара в теплообменник, чем обеспечивается заданное значение температуры жиросырья на выходе из теплообменника.

Комбинированные системы регулирования сочетают принципы работы двух рассмотренных систем. В таких системах значительные внешние возмущения компенсируются регуляторами, действующими по принципу регулирования по возмущению, а влияние всех остальных возможных возмущений устраняется регулятором, действующим по принципу регулирования по отклонению.

Комбинированная САР применена в схеме автоматизации пастеризационно-охладительной установки ОПУ-10 (рис. 9.5). Технологическая схема установки по контуру тепловой обработки продукта включает в себя: *6* — насос подачи молока; *1* — секция пастеризации; *2* — секция охлаждения; *5* — насос подачи горячей воды в секцию пастеризации; *4* — бак горячей воды; *3* — инжектор. Автоматическая система регулирования стабилизирует входные параметры установки: регулирующее устройство $РУ_1$ в комплекте с рабочим органом $РО_1$ регулирует подачу продукта на установку; ре-



Условные обозначения:
—1x— — трубопровод хладагента;
—1г— — трубопровод горячей воды;
—2— — трубопровод пара

Рис. 9.5. Схема комбинированной САР

гулирующее устройство $РУ_2$ в комплекте с рабочим органом $РО_2$ регулирует давление пара, подаваемого в инжектор *3*. Оба устройства $РУ_1$ и $РУ_2$ относительно объекта автоматизации (установки) регулируют входные параметры по возмущению. Температуры пастеризации и охлаждения продукта изменяются по принципу регулирования по отклонению, для этого применены устройства $РУ_3$ и $РУ_4$.

При отклонении температуры продукта на выходе из секции пастеризации *1* сигнал поступает от термометра $Т_1$ на регулирующее устройство $РУ_3$, которое, воздействуя на рабочий орган $РО_3$, изменяет соответственно подачу пара в инжектор *3*, настраивая тем самым в нужном направлении температуру горячей воды, поступающей в секцию пастеризации в качестве теплоносителя. Температура пастеризации продукта принимает заданное значение. При отклонении температуры продукта на выходе из секции охлаждения *2* сигнал поступает от термометра $Т_2$ на регулирующее устройство $РУ_4$, которое воздействует на рабочий орган $РО_4$, изменяя соответственно подачу хладагента в секцию охлаждения; температура охлаждения продукта принимает заданное значение.

Достоинством комбинированных САР является стабилизация внешних условий функционирования объекта и точность поддержания заданных значений параметров процесса, а недостатком систем — большое число автоматических устройств (что усложняет эксплуатацию систем).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключаются особенности частичной автоматизации производственных процессов? **2.** При каких условиях возможна комплексная автоматизация производственных процессов? **3.** На каких предприятиях желательна полная автоматизация производственных процессов? **4.** Назовите основные виды систем автоматизированного управления.

Глава 10

ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИХ ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

10.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под ***объектами автоматизации*** в теории автоматического управления понимают любые технологические объекты, которые подвергаются автоматизации. Объем объекта и его сложность определяют уровень автоматизации. Таким образом, при автоматизации производственных процессов к объектам относят отдельный аппарат, механизм, технологический участок, технологическую линию, отдельный цех или предприятие в целом.

При автоматизации любого объекта его технические данные определяют входные (количественные) и выходные (качественные) параметры.

К ***входным параметрам*** относят физические величины, характеризирующие сырье, поступающее в объект, энергоноситель (температура, расход, давление, концентрация, напряжение электрического тока и др.), а также воздействие внешней среды — ее температура, влажность, давление. Изменение входных параметров называют *возмущениями*. В некоторых случаях могут возникнуть ситуации, когда объект меняет свои первоначальные свойства (отложение продукта или выпадение осадка из энергоносителя на теплопередающих поверхностях, увеличение сопротивления трению в соприкасающихся поверхностях вращающихся деталей и др.). Тогда возникают внутренние возмущения в отличие от рассмотренных ранее внешних.

Выходные параметры характеризуют качество полуфабриката или готового продукта, их получают во время работы объекта. Это может быть любой физический, химический или органолептический показатель полуфабриката или готового продукта. Изменения качественных параметров называют *отклонениями*.

В дальнейшем количественные параметры будем обозначать B, а качественные — H. Соответственно возмущения (внутренние и внешние) обозначим $\pm\Delta B$, отклонения — $\pm\Delta H$.

Учитывая многообразие объектов автоматизации и протекающих в них технологических процессов, для сравнения разных по природе объектов теория автоматического управления стремится отойти от технической и технологической сущности объекта. Например, сложно было бы сравнить, какой объект лучше автоматизирован: пастеризатор, в котором температура продукта в результате автоматизации может изменяться в диапазоне ±5 °С, или сепаратор, в котором частота вращения барабана изменяется в диапазоне ±10 об/мин.

Для сравнения качества работы объектов, а также степени воздействия на объект возмущений введены относительные величины возмущений

$$\mu_в = \pm\frac{\Delta B}{B_{ном}}$$

и отклонений

$$\varphi_о = \pm\frac{\Delta H}{H_{ном}},$$

где $\mu_в$ — относительная величина возмущающего воздействия; ΔB — внешнее или внутреннее возмущение в объекте; $B_{ном}$ — номинальное значение параметра; $\varphi_о$ — относительное изменение качественного параметра; ΔH — изменение качественного параметра; $H_{ном}$ — номинальное значение качественного параметра.

Относительные величины иногда выражают в процентах.

При переходе к относительным величинам можно сравнивать объекты разных конструкций и технологического назначения, так как они безразмерны и отражают только степень воздействия входного параметра на изменение выходной величины.

Например, давление пара в системе снабжения установки пастеризации ППОУ изменилось в диапазоне 0,6 ... 0,593 МПа. При этом температура пастеризации снизилась с 76 до 71 °С. Относительное возмущение составило: $\mu_в = 0{,}07 : 0{,}06 \cdot 100 = 11{,}66$ %, а относительное изменение качественного параметра $\varphi_о = 5 : 76 \cdot 100 = 6{,}58$ %.

В сепараторе напряжение питания в сети упало с 380 до 370 В, при этом частота вращения барабана снизилась с 9 600 до 9 300 об/мин. Относительное возмущение составило: $\mu_в = 10 : 380 \cdot 100 = 2{,}63$ %, а относительное отклонение качественного параметра $\varphi_j = 300 : 9600 \cdot 100 = 3{,}12$ %.

Отсюда видно, что первый объект автоматизации меньше реагирует на возмущение, чем второй объект, так как у последнего относительное отклонение больше относительного возмущения.

Объекты, в которых изменяется только один количественный параметр, влияющий на изменение только одного качественного параметра, называют ***одноканальными***. Если изменяются несколько количественных параметров или изменение одного из них вызывает изменение нескольких качественных параметров, такие объекты называются ***многоканальными***.

В теории автоматического управления свойства объектов полностью описываются их статическими и динамическими характеристиками.

10.2. СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Свойства объектов автоматизации определяют статические и динамические характеристики.

Статическая характеристика объекта — зависимость выходного параметра от входного, выраженная в графической или аналитической форме, в установившемся режиме, т. е. без изменения входного параметра во времени.

По виду статической характеристики объекты подразделяются на линейные и нелинейные.

У *линейных объектов* аналитическая форма статической характеристики выражается линейным алгебраическим уравнением вида $H = a + kB$ (a и k — постоянные величины, определяющие в графической форме сдвиг характеристики относительно начала координат и ее наклон к оси абсцисс).

График статической характеристики секции охлаждения пластинчатой пастеризационно-охладительной установки приведен на рис. 10.1, *а* (линейный объект).

У *нелинейных объектов* статическая характеристика описывается нелинейным алгебраическим уравнением вида $H = f(B)$ (f — нелинейная функция).

Разновидностей нелинейных функций очень много. На рис. 10.1, *б* приведен график нелинейной статической характеристики двухкорпусной вакуум-выпарной установки циркуляционного типа (нелинейный объект).

Динамической характеристикой объекта называется зависимость выходной величины объекта от его входной величины в пере-

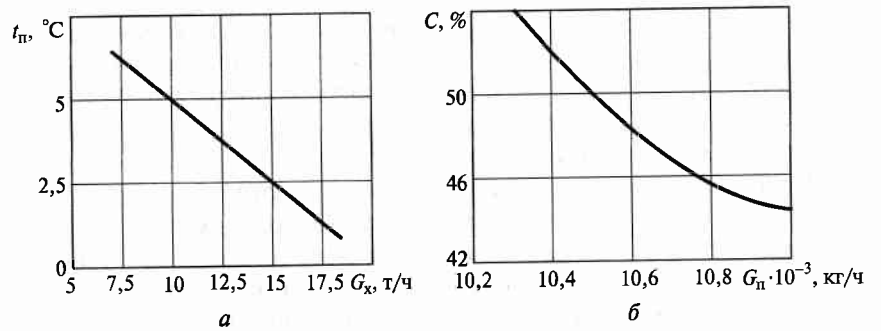


Рис. 10.1. Статические характеристики объектов регулирования:

а — линейная для секции охлаждения ППОУ; $t_п$ — температура продукта; $G_х$ — расход хладагента; *б* — экспоненциальная: C — концентрация сухих веществ; $G_п$ — расход продукта

ходном режиме, т. е. в тот период времени, когда в результате внесения в объект возмущения выходная величина изменяется во времени.

Вид динамической характеристики объекта определяют его динамические свойства, к которым относятся самовыравнивание, емкость, запаздывание.

Самовыравниванием называется способность объекта самостоятельно приходить в новое установившееся равновесное состояние после внесения в него возмущающего воздействия. Способность к самовыравниванию объектов оценивается коэффициентом самовыравнивания δ, который равен отношению относительной величины возмущения $\mu_в$ к относительной величине отклонения $\varphi_о$:

$$\delta = \frac{\mu_в}{\varphi_о}.$$

В зависимости от коэффициента самовыравнивания объекты подразделяют на статические, астатические и неустойчивые.

Статические объекты — это такие объекты, в которых после внесения возмущающего воздействия качественный параметр приходит к новому установившемуся значению. Для таких объектов $\delta > 0$. Большинство объектов пищевой промышленности относят к статическим. Примером статического объекта является рекуперативный нагреватель, в котором теплота от энергоносителя к продукту передается через теплопередающую поверхность. При увеличении энергетических параметров энергоносителя (температуры, давления) качественный параметр продукта (температура) также увеличивается, но через некоторое время приходит к новому постоянному значению.

Изменение качественного параметра при одном и том же изменении количественного параметра зависит от технических характеристик самого объекта, например, при теплопередаче от толщины материала теплопередающей поверхности, направления потоков теплообменивающихся сред и др.

Астатические объекты — объекты, в которых при внесении возмущения качественный параметр изменяется неограниченно с постоянной скоростью. Для таких объектов $\delta = 0$. Примером астатического объекта является резервуар, в который непрерывно поступает жидкий продукт, откачиваемый из него насосом постоянной производительности. Если расход поступающего продукта равен производительности насоса, то качественный параметр — уровень продукта в резервуаре — будет оставаться неизменным. При любом сколь угодно малом увеличении подачи продукта качественный параметр возрастет и, если представить резервуар бесконечной высоты, будет возрастать неограниченно.

Скорость изменения качественного параметра постоянна и определяется разностью между притоком и оттоком продукта. Чем она больше, тем больше скорость изменения уровня. В то же время для резервуаров разного диаметра при одной и той же разности между притоком и оттоком скорость изменения уровня будет различной, т. е. степень воздействия изменения входного параметра (подачи продукта) на выходной (изменение уровня) зависит от технических характеристик объекта.

К ***неустойчивым объектам*** относят такие, в которых при внесении возмущения качественный параметр изменяется неограниченно с возрастающей скоростью. Для неустойчивых объектов $\delta < 0$. Такие объекты в технологических процессах пищевой промышленности практически не встречаются и в дальнейшем рассматриваться не будут.

Емкость объекта — его способность аккумулировать продукт или энергию. По числу емкостей объекты подразделяют на одно- и многоемкостные.

В *одноемкостных объектах* отсутствует сопротивление передачи энергии или вещества. Примером такого объекта служит теплообменник, в котором осуществляется барботаж (впрыскивание) пара в нагреваемую жидкость. Теплота непосредственно передается от энергоносителя к продукту, и емкость объекта определяется количеством теплоты, аккумулируемой продуктом.

В *многоемкостных объектах* возникает сопротивление, препятствующее переходу энергии или вещества, которые накапливаются последовательно или параллельно в нескольких емкостях. Пример

такого объекта — рекуперативный теплообменник. В нем передача теплоты от энергоносителя к продукту происходит через теплопередающую стенку. В данном случае имеется сопротивление передаче теплоты, величина которого определяется свойствами теплопередающей стенки, а энергия аккумулируется в пространстве, заполненном энергоносителем, и в пространстве, заполненном продуктом.

Емкость объекта определяется не только физической сущностью технологического процесса, но и конструктивными особенностями аппарата или машины.

Запаздывание — это время от начала изменения количественного параметра до начала изменения качественного параметра. Существуют транспортное $\tau_т$ и емкостное $\tau_е$ запаздывания.

Транспортное запаздывание определяется расстоянием, которое нужно пройти продукту или энергоносителю, несущими в себе возмущающее воздействие, прежде чем они достигнут точки воздействия на выходной параметр, и скоростью их движения. Транспортное запаздывание определяется, например, длиной трубопровода от рабочего органа до объекта, длиной конвейера и другими параметрами и измеряется в единицах времени.

Емкостное запаздывание характеризуется продолжительностью передачи энергии или вещества в самом объекте. Одноемкостные объекты автоматизации не имеют емкостного запаздывания.

Сумма транспортного и емкостного запаздываний составляет продолжительность *полного запаздывания объекта*.

Динамические характеристики также выражаются в графической или аналитической форме. Для представления *динамических характеристик в графической форме* пользуются понятием переходной характеристики $\varphi(\tau)$ — динамической характеристикой, определяющей изменение выходной величины объекта во времени при входном ступенчатом воздействии $\mu(\tau)$. Переходную характеристику используют при экспериментальном определении динамических характеристик объекта. Снятие динамических характеристик по переходной характеристике проводится по следующей методике:

- объект вводят в установившийся режим работы, соответствующий рабочему режиму;
- с помощью рабочего органа вносят ступенчатое возмущение по каналу продукта или энергоносителя в зависимости от того, по какому каналу в дальнейшем будут вносить регулирующее воздействие;
- с помощью технических средств контроля определяют изменение выходной величины. При наличии самопишущих устройств

изменение выходной величины фиксируется автоматически в виде кривой на диаграмме, при их отсутствии получаемые значения выходной величины записывают по показывающему прибору через равные небольшие промежутки времени. Значения записывают до прихода качественного параметра к новому установившемуся значению для статических объектов или выхода его на установившийся режим изменения для астатических объектов. По полученным данным строят кривую.

На рис. 10.2 приведены переходные характеристики одно- и двухъемкостных статических объектов регулирования, а на рис. 10.3 — для астатического объекта. Степень воздействия возмущающего воздействия на качественный параметр определяют три величины:

$\tau_з$ — продолжительность запаздывания, определяется как промежуток времени от внесения возмущения до начала изменения качественного параметра;

$T_п$ — постоянная времени — продолжительность перехода качественного параметра от одного установившегося значения к другому при условии, что он изменяется с постоянной и максимальной скоростью;

$K_{об}$ — коэффициент передачи объекта, отношение изменения качественного параметра к вызвавшему его изменению количественного параметра.

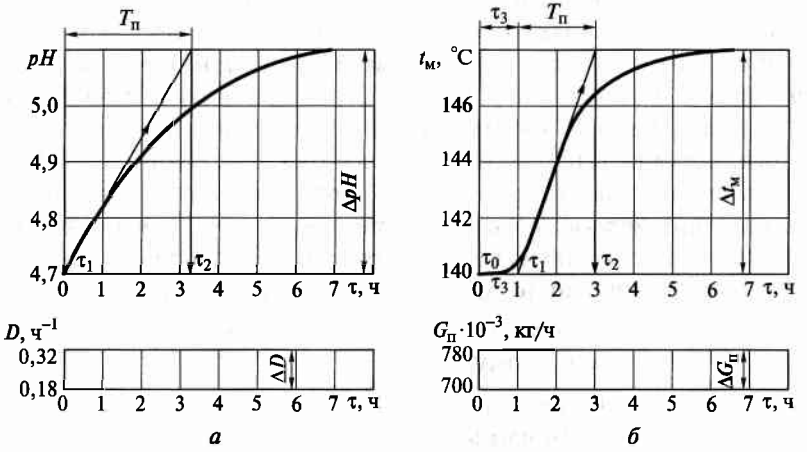


Рис. 10.2. Переходные характеристики статических объектов регулирования:

а — одноемкостного для культиватора непрерывного действия; *б* — двухъемкостного для секции стерилизации пароконтактной установки; *D* — скорость разбавления сквашиваемого молока свежим молоком; $G_п$ — расход пара; τ — время

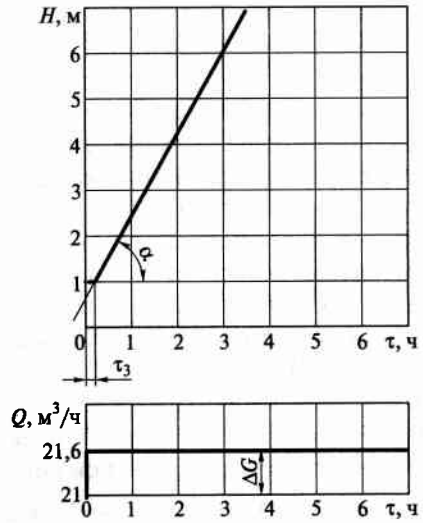


Рис. 10.3. Переходные характеристики астатического объекта

Для нахождения этих величин проводят касательную к точке перегиба кривой изменения качественного параметра для статических одноемкостных объектов (рис. 10.2, *а*) или к точке кривой, где скорость изменения качественного параметра максимальна для статических многоемкостных объектов (рис. 10.2, *б*) или постоянна для астатических объектов (рис. 10.3) до пересечения со старым установившимся значением и новым установившимся значением качественного параметра. Далее из графических построений видно как находят величины $\tau_з$ и $T_п$, их выражают в секундах. Из определения астатического объекта следует, что величины $T_п$ для него не существует.

Коэффициент передачи для статических объектов определяют как $K_{об} = \Delta pH/\Delta D$ (на рис. 10.2, *а*) или $K_{об} = \Delta t_м/\Delta G_п$ (см. рис. 10.2, *б*). В безразмерной форме

$$K_{об} = \frac{\Delta pH}{pH_0} \Big/ \frac{\Delta D}{D_0} \text{ или } K_{об} = \frac{\Delta t_м}{t_{м0}} \Big/ \frac{\Delta G_п}{G_{п0}},$$

где pH_0, D_0, $t_{м0}$, $G_{п0}$ — номинальные величины качественных и количественных параметров.

Для астатических объектов изменение качественного параметра определяется по тангенсу угла наклона переходной характеристики. Таким образом, для объекта с динамическими характеристиками, изображенными на рис. 10.3, $K_{об} = \mathrm{tg}\alpha/\Delta G$ или в безразмерной форме

$$K_{об} = \frac{tg\alpha}{\Delta G G_0^{-1}},$$

где G_0 — номинальное значение количественного параметра.

Для получения *динамических характеристик в аналитической форме* составляют уравнение динамики объекта, описывающее технологические процессы, которые протекают в объекте во времени, в математической форме. При этом, поскольку как технологические параметры, определяющие качество готового продукта, так и количественные параметры, определяющие работу объекта, могут постоянно меняться во времени, используют дифференциальную форму математической записи. Например, для составления уравнения динамики для статического объекта (секция пастеризации пластинчатой пастеризационной установки) используется уравнение теплового баланса в дифференциальной форме

$$dQ_{мат} + dQ_{п} + dQ_{в} = Q_{вн} + Q_{вк} + Q_{пн} + Q_{пк}, \qquad (10.1)$$

где $Q_{мат}$ — теплота, аккумулируемая в материале секции; $Q_{п}$ — теплота, аккумулируемая в продукте, находящемся в секции; $Q_{в}$ — теплота, аккумулируемая в воде, находящейся в секции; $Q_{вн}$ — теплота, поступающая с водой; $Q_{вк}$ — теплота, уносимая водой; $Q_{пн}$ — теплота, приходящая с продуктом; $Q_{пк}$ — теплота, уносимая продуктом.

При этом перечисленные величины определяются по следующим формулам:

$$Q_{мат} = M_{мат} C_{мат} \Delta t_{мат};\ Q_{п} = V_{пс} C_{п} \rho_{п} \Delta t_{п};\ Q_{в} = V_{вс} C_{в} \rho_{в} \Delta t_{в};$$

$$Q_{вн} = V_{в} C_{в} \rho_{в} \Delta t_{вн};\ Q_{вк} = V_{в} C_{в} \rho_{в} \Delta t_{вк};$$

$$Q_{пн} = V_{п} C_{п} \rho_{п} \Delta t_{пн};\ Q_{пк} = V_{п} C_{п} \rho_{п} \Delta t_{пк},$$

где $M_{мат}$ — масса материала пастеризационной секции, кг; $C_{мат}$ — теплоемкость материала, Дж/кг; $\Delta t_{мат}$ — изменение температуры материала секции, °С; $V_{пс}$ — объем продукта в секции, м^3; $C_{п}$ — теплоемкость продукта, Дж/кг; $\rho_{п}$ — плотность продукта, кг/м^3; $\Delta t_{п}$ — изменение температуры продукта в секции, °С; $V_{вс}$ — объем воды в секции, м^3; $C_{в}$ — теплоемкость воды, Дж/кг; $\rho_{в}$ — плотность воды, кг/м^3; $\Delta t_{в}$ — изменение температуры воды в секции, °С; $V_{в}$ — объемный расход воды, м^3/с; $t_{вн}$ — температура воды, поступающей в секцию, °С; $t_{вк}$ — температура воды, выходящей из секции, °С; $V_{п}$ — объемный расход продукта, м^3/с; $t_{пн}$ — температура продукта, поступающего в секцию, °С; $t_{пк}$ — температура продукта, выходящего из секции, °С.

После подстановки этих величин в уравнение (10.1), получаем:

$$M_{мат} C_{мат} \frac{d\Delta t_{мат}}{d\tau} + V_{пс} \rho_{п} C_{п} \frac{d\Delta t_{п}}{d\tau} + V_{вс} \rho_{в} C_{в} \frac{d\Delta t_{в}}{d\tau} =$$
$$= V_{в} \rho_{в} C_{в} t_{вн} - V_{в} \rho_{в} C_{в} t_{вк} + V_{п} \rho_{п} C_{п} t_{пн} - V_{п} \rho_{п} C_{п} t_{пк}.$$

Допустим, что при определенном возмущении изменение температуры продукта, воды и материала секции произойдет одинаково, т. е. $\frac{d\Delta t_{мат}}{d\tau} = \frac{d\Delta t_{п}}{d\tau} = \frac{d\Delta t_{в}}{d\tau}$.

На самом деле при изменении количественного параметра эти величины во времени будут меняться по-разному, но по приходе в установившийся режим их разница останется примерно такой же, поэтому

$$\frac{d\Delta t_{п}}{d\tau}\left(M_{мат} C_{мат} + V_{пс} \rho_{п} C_{п} + V_{вс} \rho_{в} C_{в}\right) =$$
$$= V_{в} \rho_{в} C_{в} \left(t_{вн} - t_{вк}\right) + V_{п} \rho_{п} C_{п} \left(t_{пн} - t_{пк}\right). \qquad (10.2)$$

Обозначим $t_{вн} - t_{вк} = \Delta t_{в}$, а $t_{пн} - t_{пк} = \Delta t_{п}$ и введем относительные единицы, учитывая, что $\Delta t_{п}$ отрицательная величина:

$$\frac{\Delta t_{п}}{t_{п0}} = \varphi \ \text{ и } \frac{\Delta t_{в}}{t_{в0}} = \mu,$$

где $t_{м0}$ — номинальное значение качественного параметра; $t_{в0}$ — номинальное значение количественного параметра. Тогда уравнение (10.2) будет выглядеть так:

$$\frac{d\varphi}{d\tau}\left(M_{мат} C_{мат} + V_{пс} \rho_{п} C_{п} + V_{вс} \rho_{в} C_{в}\right) = V_{в} \rho_{в} C_{в} \mu + V_{п} \rho_{п} C_{п} \varphi. \qquad (10.3)$$

Разделим полученное уравнение (10.3) на $V_{п} \rho_{п} C_{п}$ и перенесем φ в левую часть, получим:

$$\frac{d\varphi}{d\tau}\left(\frac{M_{мат} C_{мат} + V_{пс} \rho_{п} C_{п} + V_{вс} \rho_{в} C_{в}}{V_{п} \rho_{п} C_{п}}\right) + \varphi = \frac{V_{в} \rho_{в} C_{в}}{V_{п} \rho_{п} C_{п}} \mu.$$

Обозначим величины

$$\frac{M_{мат} C_{мат} + V_{пс} \rho_{п} C_{п} + V_{вс} \rho_{в} C_{в}}{V_{п} \rho_{п} C_{п}} = T_{п};\ \ \frac{V_{в} \rho_{в} C_{в}}{V_{п} \rho_{п} C_{п}} = K_{об}.$$

В результате получим:

$$\frac{d\varphi}{d\tau} T_{п} + \varphi = K_{об} \mu. \qquad (10.4)$$

Выражение (10.4) — дифференциальное уравнение динамики объекта первого порядка, которое было получено с определенными допущениями.

Уравнение динамики для астатического объекта, например для резервуара с откачкой продукта насосом постоянной подачи, можно представить в виде:

$$M_{п} - M_{в} = \rho_{п} F \frac{dH_{п}}{d\tau}, \qquad (10.5)$$

где $M_{п}$ — масса подаваемого продукта, кг/с; $M_{в}$ — масса расходуемого продукта, кг/с; F — площадь зеркала резервуара, м^2; $H_{п}$ — уровень продукта в резервуаре, м; τ — длительность изменения уровня, с.

Обозначим $M_{п} - M_{н} = \Delta M$ и перейдем к безразмерной форме $\Delta M/M_0 = \mu$ и $\Delta H/H_0 = \varphi$ (M_0 — подача продукта в установившемся режиме, кг/с; H_0 — уровень продукта в резервуаре в установившемся режиме, м).

Тогда выражение (10.5) можно представить в виде:

$$\rho_{п} F \frac{d\varphi}{d\tau} = \mu$$

или

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{1}{\rho_{п} F}\mu.$$

Величина $1/\rho_{п}F = K_{об}$ является коэффициентом передачи данного астатического объекта и показывает изменение уровня в метрах на килограмм поступающего продукта.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляют собой локальные системы автоматизации? **2.** Охарактеризуйте три уровня автоматизации производственных процессов. **3.** Какие классы локальных систем применяют в отрасли? Охарактеризуйте их. **4.** Дайте классификацию САР. **5.** Что представляют собой объект автоматизации и его характеристики? **6.** Как подразделяют воздействия на объект? **7.** Какие бывают статические характеристики? **8.** Что представляют собой переходная характеристика и метод ее определения? **9.** Перечислите динамические свойства объектов автоматизации и дайте их определение. **10.** Какие бывают виды запаздывания в объектах регулирования?

Глава 11

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

11.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ САР

САР обеспечивает автоматизированный сбор и обработку информации для оптимизации управления объектом в соответствии с принятыми критериями.

Критериями функционирования САР являются технико-экономические показатели (себестоимость выходного продукта, при заданном качестве, производительность ОУ при заданном качестве), технические показатели (параметры работы ОУ, характеристики выходного продукта), а также минимизация потерь сырья и вспомогательных материалов, обеспечение требуемых санитарно-гигиенических показателей, уменьшение трудовых затрат работников производства.

В зависимости от свойств ОУ, технологических требований и возможных изменениях возмущающих воздействий применяются САР прерывистого и непрерывного действия.

11.2. СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРЕРЫВИСТОГО ДЕЙСТВИЯ

В САР прерывистого действия применяются регуляторы дискретного релейного типа. Рабочий орган у таких регуляторов может принимать два или несколько фиксированных положений (позиций), соответствующих определенному отклонению регулируемой величины, поэтому эти регуляторы называют также позиционными. Позиционные регуляторы широко используются при автоматизации технологических процессов. Наиболее простым из них явля-

ется двухпозиционный регулятор (ДПР), у которого рабочий орган может занимать только два положения — полностью открыт или полностью закрыт, что соответствует максимальному и минимальному регулирующему воздействию. Характеристика ДПР приведена графически на рис. 11.1, *а*, где видно, что отклонение регулируемой величины Δx от заданного значения x_0 на величину большую ε (диапазон наибольших отклонений регулируемой величины от заданного значения, не вызывающих срабатывания регулятора), вызывает срабатывание регулятора и управляющее его воздействие равно Q_{max} или Q_{min} в зависимости от знака отклонения.

Математическое описание действия ДПР представляет собой систему уравнений:

$$Q = Q_{min}, \text{ при } \Delta x > \varepsilon \text{ и } d\Delta x/d\tau < 0;$$

$$Q = Q_{max}, \text{ при } \Delta x > \varepsilon \text{ и } d\Delta x/d\tau > 0.$$

Переходный процесс в статической САР с двухпозиционным регулятором (рис. 11.1, *б*) носит характер незатухающих колебаний; на рис. 11.1, *в* приведен график соответствующего положения регулирующего органа.

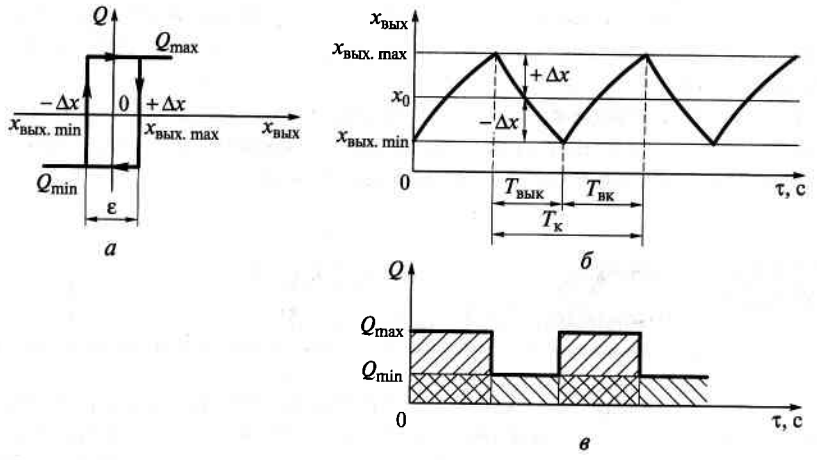


Рис. 11.1. Автоматическая система регулирования с двухпозиционным регулятором:

а — график регулирующего воздействия; *б* — переходной процесс регулирования; *в* — положение рабочего органа

Основными показателями качества колебательного процесса в системе с ДПР являются период колебаний $T_к$ и амплитуда колебаний. Период колебаний равен суммарной продолжительности двух состояний регулирующего органа — во включенном $T_{вк}$ и выключенном $T_{вык}$ положениях.

В объектах без запаздывания амплитуда колебаний практически равна половине зоны нечувствительности регулятора. При наличии запаздывания амплитуда колебаний будет тем больше, чем больше зона нечувствительности регулятора и чем больше отношение $\tau_з/T_{об}$ для регулируемого объекта. Поэтому ДПР целесообразно применять на объектах с малым запаздыванием $\tau_з$ и большой постоянной времени $T_{об}$ ($\tau_з/T_{об} \le 0{,}2$).

11.3. СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ И ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

В САР данного типа применяют регуляторы, у которых при получении сигнала об отклонении регулируемой величины регулирующий орган перемещается плавно и непрерывно до момента установления заданного значения регулируемой величины с определенной степенью точности, обусловленной видом регулятора.

Основной характеристикой регуляторов непрерывного действия является функциональная зависимость между отклонением регулируемой величины и перемещением регулирующего органа. Эта зависимость называется ***законом регулирования***, по которому различают основные виды регуляторов: пропорциональный (статический), интегральный (астатический), пропорционально-интегральный (изодромный) и регулятор с предварением. Характеристики регуляторов непрерывного действия и переходные процессы регулирования в статическом объекте приведены на рис. 11.2.

Пропорциональным (П-регулятором) называется регулятор, у которого перемещение регулирующего органа пропорционально отклонению регулируемой величины от ее заданного значения.

Уравнение регулятора имеет вид

$$u = \kappa_р \Delta x,$$

где u — регулирующее воздействие регулятора; $\kappa_р$ — коэффициент передачи (или коэффициент усиления) регулятора; Δx — отклонение регулируемой величины от заданного значения.

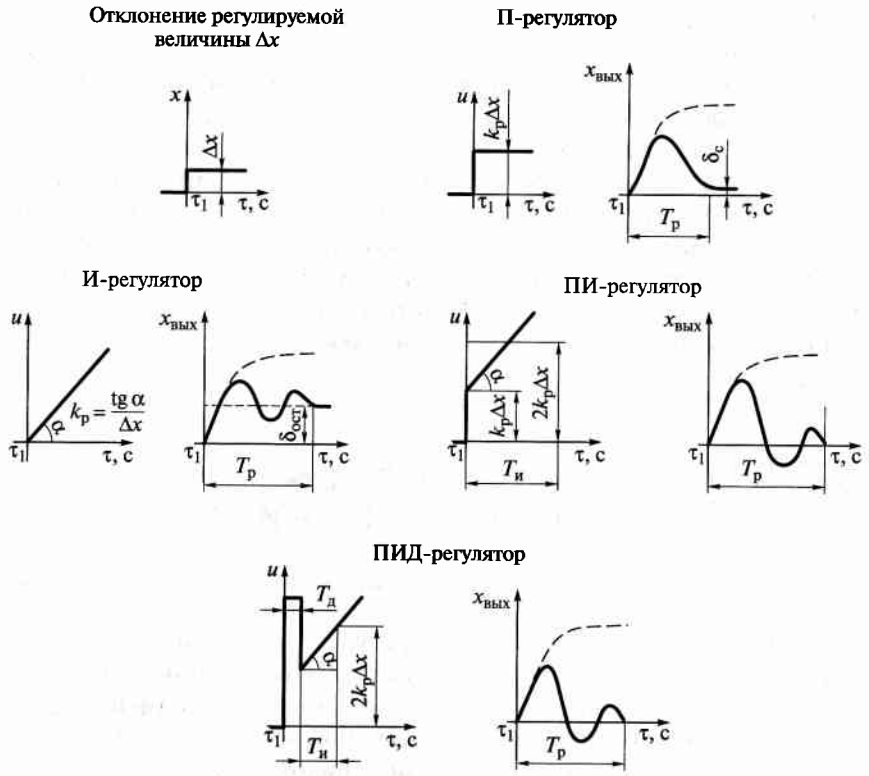


Рис. 11.2. Характеристики регуляторов непрерывного действия

Значение коэффициента усиления равно перемещению регулирующего органа регулятора при отклонении регулируемой величины на единицу ее измерения. Коэффициент $к_р$ является параметром настройки П-регулятора. Величину, обратную коэффициенту усиления регулятора, т. е. $1/к_р$, называют ***статизмом регулятора***, а величину $\delta_с = (1/к_р) \cdot 100$ — ***пределом пропорциональности***, или ***степенью неравномерности***. Значение предела пропорциональности определяют как участок шкалы измерительного прибора, выраженный в процентах длины всей шкалы, в границах которого изменение регулируемой величины вызывает перемещение регулирующего органа из одного крайнего положения в другое. Например, если предел пропорциональности составляет 80 %, то это означает, что отклонение стрелки измерительного прибора на 80 % шкалы вызовет перемещение регулирующего органа регулятора из одного крайнего положения в другое, а отклонение стрелки на 1 % шкалы вызовет перемещение регулирующего органа на $^1/_{80}$ его полного хода. Особенность переходного процесса регулирования в системе с П-регулятором состоит в наличии остаточного отклонения (статической ошибки) $\delta_с$ в его конце.

Достоинством П-регулятора является малое время переходного процесса регулирования, т. е. быстродействие, недостатком — наличие статической ошибки.

Интегральным (И-регулятором) называется регулятор, у которого регулирующее воздействие пропорционально интегралу отклонения регулируемой величины.

Уравнение И-регулятора имеет вид

$$u = 1/T_и \left(\int_0^\tau \Delta x d\tau \right) \text{ или } T_и(dm/dt) = Dx,$$

где $T_и$ — постоянная времени регулятора, равная продолжительности перемещения регулирующего органа из одного крайнего положения в другое при максимальном отклонении регулируемой величины, с; $1/T_и$ — скорость перемещения регулирующего органа, пропорциональная степени отклонения регулируемой величины, $с^{-1}$.

Регулирующее воздействие И-регулятора продолжается до тех пор, пока отклонение регулируемой величины от заданного значения сведется к нулю, т. е. в конце переходного процесса регулирования величина достигает заданного значения.

В момент отключения регулирующий орган может занимать любое положение в пределах своего рабочего хода.

Параметром настройки И-регулятора является скорость перемещения регулирующего органа $1/T_и$.

Достоинство И-регулятора заключается в отсутствии остаточного отклонения регулируемой величины в конце регулирования, *недостатком* — относительно малая скорость (длительность) процесса. В связи с этим рекомендуется применять И-регуляторы в объектах с большим самовыравниванием при плавных изменениях нагрузки.

Пропорционально-интегральным (ПИ-регулятором) называется регулятор, у которого регулирующее воздействие пропорционально отклонению регулируемой величины от заданного значения и интегралу по времени от этого отклонения. Действие данного регулятора можно рассматривать как совместное действие пропорционального и интегрального регуляторов.

Уравнение регулятора имеет вид

$$u = \kappa_p \Delta x + 1/T_и \left(\int_0^\tau \Delta x d\tau \right),$$

где $T_и$ — продолжительность действия интегральной составляющей регулятора — продолжительность изодромы, с.

Регулирующее воздействие ПИ-регулятора характерно тем, что в первоначальный момент введения его при отклонении регулируемой величины от заданного значения, большое воздействие, снижающее величину отклонения за малый отрезок времени, оказывает пропорциональная составляющая. В последующем бóльшее влияние на процесс регулирования оказывает интегральная составляющая, что обеспечивает исключение статической ошибки в конце процесса регулирования.

Степень введения пропорциональной или интегральной составляющей в ПИ-регулятор определяется соответственно величинами κ_p и $T_и$, которые служат параметрами настройки регулятора.

Достоинство ПИ-регулятора заключается в том, что он поддерживает заданное значение регулируемой величины при возмущениях в объекте и не имеет остаточного отклонения в конце переходного процесса регулирования.

Пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД-регулятором) называется регулятор, у которого регулирующее воздействие пропорционально отклонению регулируемой величины от задания, интегралу и скорости этого отклонения. Уравнение регулятора имеет вид

$$u = \kappa_p \Delta x + 1/T_и \left(\int_0^\tau \Delta x d\tau \right) + T_д \left[d(\Delta x)/d\tau \right].$$

Параметрами настройки ПИД-регулятора являются параметры κ_p, $T_и$, $T_д$.

Из всех рассмотренных автоматических регуляторов ПИД-регулятор наиболее сложный как по принципу действия, так по устройству и наладке, в связи с этим он применяется редко. ПИД-регуляторы целесообразно применять на инерционных объектах с большим запаздыванием и жесткими технологическими требованиями к процессу регулирования. И-регулятор практического применения не имеет, а входит как составляющий в структуру сложных ПИ- и ПИД-регуляторов.

11.4. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

В реальных условиях автоматическая система регулирования не может все время находиться в установившемся режиме, который характеризуется постоянством во времени всех параметров объекта и системы в целом. На САР действуют внешние возмущения, которые вызывают отклонение регулируемого параметра от заданного значения, а также корректирующее воздействие регулятора, который стремится восстановить заданное значение параметра. В результате этих воздействий в системе возникают переходные процессы.

В переходном процессе САР происходит изменение величины регулируемого параметра во времени под воздействием регулятора, поэтому переходный процесс в САР называют также ***процессом регулирования***. Характер процесса регулирования зависит от свойств объекта и регулятора. Причем свойства объекта регулирования — постоянны и неизменны, обусловлены конструкцией объекта, а свойства регулятора можно изменять в нужном направлении в пределах технической характеристики регулятора, настраивая его в соответствии с технологическими требованиями к процессу регулирования в каждом случае. Переходные процессы могут быть апериодическими и колебательными (затухающими, гармоническими и расходящимися).

Апериодический процесс (рис. 11.3, *а*) характеризуется плавным, монотонным возвращением регулируемого параметра к заданному значению в астатических САР (кривая *1*). Продолжительность регулирования T_{p1} для данного процесса соответствует отрезку по оси абсцисс, ограниченному точками τ_0 (начало переходного процесса) и τ_2 (значение параметра, равное 5%-ному первоначальному отклонению параметра под воздействием возмущения). Апериодический процесс регулирования в статических САР (кривая *2*) характеризуется установлением в конце процесса нового значения регулируемого параметра с небольшим отклонением от заданного значения. Продолжительность регулирования T_{p2} в этом случае соответствует отрезку $\tau_0\tau_1$ по оси абсцисс. Точка τ_1 соответствует продолжительности достижения регулируемым параметром нового установившегося значения $x_{уст}$, близкого к заданному.

Колебательный затухающий процесс (рис. 11,3, *б*) характеризуется колебанием отклонения регулируемого параметра с уменьшающейся амплитудой, возвращением к заданному значению в ас-

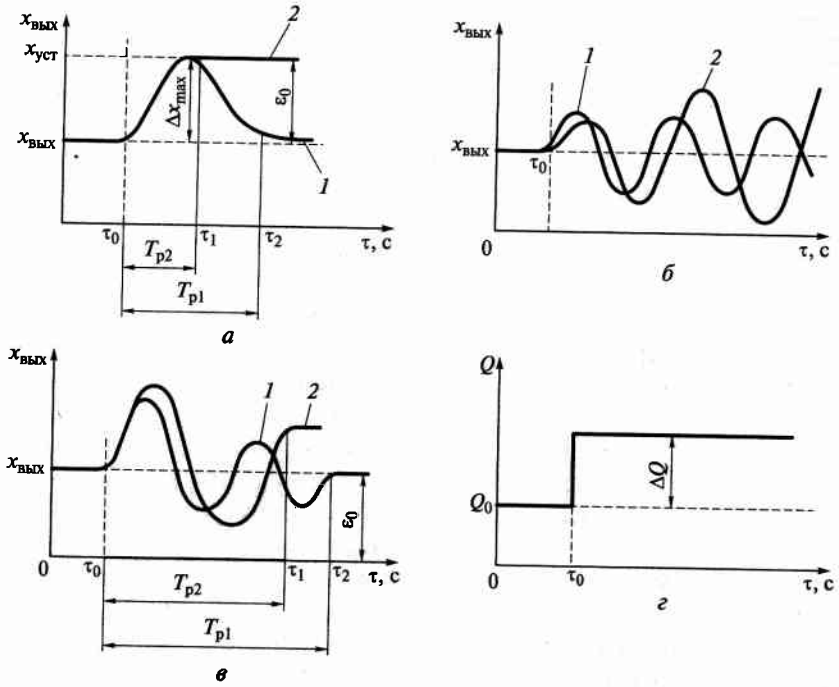


Рис. 11.3. Переходные процессы в САР:

а — апериодический; *б* — колебательный затухающий; *в* — колебательный гармонический; *г* — изменение входного параметра

татических САР (кривая *1*) и переходом его к новому значению в статических САР (кривая *2*). Продолжительность регулирования при колебательных затухающих процессах регулирования равна продолжительности установления постоянных значений регулируемого параметра T_{p1} и T_{p2} соответственно.

Колебательный гармонический процесс (рис. 11.3, *в*) характеризуется незатухающим (с постоянной амплитудой) колебанием отклонения регулируемого параметра (кривая *1*). В этом случае система никогда не приходит в установившееся состояние, а регулируемый параметр — к заданному значению.

Колебательный расходящийся процесс (кривая *2* на рис. 11.3, *в*) характеризуется возрастанием во времени амплитуды колебания отклонения регулируемого параметра. Все рассмотренные переходные процессы возникают в реальных САР в результате положительного возмущающего воздействия ΔQ (рис. 11.3, *г*).

11.5. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Для различных систем регулирования важен характер затухания переходного процесса. Так, затухание переходного процесса может происходить медленно или быстро: медленно — значит система долго выходит на новый установившийся режим, т. е. она обладает недостаточным быстродействием и, следовательно, применение ее ограниченно; если затухание переходного процесса в САР происходит быстро, то система обладает высокой степенью работоспособности. Переходный процесс может быть с большим или малым отклонением регулируемого параметра от заданного значения. Следовательно, устойчивость необходимое, но недостаточное условие работоспособности САР. Достаточным условием является качество процесса регулирования, которое оценивается по форме переходного процесса, полученного в результате единичного скачкообразного возмущения ΔQ, относительно его номинального значения $Q_{ном}$ (рис. 11.4, *а*).

Основными показателями качества процесса регулирования являются: продолжительность регулирования, перерегулирование, степень затухания, статическая ошибка, максимальное динамическое отклонение параметра (рис. 11.4, *б*).

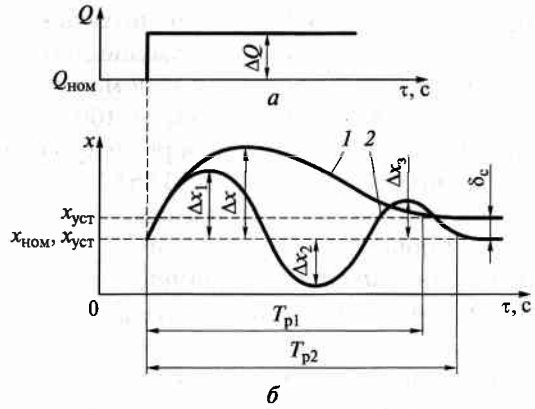


Рис. 11.4. Показатели качества переходных процессов САР:

а — график скачкообразного возмущающего воздействия; *б* — переходные процессы

Продолжительность регулирования $T_р$ — это длительность переходного процесса с момента отклонения регулируемой величины от заданного значения до момента возвращения ее регулятором к заданному значению или новому установившемуся значению с заданной точностью.

Практически считают, что переходный процесс заканчивается тогда, когда отклонение регулируемой величины $x(\tau)$ от нового установившегося значения $x_{уст}$ не будет превышать допустимых пределов ε.

Обычно принимают $\varepsilon = (0{,}03 \ldots 0{,}05)x_{уст}$ (кривая *1*).

Продолжительность регулирования характеризует быстродействие системы.

Перерегулированием δ называется отношение амплитуды второй полуволны Δx_2 колебательного переходного процесса к амплитуде колебаний в первом периоде Δx_1 (кривая *2*), выраженное в процентах: $\delta = (\Delta x_2/\Delta x_1)\cdot 100$.

Колебательность переходного процесса регулирования характеризуется степенью затухания.

Степень затухания Ψ — отношение разности между положительными амплитудами первого и второго периодов колебательного процесса к величине амплитуды первого периода колебаний (кривая *2*), выраженное в процентах: $\Psi = [(\Delta x_1 - \Delta x_2)/\Delta x_1]\cdot 100$.

Чем выше степень затухания, тем лучше качество регулирования. Для устойчивых САР $0 < \Psi \le 1$.

Статическая ошибка $\delta_с$ — максимальное остаточное отклонение регулируемой величины от номинального ее значения в конце переходного процесса (кривая 1), которое получается при максимально возможных в данной системе возмущениях. Принято статическую ошибку выражать в процентах от номинального значения регулируемой величины $x_{ном}$, т. е. $\eta = (\delta_с/x_{ном})\cdot 100$.

Для реальных автоматических систем регулирования статическая ошибка не должна превышать 0,03 ... 0,05 % от $x_{ном}$. Обычно величина допустимой статической ошибки задается технологическими требованиями к процессу регулирования.

Максимальное динамическое отклонение $\Delta x_{max} = \Delta x_1 = \Delta x$ представляет собой величину максимального отклонения регулируемого параметра от заданного. Эта величина соответствует первой полуволне переходного процесса регулирования.

Отклонение называют динамическим, поскольку оно имеет временной характер.

Величина динамического отклонения ограничивается технологическими требованиями к процессу регулирования.

11.6. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЕГО НАСТРОЙКИ

Под выбором автоматического регулятора понимается определение закона регулирования. Расчет параметров настройки регулятора заключается в определении коэффициентов уравнения регулятора, что обеспечивает переходный процесс с показателями качества регулирования, соответствующими заданным технологическим требованиям.

Для оценки автоматических систем с разными регуляторами необходимо сравнивать показатели качества регулирования при работе системы в режимах типовых переходных процессов, принятых за оптимальные. В этом случае можно целенаправленно выбирать автоматический регулятор и рассчитывать параметры его оптимальных настроек.

За оптимальные переходные процессы регулирования (рис. 11.5) приняты следующие: граничный апериодический процесс, регулирование с 20%-ным перерегулированием, регулирование с минимальной квадратичной площадью отклонения регулируемой величины.

Граничный апериодический процесс регулирования (кривая *1*) — процесс с минимальным временем регулирования $T_{р1}$, отсутствием перерегулирования и минимальным регулирующим воздействием.

Регулирование с 20%-ным перерегулированием $\Delta x_2'/\Delta x_2 = 0{,}2$ — колебательный затухающий переходный процесс с наибольшим

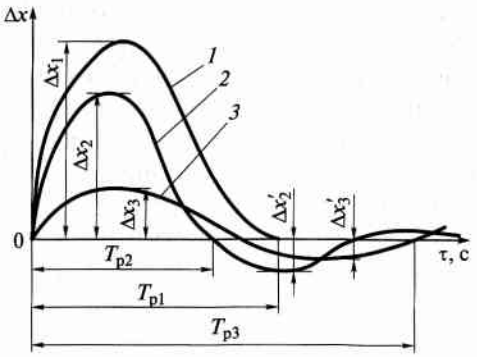


Рис. 11.5. Оптимальные переходные процессы автоматического регулирования

отклонением регулируемой величины в первом полупериоде, длительность которого $T_{р2}$ минимальна (кривая *2*).

Регулирование с минимальной квадратичной площадью отклонения регулируемой величины $\min\int_0^\infty \Delta x^2 d\tau$ характеризуется наименьшим отклонением регулируемой величины Δx_3, наибольшим регулирующим воздействием и наибольшим временем регулирования $T_{р3}$ (кривая *3*). Перерегулирование в данном переходном процессе может достигать 40... 45 %.

Для практических расчетов САР широко используется графоаналитический метод выбора регулятора и параметров его оптимальных настроек. Исходными данными для расчетов являются свойства объекта регулирования: продолжительность запаздывания τ_3, постоянная времени $T_{об}$, коэффициент усиления объекта $к_{об}$, максимально возможные возмущения в объекте ΔQ, максимальное динамическое отклонение регулируемой величины Δx, допускаемое остаточное отклонение ε, предельно допустимая продолжительность регулирования $T_р$. По этим данным рассчитывают отношение $\tau_3/T_{об}$ и динамический коэффициент $R_д$, который показывает степень воздействия регулятора на объект, равный отношению максимального отклонения регулируемой величины от задания в процессе регулирования, вызванного однократным скачкообразным возмущением, к отклонению регулируемой величины в объекте без регулятора при том же возмущении, т. е. $R_д = \Delta x_{вых\,max}/к_{об}\Delta Q$.

По отношению $\tau_3/T_{об}$ определяют тип регулятора, так при $\tau_3/T_{об} < 1$ принимают регулятор непрерывного действия, при $\tau_3/T_{об} < 0{,}2$ принимают регулятор прерывистого, позиционного действия. При выборе регулятора непрерывного действия определяют его тип (закон регулирования) по следующей методике.

Задаваясь типом переходного процесса регулирования, по графикам зависимости $R_д$ (рис. 11.6) находят простейший тип регулятора. После выбора регулятора по этим графикам необходимо проверить, обеспечивается ли допускаемая продолжительность регулирования при данном переходном процессе. Это делают по графикам рис. 11.7, отражающим зависимость относительной продолжительности регулирования $T_р/\tau_3$ от величины $\tau_3/T_{об}$ для различных регуляторов непрерывного действия и характера типовых переходных процессов.

Если продолжительность регулирования, определенная по указанным графикам, больше допускаемой технологическими требованиями, то необходимо изменить вид типового переходного про-

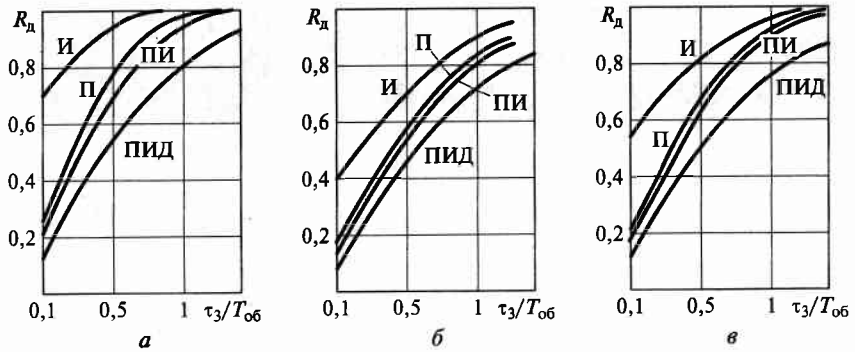


Рис. 11.6. Графики зависимости коэффициента $R_д$ от $t_э/T_{об}$ для оптимальных процессов регулирования:

а — апериодический; *б* — с 20%-ным перерегулированием; *в* — с минимальной площадью отклонения регулируемой величины

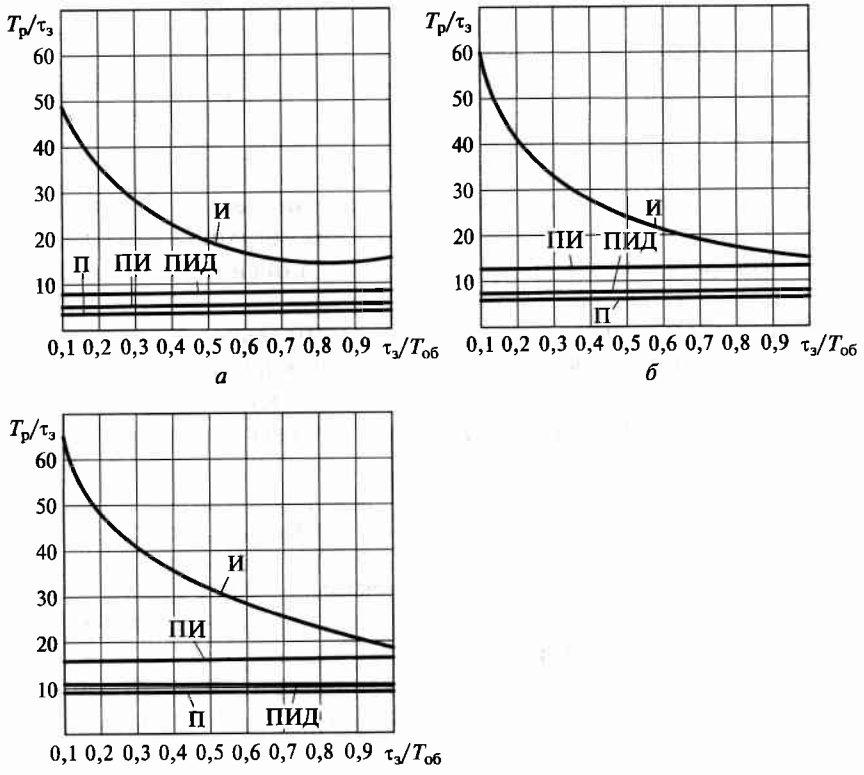


Рис. 11.7. Графики зависимости относительной продолжительности регулирования $T_р/t_э$ от $t_э/T_{об}$ (*а*, *б*, *в* — см. рис. 11.6)

Таблица 11.1. Расчетные формулы параметров настроек регуляторов непрерывного действия

Регулятор	Процесс		
	граничный апериодический	с 20%-ным перерегулированием	$\min\int_0^\infty \Delta x^2 d\tau$
И	$k_р = 1/4{,}5k_{об}T$	$k_р = 1/1{,}7k_{об}T_{об}$	$k_р = 1/1{,}7k_{об}\tau$
П	$k_р = 0{,}3/k_{об}(\tau/T)$	$k_р = 0{,}7/k_{об}(\tau/T)$	$k_р = 0{,}9/k_{об}(\tau/T)$
ПИ	$k_р = 0{,}6/k_{об}(\tau/T)$	$k_р = 0{,}7/k_{об}(\tau/T)$	$k_р = 1/k_{об}(\tau/T)$
	$T_и = 0{,}8\tau + 0{,}5T$	$T_и = \tau + 0{,}3T$	$T_и = \tau + 0{,}35T$
ПИД	$k_р = 0{,}95/k_{об}(\tau/T)$	$k_р = 1{,}2/k_{об}(\tau/T)$	$k_р = 1{,}4/k_{об}(\tau/T)$
	$T_и = 2{,}4\tau$	$T_и = 2\tau$	$T_и = 1{,}3\tau$
	$T_д = 0{,}4\tau$	$T_д = 0{,}4\tau$	$T_д = 0{,}5\tau$

цесса или использовать другой закон регулирования и снова произвести проверку. Если продолжительность регулирования получена меньше допустимой, то закон регулирования и типовой переходный процесс выбраны правильно.

Для приближенных расчетов продолжительность регулирования обычно принимают $T_р \approx 4T_{об}$. Если выбран П-регулятор, необходимо проверить величину остаточного отклонения регулируемой величины от заданного значения, которую рассчитывают по формуле

$$\varepsilon = [\kappa_{об}/(1 + \kappa_с)]/\Delta Q; \quad \kappa_с = \kappa_{об}\kappa_р,$$

где $\kappa_{об}$ — коэффициент усиления объекта; $\kappa_с$ — коэффициент передачи системы автоматического регулирования; $\kappa_р$ — коэффициент регулирования регулятора.

Если рассчитанное остаточное отклонение превышает допустимое значение, то П-регулятор необходимо заменить на ПИ- или ПИД-регулятор.

Значение параметров настроек регуляторов непрерывного действия определяют расчетным путем по специальным методикам или приближенно по формулам, приведенным в табл. 11.1.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие критерии характеризуют качество работы САР? **2.** Какие положения может занимать РО при двухпозиционном регулировании? **3.** Как влияет зона нечувствительности двухпозиционного регулятора на амплитуду колебаний качественного параметра? **4.** Что является законом регулирования для регуляторов непрерывного действия? **5.** В чем недостатки работы П-регулятора и И-регулятора? **6.** В каком переходном процессе САР отсутствует колебательность? **7.** Какой параметр определяет продолжительность процесса регулирования? **8.** Какой из переходных процессов регулирования имеет минимальное отклонение качественного параметра и максимальную продолжительность регулирования? **9.** Какие динамические характеристики ОУ влияют на выбор закона регулирования?

III РАЗДЕЛ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Глава 12. Регулирующие устройства

Глава 13. Микропроцессоры, ЭВМ и роботы в управлении технологическими процесами

Глава 14. Исполнительные механизмы и рабочие органы

Глава 15. Вспомогательные средства систем автоматизации

Глава 12

РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

12.1. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ПРИБОРЫ ПОЗИЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ

При автоматизации технологических процессов в системах автоматического регулирования прерывистого действия используется реле (сигнализаторы) различных технологических параметров: реле температуры; реле давления; реле уровня; реле наличия потока. По исполнению они представляют собой бесшкальные одно- или многопредельные приборы с электрическим двух- или трехпозиционным контактным устройством на выходе.

В зависимости от принципа действия ***реле температуры*** подразделяются на ртутные, манометрические, биметаллические, дилатометрические, терморезисторные и работающие с термопреобразователями сопротивления.

Реле имеют различное конструктивное исполнение в зависимости от принципа действия и назначения и рассчитаны на работу в помещениях с нормальной и взрывоопасной средой. В качестве примера на рис. 12.1 приведена конструкция манометрического реле температуры, предназначенного для сигнализации и позиционного регулирования температуры жидких и газообразных сред с давлением до 6,4 МПа.

Термочувствительная система реле состоит из термобаллона *6*, соединительного капилляра *7*, корпуса *8*, сильфона *9* и рабочего вещества. При изменении температуры измеряемой среды изменяется давление в термосистеме, которое воспринимается сильфоном, связанным с узлом настройки диапазона срабатывания датчика, состоящим из уравновешивающей цилиндрической пружины *12*, указателя *13*, шкалы *14* и винта установки точки срабатывания *2*. Через систему рычагов передаточного механизма *5* сильфон воздействует на контактное устройство *4*. Пределы срабатывания контакт-

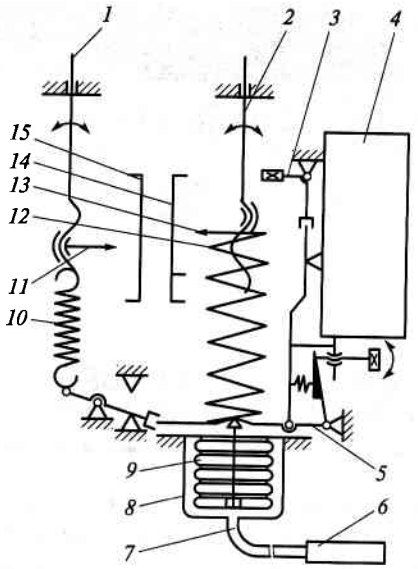


Рис. 12.1. Манометрическое реле температуры

ного устройства устанавливаются с помощью винта *2* за счет изменения поджатия пружины *12*. Разность между температурой срабатывания и температурой отпускания реле определяет зону нечувствительности, которая может быть регулируемой и нерегулируемой. Регулировка зоны нечувствительности осуществляется с помощью встраиваемого в реле специального узла, состоящего из пружины *10*, указателя *11*, винта установки зоны *1* и шкалы *15*. Узел включается в работу при температуре измеряемой среды, отличающейся от уставки на величину зоны нечувствительности в сторону ее повышения или понижения. При этом, если реле предназначается для сигнализации повышения температуры относительно уставки и имеет зону нечувствительности в сторону повышения, то срабатывание контактного устройства будет происходить при температуре, равной сумме температур уставки и зоны нечувствительности, а отпускание — при температуре, равной уставке. Для обеспечения устойчивой работы реле при механических воздействиях оно снабжено специальным демпферным устройством *3*, состоящим из рычага с грузом на конце, шарнирно связанного с передаточным механизмом *5*. В качестве контактного устройства применен микропереключатель. Реле выпускаются со шкалами для регулирования уставки срабатывания и зоны нечувствительности, либо без шкал с информационными отметками.

По конструктивному исполнению реле разделяются на дистанционные и камерные. В камерных реле чувствительный элемент — термобаллон — часть конструкции прибора, а в дистанционных реле термобаллон соединяется с прибором через соединительный капилляр различной длины.

Любой компрессор, паровой котел или сосуд высокого давления имеют допустимую величину рабочего давления, превышение которого может привести к аварии, взрыву и выводу оборудования из строя. В связи с этим такое оборудование имеет автоматическую защиту, позволяющую производить «сброс» предельного давления или останов предаварийного оборудования.

Для этих целей используются ***реле давления***, которые по типу чувствительного элемента подразделяются на четыре группы: пружинные, поршневые, мембранные и сильфонные. В качестве примера на рис. 12.2 приведена принципиальная схема сильфонного реле давления.

Контролируемое давление подается в корпус *5* прибора, в котором находится сильфон *4*; к дну сильфона приварен шток *6*, который упирается в рычаг *7*. При повышении давления сильфон *4* сжимается и перемещает шток *6*, который в свою очередь через посредство рычага *7* перемещает рычаг *8*, переключающий контактное устройство *1*. Равновесное состояние всей системы наступает тогда, когда усилие, создаваемое измеряемым давлением и действующее на дно сильфона, уравновесится усилием упругих деформаций сильфона и винтовой цилиндрической пружины *3*. При понижении измеряемого давления, а следовательно, и силы, создаваемой этим давлением, сильфон *4* будет разжиматься под действием пружины *3* и через систему рычагов произойдет новое переключение контактного устройства *1*. Прибор на определенное значение давления, при котором должно сработать контактное устройство *1*, настраивается путем изменения натяжения пружины *3* с помощью гайки *2*.

Реле уровня предназначены для управления и регулирования уровня жидкости пу-

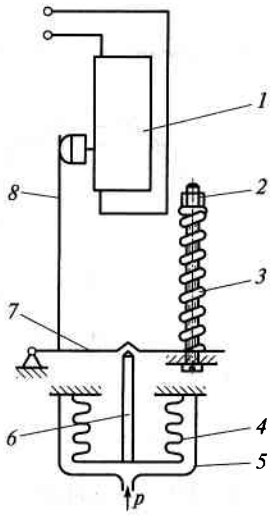


Рис. 12.2. Сильфонное реле давления

тем включения или отключения электрической цепи, управляющей исполнительным механизмом с рабочим органом подачи жидкости в резервуар.

В гл. *7* были рассмотрены сигнализаторы уровня: поплавковый типа ПРУ-5, кондуктометрический и емкостной, которые также могут использоваться для регулирования уровня.

На рис. 12.3 показано поплавковое реле уровня, предназначенное для регулирования уровня в открытых резервуарах.

Прибор устанавливают непосредственно на стенке резервуара, он состоит из двух основных элементов: клапана *4* и поплавка *1*. Поток подаваемой в резервуар жидкости проходит через клапан *4* и своим напором поднимает поршень *5* и связанный с ним золотник *6*. Одновременно часть жидкости проходит через калиброванное отверстие *7* в поршне *5* через вспомогательный клапан *3*. Рычаг поплавка шарнирно соединен с корпусом вспомогательного клапана *3*, на конце рычага неподвижно закреплена пробка *2* клапана *3*. По достижении заданного уровня поплавок поднимается вверх и пробкой *2* закрывает клапан *3*. В результате давление на поршень *5* клапана *4* с обеих сторон выравнивается, и он под действием собственной массы опускается вниз. Золотник *6* закрывает проходное сечение клапана, и поступление жидкости в резервуар прекращается. При понижении уровня поплавок с пробкой *2*, опускаясь, приоткроет вспомогательный клапан *3*, давление над поршнем *5* понизится, и под действием большего давления потока жидкости под поршнем он переместится вверх, открывая клапан *4*. Полное открытие и закрытие клапана регулятора происходит при изменении уровня в резервуаре на 100 мм.

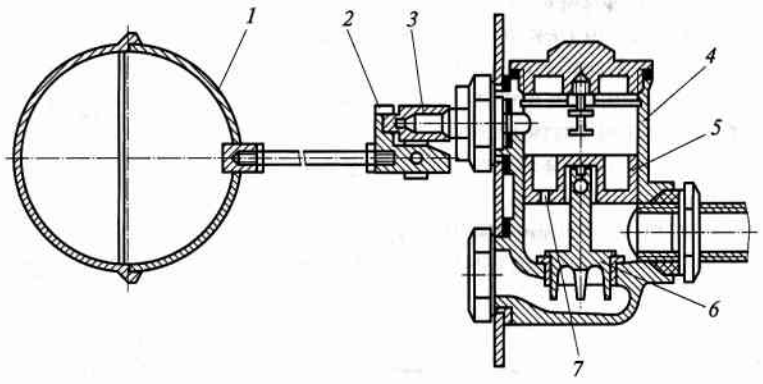


Рис. 12.3. Поплавковое реле уровня

Реле наличия протока предназначены для контроля и управления протеканием жидкости путем включения и отключения электрической цепи, управляющей открытием и закрытием рабочего органа.

Реле протока типа РП в качестве чувствительного элемента имеет крыльчатку (см. подразд. 6.2). Действие реле основано на уравновешивании крутящего момента, возникающего на крыльчатке при наличии потока жидкости, силой упругой деформации винтовой цилиндрической пружины. Поворот крыльчатки через валик передается кулачку, воздействующему на шток микропереключателя, замыкающему электрическую цепь. При отсутствии или снижении расхода жидкости микропереключатель отключается.

12.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В КАЧЕСТВЕ РЕГУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Электрические регулирующие устройства. На рис. 12.4 показаны принципиальные схемы электрических регулирующих устройств автоматических измерительных приборов.

Позиционное регулирующее устройство (рис. 12.4, *а*) включает задающий механизм и контактный задатчик, встроенные непосредственно в измерительный блок прибора, и блок-реле типа ППР-1М, смонтированный на отдельной плате, размещенной также в корпусе прибора. Принципиальная схема блока-реле ППР-1М включает контактный задатчик I, клеммную колодку II, блок-реле III. Блок-реле содержит два электромагнитных реле 1Р и 2Р, которые питаются выпрямленным током через диод Д1 и конденсатор *С*. Конденсатор предназначен для сглаживания пульсаций и повышения напряжения, диоды Д2 и Д3 искрогасящие. Резистор *R* уменьшает коэффициент возврата реле, увеличивая тем самым устойчивость работы системы. Блок-реле ППР-1М питается от напряжения переменного тока 33 В.

Подвижной контакт *В* контактного задатчика кинематически связан с пером прибора. Каждому значению измеряемого параметра и стрелки установки задания соответствует определенное положение подвижного контакта *В*. Два неподвижных контакта *А* и *С* расположены на основании задатчика и позволяют регулировать

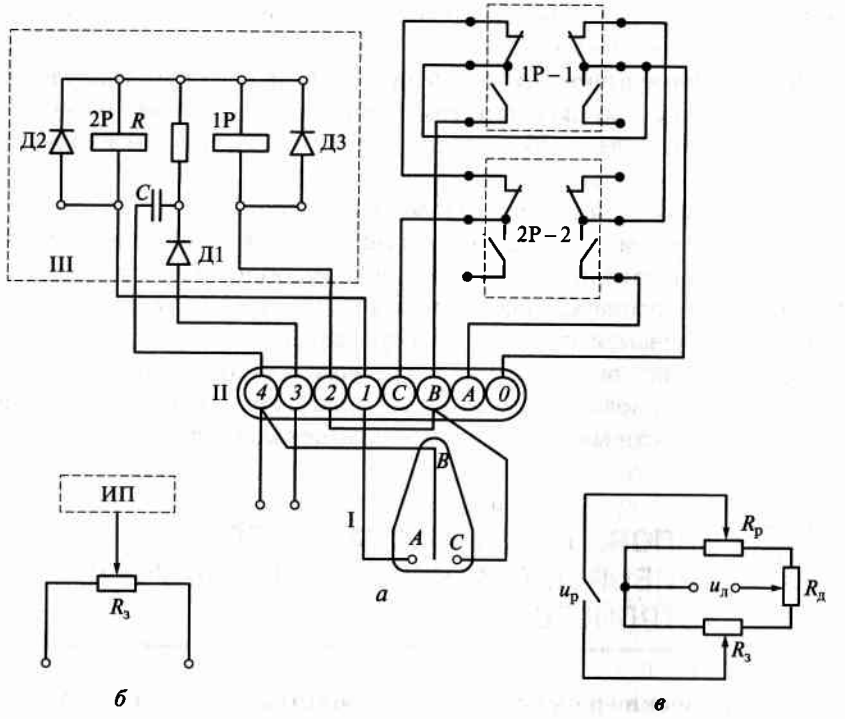


Рис. 12.4. Электрические схемы регулирующих устройств измерительных приборов:

а — позиционного; *б* — 10%-ного реостатного задатчика; *в* — 100%-ного реостатного задатчика

зону нечувствительности путем изменения расстояния между ними. При соответствии величины измеряемого параметра заданию подвижной контакт *В* находится в среднем положении между контактами *А* и *С* и не касается их. Отклонение контролируемого параметра от заданного значения вызывает перемещение контакта *В* в ту или другую сторону до замыкания с контактом *А* или *С*, включая цепь питания соответствующего электромагнитного реле (1Р или 2Р).

При *двухпозиционном регулировании* с минимальной фиксированной зоной нечувствительности в контактном задатчике используется только один неподвижный контакт *А*. При соприкосновении подвижного контакта *В* с контактом *А* срабатывает реле 2Р, замыкая при этом цепь клемм 0-*А*. При размыкании контактов *В* и *А* контактного задатчика реле 2Р обесточивается, размыкая при этом цепь клемм 0-*А* и замыкая клеммы 0-*С*. Контакт *С* контактного задатчика в данной схеме выполняет роль механического упора и в схему не включен.

При *трехпозиционном регулировании* в контактном задатчике используются оба неподвижных контакта *А* и *С*.

В момент отрыва подвижного контакта *В* от контакта *А* реле 2Р обесточивается, при этом размыкаются контакты 2Р-2 и цепь 0-*А*, но замыкается цепь 0-*С*. Это положение сохраняется вплоть до соприкосновения подвижного контакта *В* с контактом *С*, т. е. на протяжении всей продолжительности нахождения параметра в пределах установленной зоны нечувствительности. При замыкании подвижного контакта *В* с контактом *С* срабатывает реле 1Р и его контакт 1Р-1, при этом размыкается рабочая цепь 0-*С* и замыкается цепь 0-*В*. При отходе подвижного контакта *В* от контакта *С* якорь реле отпадает, размыкая цепь 0-*В*, и снова замыкается цепь 0-*С*.

Реостатные задающие устройства, встроенные во вторичные автоматические приборы, обеспечивают формирование П-, ПИ- и ПИД-законов в электрических регуляторах. На рис. 12.4, *б* показана электрическая схема 10%-ного реостатного задатчика. Ползунок 10 %-ного реостатного задатчика $R_э$ через дифференциальный рычажный механизм связан с пером измерительного прибора ИП таким образом, что при соответствии значения регулируемого параметра заданию он располагается посередине обмотки задатчика. Отклонение параметра от задания вызывает пропорциональное перемещение ползунка относительно обмотки задатчика в диапазоне ±10 % шкалы прибора.

На рис. 12.4, *в* показана электрическая схема 100%-ного реостатного задатчика, которая включает в себя реохорд-датчик $R_р$, резистор-задатчик $R_з$ и дополнительное переменное сопротивление $R_д$. Ползунок реохорда-датчика $R_р$ жестко связан с движком реохорда измерительной схемы прибора. Каждому значению измеряемого параметра соответствует определенное положение ползунка реохорда. Параллельно реохорду-датчику включен переменный резистор-задатчик $R_з$, ползунок которого жестко связан с механизмом установки задания. На схему подается напряжение питания $u_п \le 12$ В. При соответствии значения регулируемого параметра заданному значению сопротивления реохорда-датчика и резистора-задатчика равны и сигнал рассогласования равен нулю. При отклонении регулируемого параметра от заданного значения ползунок реохорда-датчика соответственно переместится, сопротивление его изменится и с выхода реостатного задатчика на вход электрического регулятора поступит сигнал рассогласования, пропорциональный изменению регулируемого параметра.

Пневматические регулирующие устройства. На рис. 12.5 показана принципиальная схема пневматического регулирующего устройства, позволяющего осуществить П- и ПИ-законы регулирования. Схема включает блоки: регулирующий БР-2, интегральный БИ-2, пневматическое реле РП.

Работа пневматического регулирующего устройства заключается в следующем. Значение регулируемой величины контролируемого параметра устанавливается с помощью винта *3*, перемещающего указатель задания *1*. Если текущее значение регулируемого параметра соответствует заданию, то перо *2* прибора совмещается с указателем задания *1*, при разнице между заданием и измеренной величиной они не совместятся, положение средней точки коромысла *4* изменится, в результате на вход регулятора поступит сигнал рассогласования.

Если пневматическое регулирующее устройство работает по типу П-регулятора (дроссель *19* находится в закрытом положении),

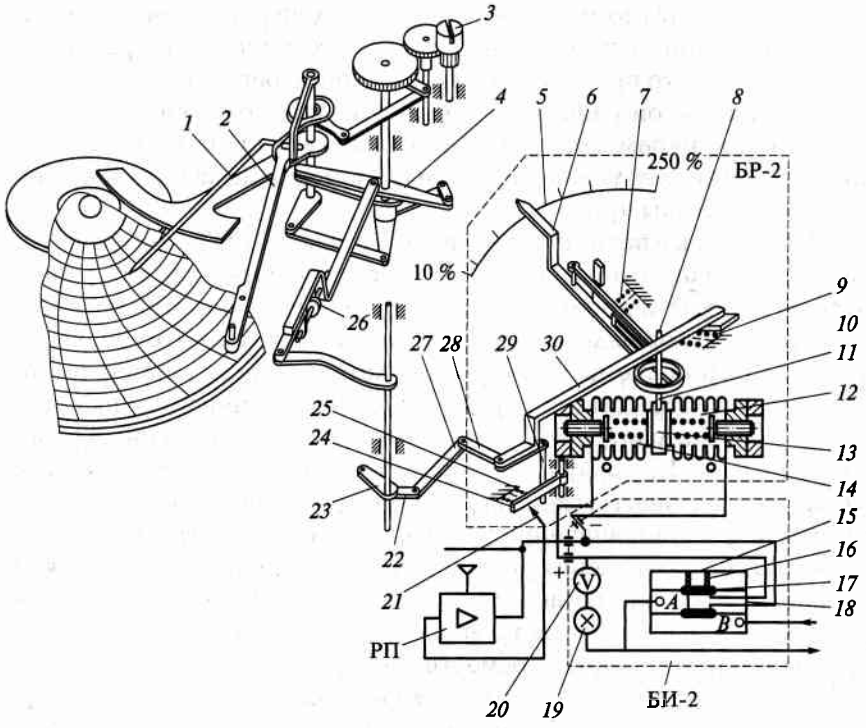


Рис. 12.5. Пневматическое регулирующее устройство

то при подаче входного сигнала свободный конец рычага *28* поворачивается вокруг оси рычага *30*, отводя штифт *29* от заслонки *24*. Под действием пружины *25* заслонка приблизится к соплу *21*, что приводит к увеличению давления на выходе пневмореле РП, которое передается в сильфон *12* отрицательной обратной связи. В результате перемещается перегородка *13* и штифт *11* скользит по рабочей поверхности рычага *10*. Рычаг под действием пружины *7* поворачивается на определенный угол. При этом штифт *8* отходит от рычага *30*, который поворачивается пружиной *9*, перемещая угловой рычаг *28* и штифт *29*. Штифт в свою очередь отводит заслонку от сопла на некоторое расстояние, соответствующее давлению на выходе регулятора в данный момент. Следовательно, давление на выходе пропорционально сигналу, поданному на вход регулятора. Предел пропорциональности настраивается поворотом рычага *6* относительно шкалы *5*, при этом рычаг *6*, поворачиваясь вокруг оси, проходящей через штифты *8* и *11*, изменяет передаточное отношение рычажной системы рычагов *7* и *30*.

Если пневматическое регулирующее устройство работает по типу ПИ-регулятора (дроссель *19* находится в открытом положении), давление с выхода пневмореле подается через дроссель *19*, пневмоемкость *20* и сопло *18*, открытое пружиной *16* в камеру *A* выключающего реле *15*. Затем сигнал через дроссель *19* и пневмоемкость *20* поступает в сильфон положительной обратной связи *14*, а отрицательная обратная связь полностью снимается.

При изменении сигнала на входе давление на выходе возрастает до максимума или падает до минимума, т. е. регулятор работает в режиме, близком к позиционному.

Однако благодаря последовательно соединенным дросселю *19* и пневмоемкости *20* при изменении давления на выходе пневмореле давление в сильфоне *14* изменяется с различной скоростью, которая определяется степенью открытия дросселя *19* и свободным объемом линии обратной связи.

Следовательно, изменение давления на выходе регулятора при отклонении величины регулируемого параметра от заданного значения определяется настройкой (степенью открытия) дросселя *19*.

Для переключения регулятора на операторное управление переключающий сигнал подается от панели управления в камеру *B* реле *15*.

На мембранном блоке реле создается усилие, преодолевающее сопротивление пружины *16*. В результате этого запирается сопло *18* и открывается сопло *17*. В этом случае давление с выхода реле не передается в линию выхода регулятора на исполнительный меха-

низм, а поддерживается в ней на необходимом уровне ручным задатчиком панели управления.

При перестановке тяги *27* с рычага *22* на рычаг *23* и увеличении значения регулируемого параметра угловой рычаг *28* будет перемещаться в противоположном направлении (против часовой стрелки).

Регулятор при переходе с прямого на обратный ход подстраивается корректором нуля *26*.

Пневматическое регулирующее устройство позволяет настраивать предел пропорциональности в диапазоне 10 % и более, времени изодрома — 0,1 ... 20 мин, рабочий диапазон измерения выходного сигнала — 0,02 ... 0,1 МПа, давление питания — (0,14±0,014) МПа.

Пневматическими регулирующими устройствами аналогичного типа оснащены также выпускаемые промышленностью самопишущие и регулирующие приборы: термометры ТГ, ТЖ, манометры МС, МТ, мановакуумметры МВС, МВТ, напоромеры НС, тягонапоромеры ТНС.

12.3. РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Регулирующие устройства прямого действия отличаются простотой конструкции и применяются для регулирования температуры, давления, уровня при условии, что для поддержания регулируемой величины не предъявляются высокие требования. Регулятор прямого действия уровня работает в позиционном режиме и рассмотрен в подразд. 12.1 (реле уровня).

Регулирующее устройство температуры (рис. 12.6) предназначено для автоматического поддержания заданной температуры жидких и газообразных сред путем изменения расхода греющей или охлаждающей среды. Регулирующее устройство состоит из герметичной термосистемы, заполненной жидкостью, и регулирующего органа. Термосистема включает термобаллон *4* с узлом настройки, включающим винт *3* и шкалу *2*, подсоединительную капиллярную трубку *1* и регулирующий орган. Регулирующий орган состоит из корпуса с седлом *6*, штока *7* с клапаном и сильфона разгрузки *8*.

При изменении температуры контролируемой среды изменяются температура и объем жидкости в термобаллоне. В результате этого в термосистеме создается давление, под действием которого перемещаются регулирующий орган *9* и связанный с ним шток *7* с клапаном. Клапан увеличивает или уменьшает подачу греющей или

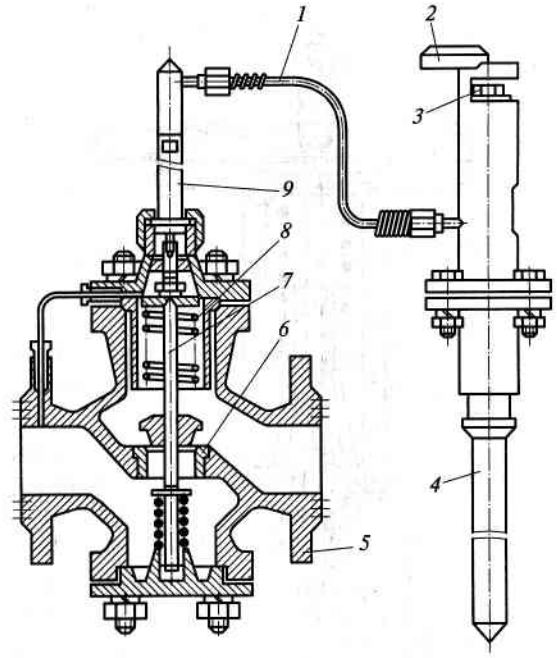


Рис. 12.6. Регулятор температуры прямого действия

охлаждающей среды. Устройство на заданную температуру настраивается с помощью винта *3* по шкале *2*.

Регулирующее устройство бывают шести модификаций в зависимости от диаметра условного прохода: 15, 20, 25, 40, 50, 80 мм с диапазонами настройки регулируемой температуры 20 ... 60, 40 ... 80, 60 ... 100, 80 ... 120, 100 ... 140, 120 ... 160, 140 ... 180 °С, максимальным давлением среды, в которую погружается термобаллон 1,6 МПа (16 кгс/см^2), длиной подсоединительного капилляра (дистанционной связи) 1,6; 2,5; 4; 6 и 10 м.

Регулирующее устройство давления (рис. 12.7) предназначено для поддержания заданного давления пара, воды, воздуха и других сред. Регулятор состоит из корпуса *4* с седлом *5*, исполнительного устройства, включающего золотник *6* с клапаном, жестко прикрепленный к свободному концу штока *8* и уплотненный сальником *7*, устройства настройки *9*, пружины *10*, узла мембраны *1*. Надмембранная полость регулятора соединяется с помощью штуцера *3* с трубопроводом «после себя», в котором регулятор поддерживает заданное давление. Когда контролируемое давление равно

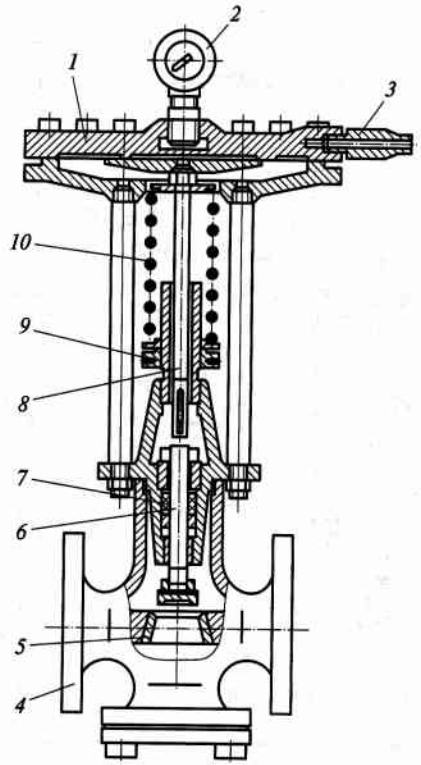


Рис. 12.7. Регулятор давления прямого действия

заданному, усилие, действующее на мембрану, равно усилию сопротивления, создаваемому пружиной *10*, и подвижная система находится в равновесном состоянии. При отклонении давления от заданного (например, при повышении давления) развиваемое усилие будет возрастать. Мембрана прогнется вниз и переместит шток *8* и золотник *6*. Клапан прикроет проходное сечение, в результате чего давление в трубопроводе будет понижаться до заданного значения, при этом подвижная система регулятора примет новое равновесное положение. Регулятор настраивается с помощью устройства *9* путем изменения натяжения пружины *10*. Манометром *2* контролируют настройку. Диапазон настройки регулятора 0,2 ... 1 и 0,63 ... 2,5 кгс/см^2, давление среды 16 кгс/см^2, зона пропорциональности 20 % от верхнего предела диапазона настройки, зона нечувствительности 2,5 % от верхнего предела диапазона настройки.

12.4. РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ПРИБОРНОГО ТИПА

Регулирующие устройства приборного типа предназначены для формирования функциональных законов регулирования (П, И, ПИ, ПИД) и бывают электронными и пневматическими.

Электронные регулирующие устройства. Для образования регулятора, действующего по пропорциональному закону регулирования (П-регулятор), широко применяется балансное реле БР-3, представляющее собой двухкаскадный релейный усилитель. Балансное реле включается в структуру регулятора, имеющего измерительный прибор с 10%-ным реостатным задатчиком и исполнительный механизм с реостатом обратной связи.

Электрическая принципиальная схема П-регулятора приведена на рис. 12.8. Она состоит из первичного поляризованного реле IV, вторичного трехпозиционного реле III с двумя парами замыкающих контактов, понижающего трансформатора I (220/24 В) и двухполупериодного выпрямителя II. Реостатный задатчик V находится в типовом вторичном преобразователе и соединен с реостатом обратной связи исполнительного механизма VI через балансное реле в соответствии с принципиальной схемой.

При отклонении регулируемого параметра от заданного значения движок реостатного задатчика *V* сместится со среднего положения, в результате нарушится электрическое равновесие регулирующей системы моста и по обмотке первичного реле IV потечет ток разбаланса определенного направления.

При положительном возмущающем воздействии контакты первичного реле IV замкнут цепь питания одной из обмоток более мощного вторичного реле III, а соответствующие контакты вторичного реле при этом приведут в действие электродвигатель исполнительного механизма, который переместит сочлененный с ним регулирующий орган и движок реостата обратной связи исполнительного механизма VI. Действие исполнительного механизма будет продолжаться до тех пор, пока вновь не установится электрическое равновесие системы реостатов регулирующего прибора и исполнительного механизма, а регулируемый параметр достигнет заданного значения. Максимальная статическая ошибка П-регулятора составляет не более ±5 % от шкалы прибора. Более сложными являются электронные регуляторы, реализующие сразу несколько функциональных законов регулирования, при этом подобные устройства обеспечивают подключение несколько первичных преобразовате-

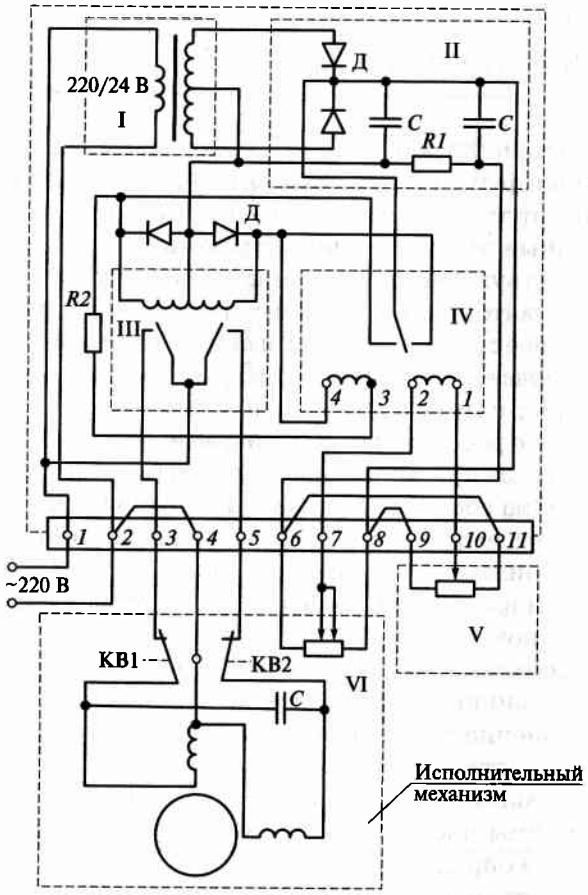


Рис. 12.8. Принципиальная схема П-регулятора с балансным реле БР-3

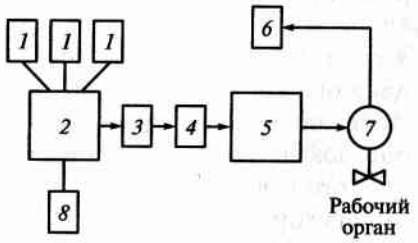


Рис. 12.9. Структурная схема регулирования с помощью электронного регулятора:

1 — датчики; *2* — регулятор; *3* — переключатель; *4* — ключ управления; *5* — пусковое устройство; *6* — указатель положения привода; *7* — исполнительный механизм; *8* — задатчик

лей. На рис. 12.9 показана структурная схема регулирования с помощью электронного регулятора, а на рис. 12.10 структурная схема самого регулятора. Основными элементами регулятора являются первичные преобразователи (датчики температуры, давления, расхода и др.), установленные на объекте и подключенные к регулятору; измерительная схема и регулирующий блок. Регулирующий блок представляет собой усилитель мощности с изменением фазы выходного сигнала при изменении полярности входного сигнала с измерительной схемы. Выходной сигнал регулирующего блока управляет работой реверсивного двигателя САР.

На рис. 12.11 приведена измерительная схема регулятора. Контроль и регулирование двух точек температуры осуществляется с помощью датчиков — термометров сопротивления ТС-1 и ТС-2. Датчики устанавливают на объекте и подключают (с помощью кабельной связи) на зажимы 12-11 и 12-13 регулятора соответственно. Регулятор устанавливают в щите или диспетчерском пульте.

Измерительный субблок (кроме подключенных датчиков ТС-1, ТС-2) имеет два переменных сопротивления — задатчик ($R_{20} = R_{зад}$) и корректор ($R_{15} = R_{кор}$). Если упростить измерительную схему регулятора, то получим электрическую схему двух измерительных мостов, состоящих из определенных сопротивлений (рис. 12.12).

Выход двух мостовых схем включен на операционный усилитель ОУ, представляющий собой интегральную микросхему, реализующую усиление входного электрического сигнала. Если сопротивление в плечах двух мостов будут равны друг другу, то и токи в их измерительных диагоналях AB и A_1B_1 равны нулю. Поэтому отсутствует сигнал (напряжение) на входе операционного усилителя, а стало быть нет сигнала (напряжения) на его выходе.

Конструктивно номиналы сопротивлений, составляющих мосты, при установке регулятора на объекте подбираются так, чтобы при заданном значении параметра мосты находились в состоянии равновесия — сбалансированы.

Например, требуется поддерживать температуру электрического нагревателя в диапазоне (200±2) °С. Определив по градуировочным таблицам сопротивления датчиков $R_{ТС-1}$ $R_{ТС-2}$ при данной температуре, устанавливают сопротивление задатчика $R_{зад}$, равное данному значению, а резистором $R_{кор}$ (корректором) обеспечивают балансирование схемы, т. е. отсутствие сигнала на выходе операционного усилителя при температуре 200 °С.

Так как сопротивления во втором (сравнительном) мосте постоянны, то и ток в измерительной диагонали постоянный; этот мост образован сопротивлениями $R_{кор}$—$R_{зад}$—R_{13}—R_{14}.

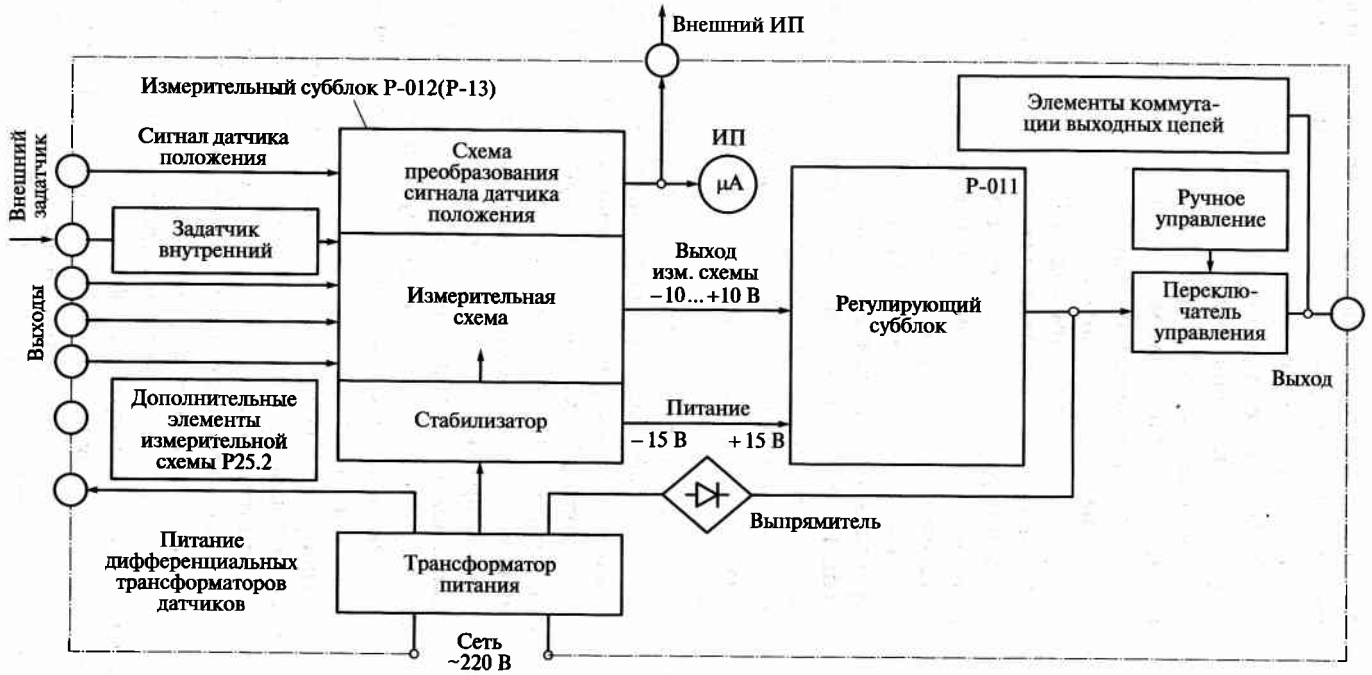


Рис. 12.10. Структурная схема электронного регулятора

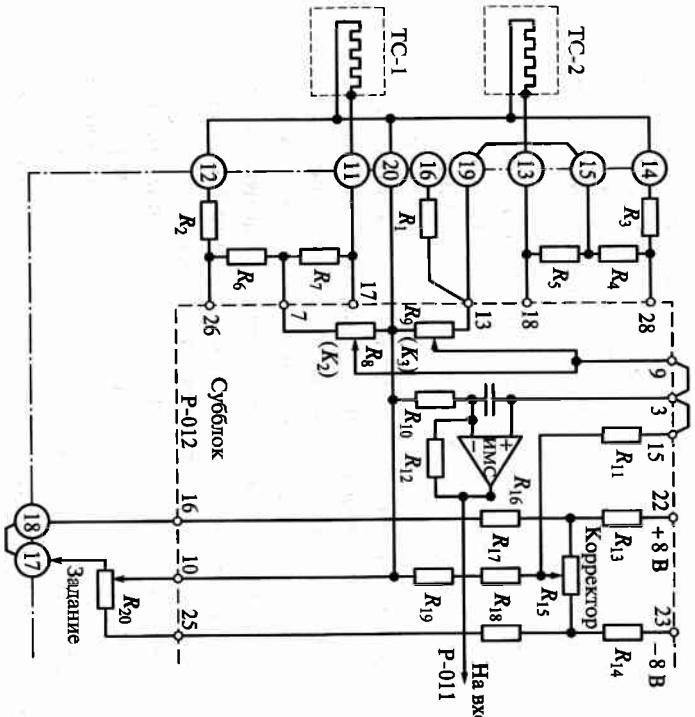
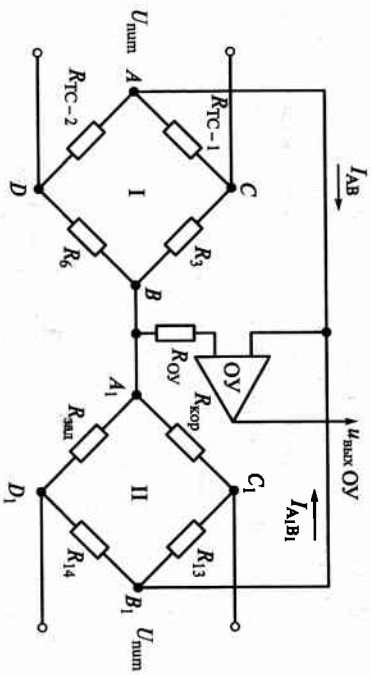


Рис. 12.11. Измерительная схема регулятора



При $I_{АВ} = I_{А_1В_1}$ $U_{вых\ ОУ} = 0$
При $I_{АВ} = I_{А_1В_1}$ $U_{вых\ ОУ} > 0 (\pm 10\ В)$

Рис. 12.12. Упрощенная измерительная схема регулятора: I — первый мост (с переменными параметрами); II — второй мост (с постоянными параметрами); ОУ — операционный усилитель

В первом мосте сопротивления датчиков $R_{ТС-1}$ и $R_{ТС-2}$ являются переменными и зависят только от измеряемой температуры; если температура на объекте равна заданной, то все сопротивления моста $R_{ТС-1} = R_{ТС-2} = R_3 = R_6$ и ток в измерительной диагонали равен нулю.

Если температура объекта отличается от заданной (200 °С), то изменяются сопротивления датчиков $R_{ТС-1}$ и $R_{ТС-2}$ (в зависимости от температуры их сопротивление становится больше или меньше сопротивления задания). Вследствие этого нарушается равновесие двух измерительных мостов, а на входе операционного усилителя ОУ появляется напряжение определенной полярности (+ или –), значение которого зависит от степени рассогласования заданной и действительной температуры объекта измерения. Это напряжение принято называть напряжением **рассогласования**. Сопротивления $R_6(K_2)$ и $R_3(K_3)$ позволяют изменять напряжения на датчиках-термометрах ТС-1 и ТС-2 с коэффициентом $K = 0 \ldots 1$.

В зависимости от полярности входного сигнала на входе операционного усилителя ОУ в регулирующем блоке (на рис. 12.12 не показан) с помощью ряда операционных усилителей выполняется команда «прибавить» или «убавить», т. е. включается или выключается электрический подогреватель для того, чтобы поддержать заданную температуру 200 °С.

Пневматические функциональные регулирующие приборы конструируются на базе элементов УСЭППА (универсальная система элементов приборов пневмоавтоматики).

На рис. 12.13 показана принципиальная схема *пневматического П-регулятора*. Измеряемое давление $p_п$ и давление задания $p_з$ подаются в элемент сравнения *1* — соответственно в камеры Г и В. Сигнал рассогласования — выходное давление элемента *1* — поступает в камеру отрицательной обратной связи Б элемента сравнения *4* и на нерегулируемый дроссель сумматора *2*, настройка которого определяет степень воздействия отрицательной обратной связи. В камеру положительной обратной связи Д этого же элемента *4* поступает от задатчика *3* давление, с помощью которого настраивается выходное давление регулятора. На нерегулируемый дроссель сумматора *3* поступает давление с выхода прибора. Выходное давление элемента *4*, равное сумме давлений в камерах Б и Д, поступает на усилитель мощности *5* и через сопло выключающего реле *6* на выход прибора. Реле *6* отключает прибор при переходе на ручное управление. Для гашения возможных колебаний в системе в элемент сравнения *4* вводят две обратные связи: положительную — в камеру *В* и отрицательную — в камеру *Г*. Колебания переходного процесса регулирования затормаживаются постоянным дросселем $ПД_2$ в линии положительной обратной связи. Дросселем ДД (диапазон дросселирования) настраивается коэффициент пропорциональности.

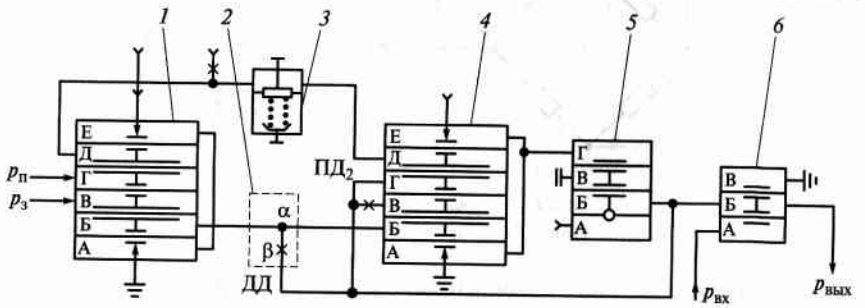


Рис. 12.13. Принципиальная схема пневматического П-регулятора

Схема *пневматического ПИД-регулятора* показана на рис. 12.14. Входной сигнал $p_п$ от измерительного прибора поступает непосредственно в интегральную часть устройства — элемент сравнения *2*; перед поступлением в пропорциональную часть сигнал дифференцируется. Дифференцирующая часть устройства включает элемент сравнения *1*, регулируемый дроссель *10* и конденсатор *9*. В дифференцирующей части входное давление подается в камеры В и Г и через дроссель *10* «Время предварения» — в камеру Б. На вход камеры А элемента *1* подается давление питания, а выход подсоединен последовательно с пропорциональной частью устройства — элементом *7*. Если скорость изменения регулируемого параметра равна нулю, то давление в выходной камере А элемента *1* равно входному давлению и устройство срабатывает, формируя действие системы по ПИ-закону. При повышении давления на входе суммарное усилие на мембранах в камерах В и Г окажется больше, чем усилие на мембранах в камерах А и Б, так как перед камерой Б установлено сопротивление — дроссель *10*. Вследствие этого давление в камере А резко возрастает и на выходе элемента *1* образуется сигнал, опережающий давление на входе регулирующего устройства. Опережение будет тем больше, чем выше скорость изменения регулируемого параметра (и соответственно выше скорость изменения входного давления) и чем меньше открыт дроссель предварения *10*. Выходное давление регулирующего устройства формируется элементом сравнения *4*, наращивается усилителем *5* и через трехклапанное отключающее реле *6* управляет исполнительным меха-

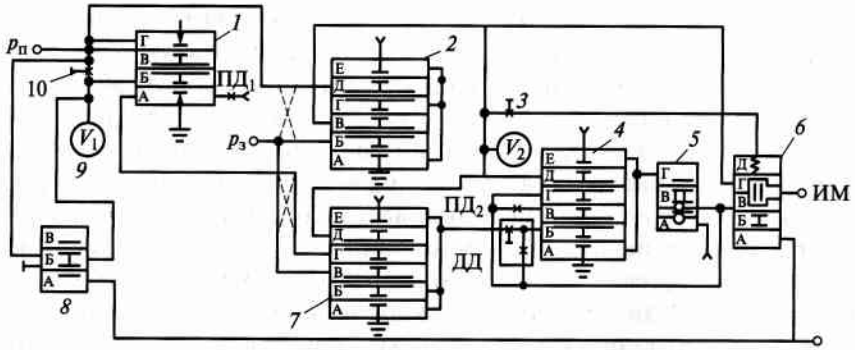


Рис. 12.14. Принципиальная схема пневматического ПИД-регулятора

низмом ИМ. Реле *8* служит для отключения дифференцирующей части регулирующего устройства. Диапазоны настройки элемента «Время предварения» (дроссель *10*) 3 с ... 10 мин, элемента «Диапазон дросселирования» (дроссель ДД) — 5 ... 3 000 %, элемента «Время изодрома» (дроссель 3) — 3 с ... 100 мин.

12.5. МЕЖСИСТЕМНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СИГНАЛОВ

Кроме электрических и пневматических систем автоматического управления применяют комбинированные системы (электропневматический клапан, аналоговые межсистемные преобразователи), в которых часть элементов использует электрическую энергию, а часть давление сжатого воздуха. В этом случае для их взаимодействия применяют электронно- или пневмоэлектрические преобразователи.

Электропневматический клапан — дискретный преобразователь электрического сигнала в пневматический, предназначен для подачи сжатого воздуха в пневматические исполнительные механизмы при включении или отключении электрического управляющего сигнала.

Клапаны изготовляются двух модификаций: «ток открывает» (ТО) и «ток закрывает» (ТЗ). Первый подает сжатый воздух на прибор при включении катушки электромагнита и сбрасывает воздух из прибора в атмосферу при обесточивании. Действие второго клапана обратное: воздух подается на прибор при обесточивании катушки электромагнита и сбрасывается в атмосферу при включении. Клапан (рис. 12.15) состоит из электромагнита и клапанного устройства. Ярмо *1* и катушка *2* электромагнита укреплены на корпусе *3*. К якорю *4* на шарнире *5* крепится шток *6*, помещенный в направляющей втулке *7*. Клапанное устройство, размещенное в корпусе *8*, состоит из плунжера *10*, двух резиновых уплотнителей *9* и *11* и двух седел *12* и *15*. При включении электромагнита шток поднимается вверх и плунжер *10* под воздействием пружины *13* поднимается также вверх. При этом уплотнитель *9* перекрывает седло *15*, а уплотнитель *11* отходит от седла *12*. В таком положении клапана штуцер *C* сообщается со штуцером *B*, а в это время штуцер *A* отключен. При отключении электромагнита якорь отбрасывается пружиной *16* вниз, а шток отодвигает плунжер вниз через штифт *14*, вследствие чего уплотнитель *11* перекрывает седло *12*. При этом пружина *16* сжимает пружину *13*, так как сила ее предварительного напряжения выбрана достаточно большой. В таком положении клапана штуцер *C* соединяется со штуцером *A*, а штуцер *B* оказывается отклю-

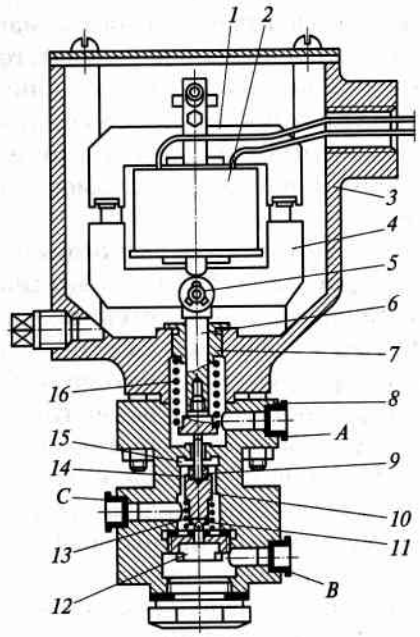


Рис. 12.15. Клапан электропневматический

ченным. Ход якоря выбран равным *4* мм, а ход плунжера — 2 мм. Вследствие этого при включении электромагнита образуется зазор между штифтом *14* и торцевой поверхностью штока *6*, что обеспечивает плотное закрытие седла *15* уплотнителем *9* и прилегание торцевых поверхностей якоря и ярма.

Конструкции клапанов ТО и ТЗ аналогичны и различаются расположением уплотнителей и седел по отношению к плунжеру *10*. Через верхний штуцер *А* (для клапана ТО) и *В* (для клапана ТЗ) воздух сбрасывается в атмосферу. Средний штуцер *С* служит для присоединения прибора — потребителя сжатого воздуха. К нижнему штуцеру *В* (для клапана ТО) и *А* (для клапана ТЗ) присоединяют линии питания сжатым воздухом. Клапаны устанавливают на каркасах щитов, стенах и металлоконструкциях. Корпус клапана заземляют.

Максимальное давление осушенного сжатого воздуха 0,2 МПа. Питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 127 и 220 В, частотой 50 Гц. Клапаны рассчитаны на работу при температуре окружающего воздуха –30 ... 50 °С. После монтажа клапана все соединения пневматических линий проверяют на герметичность сжатым воздухом давлением 0,2 МПа.

Аналоговые межсистемные преобразователи бывают электросиловые и электропневматические.

Электросиловые преобразователи предназначены для преобразования усилия, развиваемого давлением сжатого воздуха в унифицированный электрический токовый сигнал. Они широко применяются в унифицированных преобразователях температуры, давления, уровня, расхода, плотности и другие в комплекте с вторичными приборами типа КСУ, в АСУ ТП с применением микропроцессорных устройств.

Принципиальная схема электросилового линейного преобразователя приведена на рис. 12.16. Принцип его действия основан на электросиловой компенсации. В комплект входит усилитель, устанавливаемый отдельно и связанный с преобразователем кабелем. Электросиловой преобразователь состоит из рычажного передаточного механизма (с переменным коэффициентом передачи), дифференциально-трансформаторного индикатора рассогласования, усилителя и электросилового механизма обратной связи.

Усилие, с которым первичный преобразователь воздействует на Т-образный рычаг *6* электросилового преобразователя, создает вращающий момент, вызывающий незначительное (сотые доли миллиметра, не более 0,08 мм) перемещение рычагов *6*, *8* и *2* и связанного с рычагом *2* плунжера (флажка) индикатора рассогласования *1*. Дифференциально-трансформаторный индикатор преобразует это

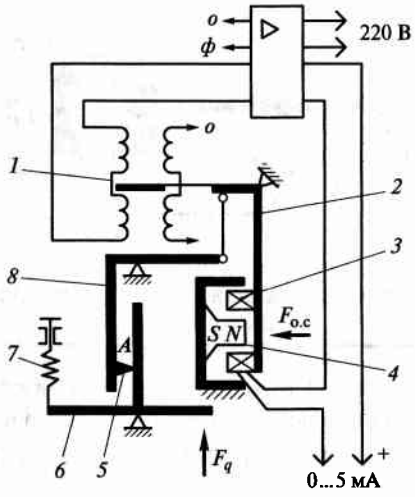


Рис. 12.16. Схема электросилового преобразователя

перемещение в сигнал переменного тока, поступающий на вход усилителя. В усилителе сигнал переменного тока усиливается и преобразуется в сигнал постоянного тока, который поступает через обмотку катушки *3* силового механизма обратной связи во вторичный прибор. Взаимодействие поля постоянного магнита *4* с магнитным полем, создаваемым выходным током, протекающим по катушке *3*, создает пропорциональное этому току усилие обратной связи. Это усилие уравновешивает через рычажную систему (в точке *А*) входное усилие.

Передаточный рычажный механизм состоит из Т-образного *6* и Г-образного *8* рычагов, установленных на опорах в виде ленточных перекрестий. Входное усилие передается от Т-образного рычага к Г-образному через подвижную опору *5*, которая обеспечивает изменение диапазона измерения путем изменения передаточного отношения рычажной системы (1 : 10). Конструкция подвижной опоры позволяет осуществлять грубую (с точностью до 3 % от диапазона изменения выходного сигнала) и плавную настройку диапазона. Начальное значение выходного сигнала преобразователя устанавливается корректором нуля *7*. Для защиты от случайных перегрузок передаточный механизм снабжен двумя регулируемыми упорами, ограничивающими ход Т-образного рычага.

Подвижная катушка *3* механизма обратной связи крепится на рычаге *2*, установленном на подвижной колодке (на рис. 12.16 верх-

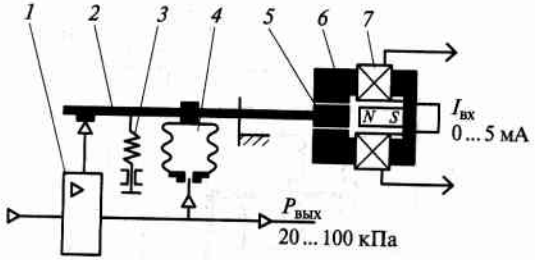


Рис. 12.17. Схема электропневматического преобразователя

няя горизонтальная часть рычага). Подвижная колодка связана с Г-образным рычагом *8* передаточного механизма через тягу и противоперегрузочное устройство (на рис. 12.16 это устройство не показано).

К подвижной колодке силового механизма крепится также плунжер (флажок) индикатора рассогласования *1*.

Электропневматические преобразователи предназначены для преобразования электрического аналогового сигнала постоянного тока 0...5 мА в унифицированный пневматический аналоговый сигнал 20...100 кПа.

Преобразователь (рис. 12.17) состоит из двух функционально различных блоков: электромеханического преобразователя (совокупность магнитоэлектрического механизма и рычажной системы) и пневматического усилителя. Входной электрический сигнал подводится к катушкам возбуждения *7* магнитоэлектрического механизма *6*, в результате чего возникает магнитный поток, который перемещает якорь *5*, изготовленный из ферромагнитного материала. Перемещение рычага *2* вызывает изменение давления в линии сопла *1*, которое усиливается пневмоусилителем (применяются унифицированные пневмоусилители). Выходной пневматический сигнал поступает в линию связи и одновременно в сильфон обратной связи *4*. Усилие, возникающее в устройстве *4* от действия выходного давления, уравновешивает усилие от входного сигнала. Пружина *3* предназначена для корректировки нуля преобразователя.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких элементов состоит термочувствительная система реле температуры? **2.** Для чего служит реле давления? **3.** Какие приборы могут быть использованы в качестве реле уровня? **4.** В чем сходство реле протока и скоростного счетчика количества? **5.** В чем различие 10%- и 100%-ных задатчиков в измерительных приборах? **6.** Какой закон регулирования обеспечивает позиционное регулирующее устройство измерительного прибора? **7.** Какие законы регулирования может обеспечить пневматический регулятор встраиваемый в измерительные приборы? **8.** В каком положении должен находиться дроссель при реализации ПИ-закона в пневматическом регуляторе, встроенным в измерительный прибор? **9.** Требуется ли посторонний источник энергии при работе регуляторов прямого действия? **10.** В чем отличие регуляторов прямого действия от реле соответствующих технологоческих параметров? **11.** Реле какого технологического параметра аналогично регулятору прямого действия? **12.** Какие реостаты используются в П-регуляторе с применением БР-3? **13.** Что представляет собой регулирующий блок электронного регулятора? **14.** Какие схемы используются в измерительной схеме электронного регулятора? **15.** Какие дополнительные элементы имеет пневматический ПИД-регулятор, по сравнению с П-регулятором? **16.** Каково назначение межсистемных преобразователей?

Глава 13

МИКРОПРОЦЕССОРЫ, ЭВМ И РОБОТЫ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

13.1. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Для автоматизации технологических процессов ныне стали широко применять программируемые технические средства контроля и управления на основе ЭВМ.

Современные ЭВМ представляют собой класс ЭВМ, ориентированный на решение задач управления технологическими процессами в промышленности, автоматизацию научных экспериментов и промышленных испытаний, а также автоматизацию проектирования.

Мини- или микроЭВМ, используемые для регулирования и управления технологическими процессами в режиме реального времени, т. е. включаемые в контур управления, называются ***управляющими вычислительными комплексами*** (УВК).

В современных УВК широко используется принцип агрегатирования, в соответствии с которым комплексы компонуются из наборов автономных функциональных модулей и блоков с унифицированными сопряжениями. Это позволяет создавать УВК определенных конфигураций, приспособленных к объектам с различными технологическими процессами.

В системе управления процессами УВК на основе мини-ЭВМ выполняют следующие функции: последовательный опрос датчиков аналоговых дискретных сигналов; программную логическую и математическую обработку результатов опроса и формирование аналоговых и дискретных управляющих воздействий на исполнительные механизмы; автоматический вывод на печать и табло данных, характеризующих работу управляемого процесса; вывод оперативной информации на экран видеотерминального устройства или пульт оператора и др.

Наряду с автоматизированным управлением процессами УВК обеспечивают также возможность расчета и анализа обобщенных технико-экономических показателей (ТЭП), расчетов баланса сырья, материалов и энергоносителей, составление производственных отчетов, диагностику состояния оборудования и планирование графиков его обслуживания, а также связь с АСУ верхнего уровня.

За последние десятилетия на смену большим интегральным схемам (БИС) пришли сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) — до 300 тыс. и более элементов в кристалле — микропроцессоры (МП). Они положены в основу новой элементной базы электронных средств обработки информации — микропроцессорных комплексов интегральных схем (МПК ИС). Под ними понимают совокупность микропроцессорных и других интегральных схем, совместимых по конструктивно-технологическому исполнению и предназначенных для совместного использования при построении микропроцессоров, микроЭВМ, контроллеров и других средств вычислительной техники.

Микропроцессор представляет собой конструктивно и функционально законченное устройство обработки цифровой информации, выполненное из одной или нескольких БИС, входящих в состав МПК ИС. В первом случае МП называют ***однокристальным***, во втором — ***многокристальным***, или ***модульным***. На основе микропроцессорных комплектов ИС созданы микро-ЭВМ, микропроцессорные управляющие вычислительные комплексы, микропроцессорные программируемые контроллеры (МПК) и др.

Под ***микроЭВМ*** понимают устройство обработки данных общего назначения, имеющее в своем составе микропроцессор, одно или несколько запоминающих устройств для хранения управляющих программ и средства управления обменом с периферийными устройствами ввода-вывода (УВВ).

Программируемые микропроцессорные контроллеры — это построенные на основе МП специализированные устройства, предназначенные для реализации алгоритмов логического типа (логико-программного управления) или алгоритмов аналогового управления.

По принципу работы и построению микроЭВМ в основном аналогичны мини-ЭВМ, но отличаются меньшими габаритами и несколько меньшим объемом данных, которыми они оперируют. Высокая надежность, простота управления, низкая стоимость, малое потребление энергии МПК ИС сделало реальным и выгодным использование УВК на основе микроЭВМ и особенно МПК для непосредственного управления отдельными агрегатами и установками

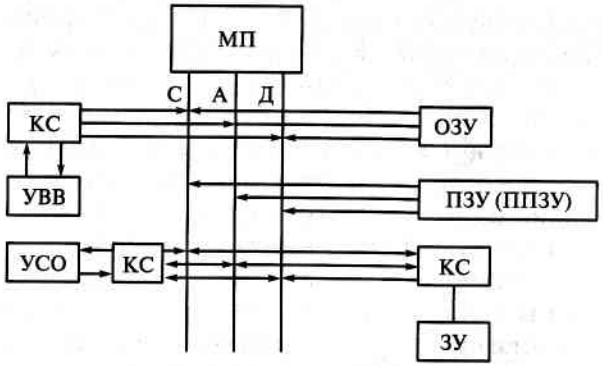


Рис. 13.1. Структурная схема УВК на основе микроЭВМ

вместо приборов и регуляторов, релейных устройств типа УЛПУ-управления с жесткой логикой функционирования.

Типовая структурная схема УВК на основе микроЭВМ с однокристальным микропроцессором, построенным на МПК ИС, изображена на рис. 13.1. Она состоит из микропроцессора МП, оперативного запоминающего устройства ОЗУ, постоянного запоминающего устройства ПЗУ или программируемого постоянного запоминающего устройства ППЗУ, контроллеров связи КС для подключения к МП устройств внешней памяти (гибкий магнитный диск) и устройства ввода-вывода УВВ (видеотерминалы, печатающие устройства), устройств связи с объектом управления УСО и других в зависимости от назначения УВК.

Для связи с внешними устройствами МП (центральная часть УВК) имеет адресную шину А, шину данных Д и шину управления С. Большинство микропроцессоров имеют 16-разрядную шину адреса, 8-разрядную шину данных. Шина управления имеет 6...10 выводов для передачи управляющих сигналов, признаков состояния микропроцессора и периферийного оборудования.

Микропроцессорный комплект интегральных схем применяют для построения микроЭВМ, программируемых контроллеров и других вычислительных устройств, используемых в системах управления технологическими процессами. С использованием комплекта построены комплекс технических средств для локальных информационно-управляющих систем типа КТС ЛИУС-2 (микроДАТ) и другие устройства.

КТС ЛИУС-2 (микроДАТ) представляет собой агрегатный комплекс типа ГСП, предназначенный для реализации локальных автоматизированных систем управления установками, агрегатами и технологическими процессами с малым или средним числом контролируемых и управляемых параметров.

Основные функции системы управления, которые выполняются с помощью средств КТС ЛИУС-2, — централизованный контроль, непосредственное цифровое и супервизорное регулирование технологических параметров, программно-логическое управление, ручной ввод и отображение технологической информации, обмен данными между территориально-рассредоточенными системами.

С использованием комплекса микроДАТ созданы специализированные устройства для управления в различных отраслях промышленности.

Широкое внедрение микропроцессорной техники вызвало необходимость создания свободно программируемых устройств (систем) цифровой обработки информации — программируемых микропроцессорных контроллеров.

В отличие от устройств по принципу «жесткой логики», предназначенных для решения определенного алгоритма управления и требующих переработки схем устройств при изменении алгоритма, МПК обеспечивают программную реализацию алгоритма управления, необходимого для определенного процесса.

При изменении алгоритма корректируется программа работы МПК.

Программируемые контроллеры могут выполнять функции логико-программного управления (в этом случае они заменяют реле, таймеры, счетчики) или аналогового управления (в этом случае они заменяют автоматические регуляторы). Имеются также контроллеры, которые осуществляют и те и другие функции. МПК используют в системах управления нижнего уровня, т. е. для обработки информации, получаемой от отдельных установок и агрегатов в климатических условиях (влажность и температура) эксплуатации самого оборудования. Они могут функционировать как в автономном режиме (в составе локальной системы управления), так и неавтономном (в составе децентрализованной системы управления совместно с мини- или микроЭВМ).

Типовая структурная схема программируемого контроллера приведена на рис. 13.2. На нем показана структура МПК для реализации алгоритмов логического типа (двойные линии соответствуют связям по информации, одинарные — по управлению). Описание алгоритма управления содержится в блоке памяти программы БПП, состояния битовых входов и выходов от объекта управления и внутренних элементов — в блоке памяти данных БПД. Сигналы от технологического объекта управления ТОУ через устройство связи с

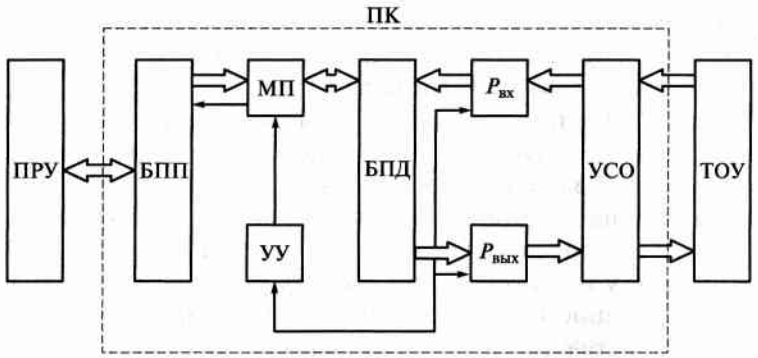


Рис. 13.2. Типовая структурная схема программируемого контроллера

объектом УСО поступают во входной регистр $P_{вх}$. Значение управляющих сигналов хранится в выходном регистре $P_{вых}$ и воздействует через УСО на управляемый объект.

Функционирование контроллера заключается в последовательном сканировании записанной в БПП программы и вычислении логических (булевых) функций. Программа сканируется специальным микропроцессором, который последовательно вычисляет значения булевых функций. При этом используются данные программы, записанные в БПП, и данные о состоянии входов в БПД. Вычисленные значения (управляющие воздействия) заносятся в память данных БПД.

Когда сканирование закончено, устройство управления УУ осуществляет обмен информацией между $P_{вх}$ и $P_{вых}$ и памятью данных БПД. Затем сканирование возобновляется снова от первого до последнего слова памяти. После обмена информацией через выходы УСО подаются управляющие сигналы на ТОУ и в свою очередь принимаются входные сигналы от ТОУ. Однократный проход логического процессора по всей программе называют циклом сканирования, а продолжительность, в течение которого завершается этот цикл, продолжительностью **сканирования**.

Характерным отличием МПК от УВК общего назначения является использование в МПК двух видов запоминающих устройств: одно — для хранения программы перепрограммируемых постоянных запоминающих устройств ППЗУ и другое — для хранения рабочей информации ОЗУ. При этом память программы работает только на считывание. Программирование контроллеров обычно производится с помощью специального программирующего устройства ПРУ, которое в рабочем режиме отсоединяется от контроллера и не используется.

Программирующее устройство МПК позволяет вводить логические программы, математические операции и программы для ПИД-регуляторов. Оно имеет диалоговую систему для облегчения программирования, а также диагностирует контроллер на предмет его исправности.

В состав программируемого микропроцессорного контроллера (рис. 13.3), предназначенного для логико-программного управления дискретными операциями в пищевой промышленности, входят модули ввода информации от датчиков дискретных сигналов; модули вывода на исполнительные механизмы дискретных сигналов; модули оперативной и постоянной памяти (ОЗУ и ПЗУ); модуль битового процессора, организующий опрос входных устройств и управление передачей данных на модули вывода; модуль микропроцессора, управляющий работой счетчиков и таймеров, организующий связь программатора с памятью и обеспечивающий диагностику контроллера; модуль связи с программатором и вторым каркасом контроллера, реализующий связь программатора с микропроцессором и связь битового процессора со вторым каркасом контроллера.

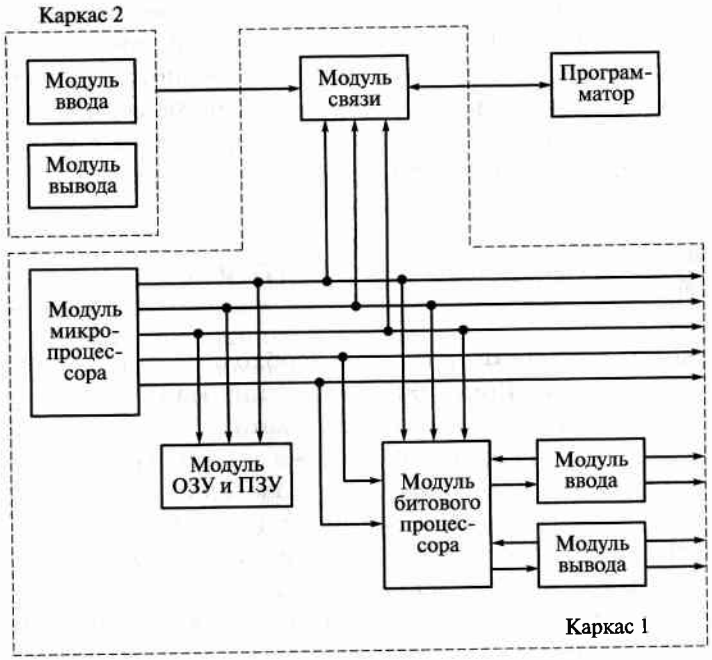


Рис. 13.3. Блок-схема контроллера ПКЛ

Контроллер комплектуется программирующим устройством (программатором), выполненным в виде отдельного блока, подключаемого при программировании к контроллеру.

Регулирующий микропроцессорный контроллер предназначен для автоматического регулирования параметров технологических процессов. Он формирует ПИД-закон регулирования и выполняет автоматическое, одноконтурное, каскадное программное и многосвязанное регулирование с возможностью изменения коэффициентов статической и динамической настройки.

Контроллер позволяет также обеспечить измерение и отображение по вызову оператора значений технологических параметров и управляющих сигналов, дистанционное управление исполнительными механизмами. Функциональные возможности контроллера определяются библиотекой стандартных алгоритмов управления, заложенных в контроллере. Предусмотрены четыре группы алгоритмов: автоматическое регулирование, логическое управление, динамическая, статическая коррекции.

Этот контроллер — программное устройство, которое настраивается на решение требуемой задачи непосредственно на объекте управления. В процессе такой настройки оператор с помощью клавишного канала устанавливает алгоритмы управления, конфигурацию управляющего контура, сигналы задания и режимы управления. Запрограммированные параметры сохраняются при отключении питания. Контроллер имеет процессор, постоянную и оперативную память, устройство ввода и вывода информации и устройство связи с оператором (пульт оператора).

13.2. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

При комплексной автоматизации необходимо автоматизировать операции обслуживания технологических машин и аппаратов: транспортирование к ним заготовок и деталей, полуфабрикатов и материалов, готовой продукции, а также ее упаковывание, складирование и др. Практика показала, что далеко не все ручные технологические операции можно автоматизировать традиционными техническими средствами автоматики, поэтому и возникла необходимость создания промышленных роботов.

Промышленный робот — это автоматическая машина (стационарная или передвижная), состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций.

К этому определению в стандарте дается примечание: ***перепрограммируемость*** — свойство промышленного робота заменять управляющую программу автоматически или при помощи человека-оператора. К перепрограммированию относят изменение последовательности и (или) значения перемещений по степеням подвижности и управляющих функций с помощью средств управления на пульте устройства управления.

Манипулятор — управляемое устройство или машина для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве. Манипулятор оснащен рабочим органом — составной частью исполнительного устройства промышленного робота для непосредственного выполнения технологических операций и (или) вспомогательных переходов.

Благодаря наличию нескольких степеней подвижности и гибкой системе управления, которая легко переналаживается на выполнение различных программ движения манипулятора, робот является многофункциональной машиной. Это отвечает требованиям гибкой перенастройки производства на различные технологические процессы.

Роботы и их системы широкого назначения подразделяют на манипуляционные, мобильные, информационно-управляющие и информационные.

Манипуляционные роботы имеют манипулятор для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека.

Мобильные робототехнические системы отличаются от других наличием движущегося шасси с автоматически управляемыми приводами. Они могут быть колесные, шагающие (локомоционные), колесно-шагающие, гусеничные, плавающие, летающие. Часто мобильные машины включают в себя и манипуляционные роботы и могут применяться во многих отраслях промышленности.

Частого применения ручного труда требует транспортирование продукции и сырья. Здесь объектом робототехники является создание автоматических тележек (робокаров), движущихся по заданной программе и управляемых вычислительной техникой. Программа может легко переналаживаться. Это же относится и к автоматическим подвесным транспортным роботам. При автоматизации всех видов складских работ с помощью робототехнических систем, роботы автоматически обслуживает различные ячейки склада и прибывающие к нему робокары.

Сочетание мобильных и манипуляционных роботов имеет большое значение для роботизации сельскохозяйственных работ, в том числе с помощью самоходных сельхозмашин, автоматизированных погрузочно-разгрузочных и складирующих систем, собирающих и сортирующих урожай.

Информационно-управляющие робототехнические системы могут не иметь механически движущихся исполнительных устройств. Они, получив информацию от каких-либо внешних источников, ее обрабатывают по определенным алгоритмам и программам (в том числе адаптирующимся к обстановке и к постоянной задаче), выдают результаты на дисплей или другие внешние устройства, а также автоматически вырабатывают необходимые управляющие сигналы на основе результатов обработки. Информационные робототехнические системы могут определять свойства неизвестных объектов в любой среде.

К ***информационным роботам*** относятся также и автоматические контрольно-измерительные системы на производстве. Много ручного труда затрачивается на контрольно-измерительные операции. Назначение робототехники — это автоматизация самого процесса контроля и измерения и передача информации о необходимости подналадки и др. Эта задача должна быть решена для завершения комплексной автоматизации производства и ликвидации однообразного ручного труда.

Промышленные роботы классифицируют по различным признакам, а именно: степени универсальности (технологическому назначению), типу системы управления, типу кинематической схемы, грузоподъемности, виду приводов и др.

По степени универсальности (техническому назначению) промышленные роботы бывают универсальными, специализированными и специальными.

Универсальные роботы конструктивно независимы от технологического оборудования и ориентированы на выполнение широкого круга вспомогательных и основных производственных операций.

Специализированные роботы связаны с определенной номенклатурой оборудования, ими можно управлять от автономной или единой с обслуживаемым оборудованием системы управления.

Специальные роботы, как правило, встроены в обслуживаемое оборудование, имеют конструкции, жестко связанные с видом технологической операции, типом деталей и заготовок.

По виду выполняемых технологических операций роботов подразделяют на вспомогательные и технологические.

Все выпускаемые в настоящее время промышленные роботы включают в себя органы манипулирования — «руки» и схваты; при необходимости — органы перемещения — тележки и другие устройства, программную управляющую систему; датчики, контролирующие положение рабочих органов.

Функция манипулятора состоит в перемещении «руки» и ориентации схвата относительно технологического оборудования, с которым взаимодействует робот. Конструкция «руки» промышленного робота может быть выдвижной или шарнирной.

Число степеней свободы, которые можно определить как число элементарных независимых движений схвата, осуществляемых роботом, определяет подвижность механизма манипулятора. С увеличением числа степеней свободы робот становится более универсальным и гибким, способным выполнять сложные технологические операции. Для простых операций применяют роботы с 3...5 степенями свободы.

По типу систем управления современные и перспективные промышленные роботы делят на три рода (поколения): программные, адаптивные и интеллектные (с элементами искусственного интеллекта). Все они обладают свойством быстрого перепрограммирования на различные операции, причем в первом поколении (программируемые роботы) перепрограммирование проводится человеком, после чего робот действует автоматически, многократно повторяя жестко заданную программу. На рис. 13.4 показана структура ***программного робота***. Промышленные роботы первого поколения по типу системы управления подразделяют на цикловые, позиционные и контурные.

В *цикловой системе управления* перемещения органов манипулятора задаются кулачковыми упорами и отрабатываются концевыми выключателями. Они останавливаются при достижении звеньями манипулятора заданных положений. В системе программируется последовательность движений, выдержка времени при остановках на упоре, выдача технологических команд, открытие и закрытие схвата.

В цикловых системах роботы снабжаются быстродействующими пневматическими приводами. Они управляются либо с помощью электроники (релейно-контактной аппаратуры), либо с помощью пневматики (струйной техники). Последнюю применяют преимущественно во взрывоопасных ситуациях, где нежелательна электрическая аппаратура во избежание искр, а также в высокотемпературных и других особых условиях, неблагоприятно действующих на электронику.



Рис. 13.4. Структура программного робота

Система циклового управления является дискретной с достаточно простой логикой функционирования, поэтому система отличается сравнительно небольшой емкостью программоносителя, простыми алгоритмами управления (реализация заданной циклограммы движения манипулятора) и небольшими габаритными размерами и стоимостью.

В позиционных системах управления существенно увеличен объем информации о положении звеньев манипулятора. Простейшие элементы перемещения и взятия предметов, а также более сложные движения возможны при многоточечной позиционной системе управления промышленного робота. Фиксирование в программе действий робота большего числа точек позволяет передвигаться от точки к точке с малой дискретностью. При этом применяют как замкнутые системы управления с датчиками обратной связи по положению, так и разомкнутые.

Робот выполняет технологические операции в автоматическом режиме в соответствии с алгоритмами, реализованными в программном обеспечении. Это относится к сигналам управления приводами и схватом манипулятора, к последовательности движений с определенными скоростями, к достаточно точному позиционированию схвата в заданных положениях, синхронизации действий робота с работой оборудования, а также к сигнализации аварийных ситуаций, автоматической смене схватов и инструментов и другим технологическим командам.

Позиционная система управления робота может содержать библиотеку заранее подготовленных подпрограмм для отдельных частей функционирования робота. Тогда сокращается время переналадки робота на выполнение другой технологической операции на том же участке. Кроме того, такие подпрограммы могут дополнительно подключаться для контрольных операций, сортировки изделий, обеспечения работы участка при появлении отдельных неисправностей.

Контурные системы управления более сложные. Для движения захватного устройства по непрерывной траектории необходимо обеспечить синхронную и согласованную обработку заданных траекторий всеми степенями подвижности манипулятора.

Существует два основных способа построения устройств контурного управления роботами. Первый из них основан на записи в память системы информации об изменении положения каждой степени подвижности во времени, т. е. в виде готовой для обработки приводом непрерывной траектории. Второй способ заключается в записи конечного числа координат точек, принадлежащих желаемой траектории движения захватного устройства или рабочего инструмента робота, с последующей генерацией непрерывной траектории, соединяющей эти точки, путем выполнения интерполяции по заданному закону.

Если в первом случае в управляющем устройстве отсутствуют вычислительные блоки, но требуется запоминающее устройство с огромным объемом памяти, то во втором объем памяти невелик, но в устройство управления приходится включать блок интерполяции.

Характерной особенностью роботов с контурной системой управления является, как правило, наличие устройств, следящих за положением привода в каждой степени подвижности.

В некоторых электромеханических роботах с контурной системой управления, когда привод каждой степени подвижности строится по принципу следящей системы, ставят аналоговые датчики обратной связи (например, потенциометр и тахогенератор). Вследствие этого приходится вводить в систему аналого-цифровые преобразователи. Большая эффективность системы по быстродействию, точности и плавности движений манипулятора достигается установкой импульсных или кодовых датчиков обратной связи. Тогда с управлением от ЭВМ получается чисто цифровая система управления приводами.

В режиме диагностики и настройки параметров определяют работоспособность всех блоков, входящих в состав системы, а также изменяют некоторые параметры (коэффициенты, задающие настройку регуляторов приводов, временные параметры и др.).

В режиме обучения формируют рабочую программу — совокупность команд и данных.

Режим исполнения предназначен для запуска одной из сформированных оператором рабочих программ. Программа выполняется в автоматическом или пошаговом (отладочном) режиме. Кроме того, можно имитировать движение манипулятора и технологического оборудования.

В автоматическом режиме технологическая программа непрерывно отрабатывается. Пошаговый режим является отладочным. В режиме обучения технологические программы создаются, редактируются, аннулируются. В режиме тестирования контролируется работоспособность системы и ее модулей.

В режиме работы под управлением ЭВМ система выполняет директивы, поступающие от ЭВМ по каналу последовательного интерфейса. В режиме загрузки технологические программы вводятся в оперативную память модуля главной памяти с внешнего устройства.

Комбинированная система управления объединяет микроЭВМ и микропроцессорные цифровые интеграторы. Последние имеют свойство распараллеливать процесс формирования сигналов управления на приводы. Они снижают нагрузку микроЭВМ. В результате частота подачи сигналов управления на приводы может повышаться на порядок.

Во втором поколении (***адаптивные роботы***) основы программы действий робота закладываются человеком, но сам робот может в определенных пределах автоматически перепрограммироваться (адаптироваться) в ходе технологического процесса в зависимости от обстановки, которая неточно определена заранее. На рис. 13.5 показана структура адаптивного робота.

В третьем поколении (***интеллектные роботы***) задание роботу вводится человеком в более общей форме, а сам робот обладает возможностью принимать решения и планировать свои действия в распознаваемой им неопределенной или меняющейся обстановке, чтобы суметь выполнить заложенное в его память задание. Структура интеллектного робота показана на рис. 13.6. Робот обладает как бы элементами искусственного интеллекта, состоящими в восприятии неопределенной или меняющейся обстановки, обработке информации о ней в целях выработки и принятия решения, планирования действий, формирования сигналов на приводы по всем

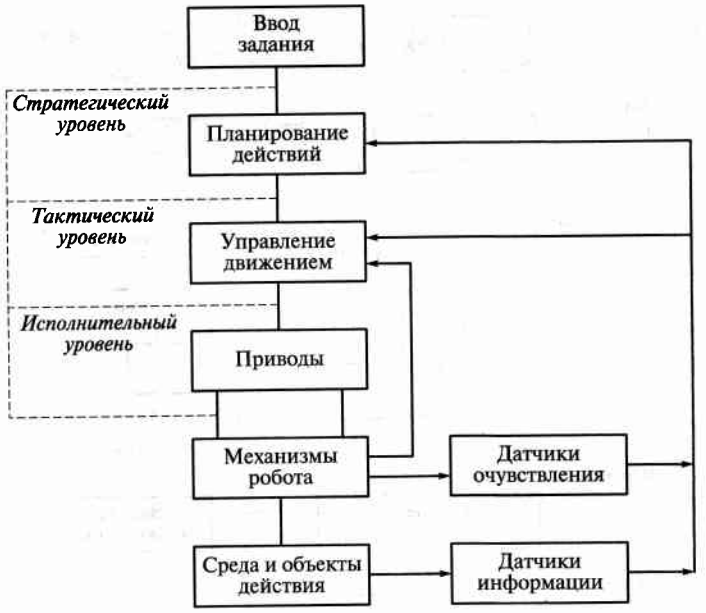


Рис. 13.5. Структура адаптивного робота

степеням подвижности манипулятора для реализации необходимых движений.

Адаптивные и интеллектные роботы различают по системам очувствления, принципам адаптации в их системах управления и уровням развития элементов искусственного интеллекта.

Системы очувствления роботов классифицируют на системы технического зрения, локационные, тактильные и силомоментные.

В настоящее время промышленные роботы применяют при автоматизации вспомогательных технологических операций действующего производства, не изменяя существенно планировку производственного участка и сохраняя основной маршрут движения обрабатываемых изделий. Кроме того, промышленные роботы используют при проектировании и создании новых производственных участков по упаковыванию изделий. Изменение форм изделий требует существенной конструкторской переделки рабочих органов и программных механизмов, управляющих работой упаковочных автоматов. Сменой управляющей программы в запоминающем устройстве можно изменять пространственную геометрию перемещения рабочих органов робота, что позволяет завертывать и упаковывать изделия не только прямоугольной, но и фигурной формы. Рас-

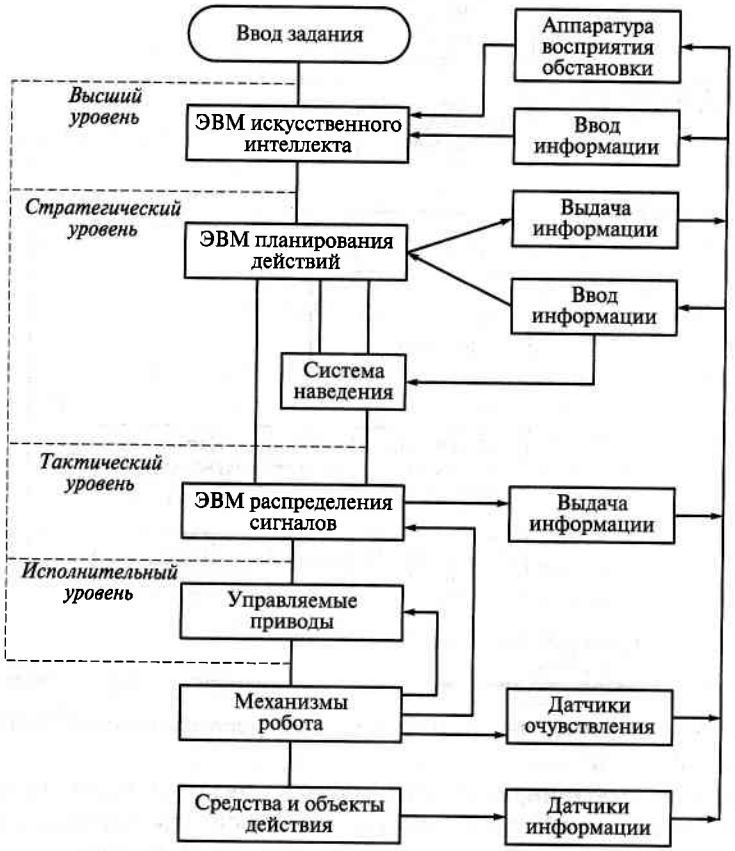


Рис. 13.6. Структура интеллектного робота

ширение ассортимента форм выпускаемой продукции будет привлекать к ней внимание потребителя, удовлетворять различные вкусы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое УВК? **2.** Какие функции выполняет УВК на основе мини-ЭВМ? **3.** Что называют микропроцессором? **4.** Что представляет собой микроЭВМ? **5.** Что такое КТС ЛИУС-2 (микро ДАТ)? **6.** Что называют программируемыми контроллерами? **7.** Что называют промышленным роботом? **8.** Дайте классификацию промышленных роботов. **9.** Опишите структуру программного робота. **10.** Каковы особенности структуры адаптивного робота? **11.** Поясните структуру интеллектного робота.

Глава 14

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И РАБОЧИЕ ОРГАНЫ

14.1. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

По используемому виду энергии исполнительные механизмы (ИМ) подразделяются:

- на электрические;
- пневматические;
- гидравлические.

В пищевой промышленности наибольшее распространение получили первые два типа.

По принципу действия ИМ подразделяются на механизмы порционного действия и функциональные.

По конструкции ***электрические ИМ*** подразделяются на электромагнитные и электродвигательные.

Электромагнитные исполнительные механизмы представляют собой устройства, в которых конструктивно совмещены электропривод и регулирующий, или рабочий, орган. Электроприводом таких исполнительных механизмов служит электромагнит, а рабочим органом — клапан, поэтому такие исполнительные механизмы называют ***электромагнитными клапанами***.

Электромагнитные механизмы как регулирующие устройства применяют в системах двухпозиционного регулирования.

Электромагнитные приводы по принципу действия подразделяют на две группы:

- рассчитанные на длительное обтекание катушек током (типа СВА, СВФ, СВР). При подаче напряжения на катушку электромагнита его якорь втягивается, открывая клапан; при снятии напряжения с катушки якорь опускается, закрывая клапан;

- рассчитанные на кратковременный режим работы катушки электромагнита (типа СВВ). При подаче напряжения на катушку электромагнита его якорь втягивается и фиксируется в верхнем положении специальной защелкой, клапан полностью открыт, а цепь питания электромагнита автоматически разрывается. Для закрытия клапана подается напряжение на катушку электромагнита защелки, которая освобождает якорь, он опускается, закрывая клапан; цепь питания электромагнита защелки при этом разрывается.

Электромагнитный клапан СВА показан на рис. 14.1. При отсутствии напряжения на катушке электромагнита *1* разгрузочный золотник *4* перекрывает отверстие седла *5* в основном золотнике *3*. Последний закрывает главный проход клапана. Избыточное давление, действующее на золотники, прижимает их к седлам *5*, *6* и обеспечивает герметичность затвора. При подаче питания на катушку электромагнита сердечник *2* втягивается и поднимает разгрузочный золотник *4*. Отверстие в разгрузочном седле *5* открывается, и дав-

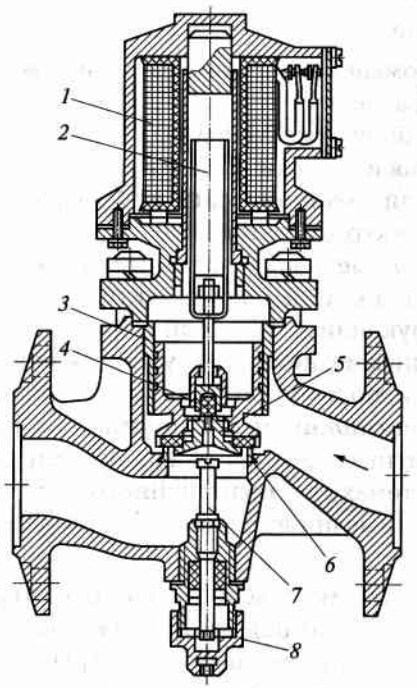


Рис. 14.1. Электромагнитный клапан СВА

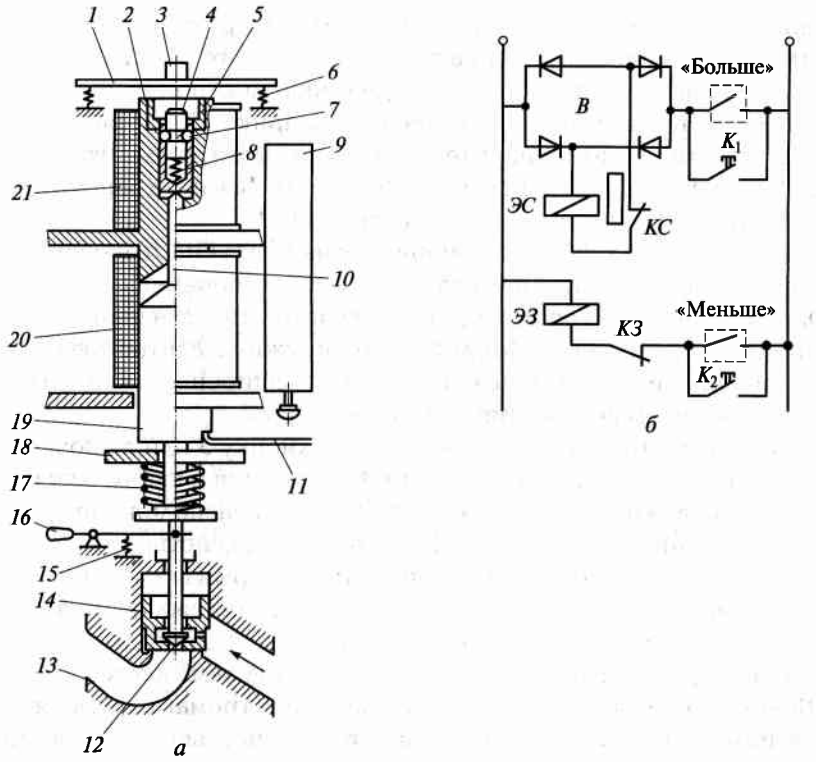


Рис. 14.2. Электромагнитный клапан СВВ:
а — схема устройства; *б* — электрическая схема включения обмоток

ление в подзолотниковой зоне примерно уравнивается с давлением в надзолотниковой зоне. Так как площадь основного золотника больше площади главного прохода, то образовавшаяся подъемная сила, равная перепаду давления умноженному на разность площадей, поднимает основной золотник и полностью открывает главный проход. Штифт *7* с гайкой *8* служит для открытия клапана вручную.

Электромагнитный клапан с защелкой СВВ (рис. 14.2, *а*) имеет привод, включающий два электромагнита: силовой (главный) и вспомогательный — электромагнит защелки. Клапан состоит из корпуса *13* с седлом, основного запорного золотника *14*, разгрузочного золотника *12* с ручкой подъема *16* и возвратной пружиной *15*, стойки *18*, на которой крепится электромагнит с помощью шпилек. Между стойкой клапана и фланцем электромагнита расположен теплоизоляционный экран из асбестокартона. Электромагнитный

привод в сборе состоит из опорной тарелки и пружины *17*, якоря *19* силового электромагнита, катушки *20* силового электромагнита, штока клапана *10*, пружины *8*, сердечника электромагнита защелки *5*, штифта с кольцевой проточкой *4*, шариков *7*, опорного кольца *2*, кнопки ручного управления *3*, якоря электромагнита защелки *1*, возвратных пружин *6*, катушки электромагнита защелки *21* и блок-контактов *9*, переключаемых скобой *11*.

При подъеме клапана с помощью ручки подъема *18* или включением силового электромагнита *20* его якорь *19* перемещается вверх. Одновременно с якорем поднимаются шток *10* и связанный с ним штифт *4* с шариками *7*. Под действием пружины *8* штифт выталкивает шарики из канала сердечника в его расширенную часть и фиксируется в этом положении — клапан открыт.

При закрытии клапана нажатием на кнопку *3* или включением электромагнита защелки *21* штифт *4* опускается и как только кольцевая канавка штифта сравняется с уровнем расположения шариков, последние закатятся в канавку, якорь под действием собственной массы и силы пружины *17* опустится, закрывая клапан.

На рис. 14.2, *б* показана электрическая схема включения обмоток силового электромагнита и электромагнита защелки.

При подаче сигнала на открытие клапана замыкается контакт «Больше», включается обмотка силового электромагнита *ЭС*, якорь втягивается в катушку электромагнита и полностью открывает клапан. Одновременно защелка фиксирует якорь в этом положении, а блокировочный контакт *КС* размыкается, и по обмотке силового магнита перестает идти ток. При подаче сигнала на закрытие клапана замыкается контакт «Меньше», по обмотке электромагнита защелки *ЭЗ* пойдет ток. Электромагнит освободит защелку, якорь опустится вниз, клапан закроется. Одновременно блокировочный контакт защелки *КЗ* разомкнется, а блокировочный контакт силового электромагнита *КС* замкнется, подготавливая обмотку силового электромагнита к включению. Кнопки K_1 и K_2 служат для операторного управления клапаном. Цепи силового электромагнита и электромагнита защелки питаются от сети постоянного тока напряжением 110 или 220 В или от сети переменного тока напряжением 220 В через специальный выпрямитель *В*.

Электродвигательные исполнительные механизмы (ЭИМ) по способу управления подразделяют на механизмы с контактным и бесконтактным управлением. У *механизмов с контактным управлением* включение, отключение и реверсирование двигателей осуществляются от релейно-контактной аппаратуры, т. е. скорость перемещения выходного элемента (вала или штока) не зависит от управляющего сигнала, а направление перемещения определяется знаком сигнала. Для механизмов с *бесконтактным управлением* используют магнитные, электронные и полупроводниковые усилители.

По характеру действия электродвигательные исполнительные механизмы бывают позиционными и пропорциональными.

Позиционные исполнительные механизмы применяют для управления рабочими органами по сигналам от контактных или релейных устройств вторичных приборов.

Позиционный исполнительный механизм (рис. 14.3, *а*) используется в системах двухпозиционного регулирования и в системах управления рабочими органами. Он представляет собой силуминовый литой корпус *4*, в котором размещены однофазный асинхронный двигатель (АД) *2* и редуктор *1*. На одном конце выходного вала редуктора закреплен диск *6* с эксцентричным пальцем *5*, к которому присоединяется регулирующий орган; на другом конце вала редуктора закреплен ползун блокирующего переключателя *3*.

На принципиальной электрической схеме исполнительного механизма типа ДР-М (рис. 14.3, *б*) показано, что им управляет контактное управляющее устройство измерительного прибора (вторичного преобразователя). Оно может замыкать контакт *8* или *9* и находиться в нейтральном положении. В этом положении ползун *2* переключателя *3* находится на изолированном контакте *5* или *7*, обмотка *1* статора двигателя обесточена и ротор неподвижен. При изменении регулируемого параметра замкнется контакт *8* и в обмотке статора АД появится ток, идущий по цепи через контакты *8* и *5*, ползун *12*, внутреннее токонесущее кольцо *4* и обмотку статора *1*. Вал ротора через редуктор сообщает вращение выходному валу *6*, ползун *12* сходит с контакта *5* и скользит по токонесущей пластине; цепь двигателя остается замкнутой. После одного полуоборота ползун *12* сойдет на контакт *7*, цепь разомкнется и АД остановится. При замыкании контакта *9* цепь окажется снова замкнутой, АД будет вращаться в том же направлении до тех пор, пока ползун *12* не сойдет с токонесущей пластины на контакт *5*. Так как выходной вал редуктора непосредственно соединен с рабочим органом, то последний будет соответственно полностью закрываться или открываться. Таким образом, для управления исполнительным механизмом ДР-М необходимо иметь две контактные группы.

Пропорциональные исполнительные механизмы используют для управления рабочими органами регуляторов пропорционального действия.

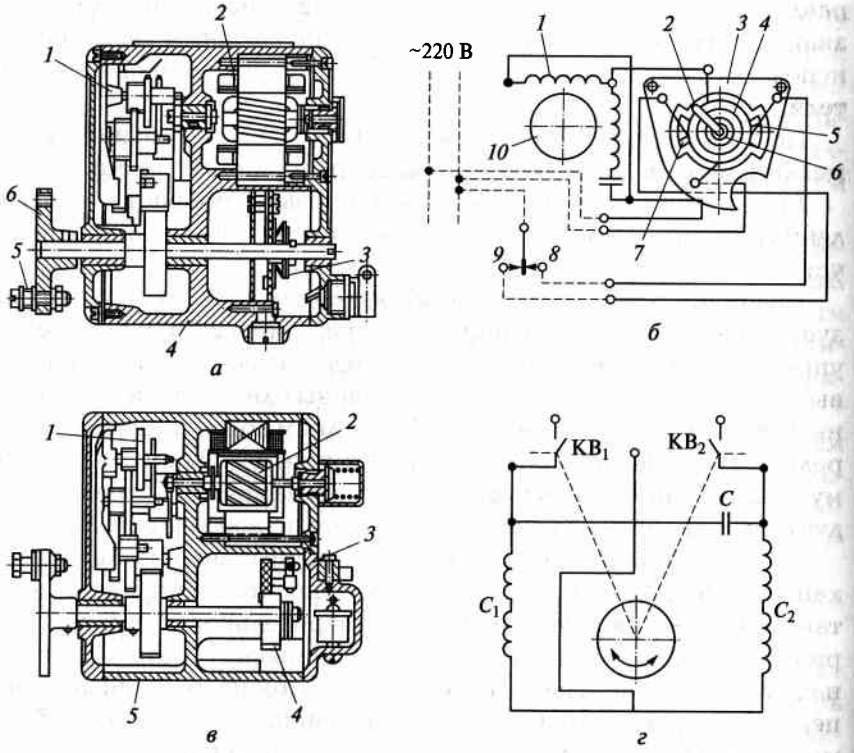


Рис. 14.3. Устройство и принципиальные электрические схемы электродвигательных исполнительных механизмов:

а, б — позиционного; *в, г* — пропорционального

Пропорциональный исполнительный механизм ПР-М используют в системах функционального регулирования, конструкция его аналогична конструкции механизма ДР-М и показана на рис. 14.3, *в*. В корпусе *5* размещен однофазный реверсивный конденсаторный двигатель *2*, редуктор *1*, конечные выключателя и реостат обратной связи *4*. Подвижной контакт реостата обратной связи *3* закреплен на валу двигателя и при его работе скользит по обмотке реостата. Таким образом, каждому положению выходного вала исполнительного механизма соответствует определенное положение подвижного контакта реостата обратной связи.

Цепь питания (рис. 14.3, *г*) обмоток статора замыкается контактами регулирующего устройства. Выключатели $КВ_1$ и $КВ_2$ включены в разрыв проводов, подводящих ток к обмоткам статора C_1 и C_2, и предназначены для ограничения хода выходного вала механизма. Выключатели устанавливают вручную на любой угол поворота в пределах 0... 180°.

При повороте вала на заранее установленный угол размыкается выключатель $КВ_1$ и останавливается исполнительный механизм. Это соответствует крайнему положению рабочего органа. А контакт выключателя $КВ_2$ соответствует второму крайнему положению рабочего органа, в это время он замкнут.

Исполнительные механизмы ДР-М и ПР-М имеют диск и шток для соединения с регулирующими органами, которые совершают вращательные или поступательные движения. По заводской настройке продолжительность перемещения вала из одного крайнего положения в другое составляет 30 с; настройку можно изменить сменой шестерен редуктора, т. е. изменить его передаточное число и соответственно продолжительность поворота вала: 10, 15, 22, 45, 60, 75, 90, 105, 120 с.

Для управления регулирующими органами, приведение в действие которых требует больших усилий, применяют исполнительные механизмы МЭО-К.

Исполнительный механизм МЭО-К (рис. 14.4, *а*) состоит из электродвигателя *2*, редуктора *4*, узла индукционных датчиков и конечных выключателей. Исполнительный механизм подключается через штуцерный ввод *3*, для сочленения с регулирующим органом служит кривошип *5*, маховик *1* предназначен для ручного управления. К регулирующему устройству (рис. 14.4, *б*) механизм МЭО-К подключают ключом *КВ*, с помощью которого переключаются схемы на ручное и дистанционное операторные управления.

Исполнительный механизм управляется с помощью магнитного реверсивного пускателя типа МКР-О. Исполнительный механизм к сети питания подключается выключателем *АВ*. Схема собственно исполнительного механизма МЭО-К включает трехфазный реверсивный электродвигатель Д типа АОЛ, электромагнитный тормоз ЭМ, который фиксирует выходной вал в любом положении после снятия управляющего сигнала. Для выключения электродвигателя в крайних положениях выходного вала предназначены конечные выключатели $В_1 ... В_4$. Изменяя положение кулачков конечных выключателей можно регулировать угол поворота выходного вала в пределах 0... 270 °. Индукционный датчик $ДИ_2$ предназначен для подключения дистанционного указателя положения ДУП, индукционный датчик $ДИ_1$ является датчиком обратной связи по положению выходного вала исполнительного механизма.

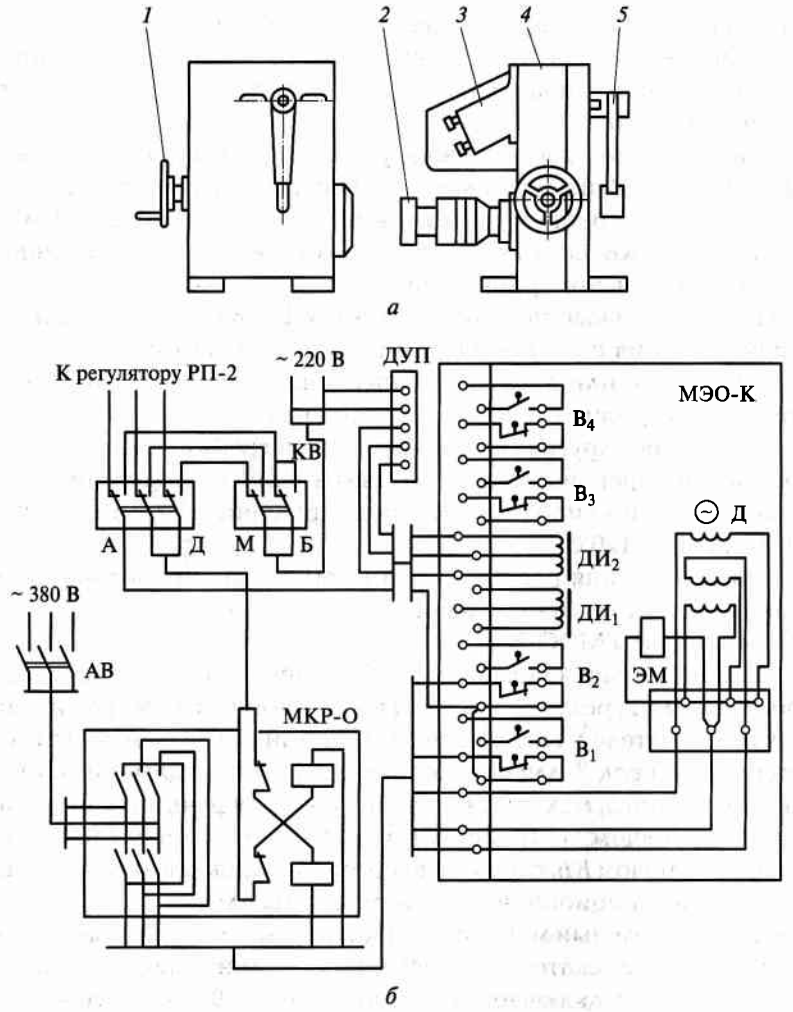


Рис. 14.4. Исполнительный механизм МЭО-К:
а — устройство; *б* — электрическая схема подключения

Пневматические исполнительные механизмы работают с пневматическими регуляторами и подразделяются на мембранные и поршневые.

Действие пневматических исполнительных механизмов основано на использовании энергии сжатого воздуха. Конструктивно пневматические исполнительные механизмы представляют собой

автономные блоки, которые устанавливают на рабочих органах или в единую совмещенную конструкцию. Механизм приводится в действие сжатым воздухом, поступающим от пневматического управляющего (регулирующего) устройства в головку привода.

Конструкции мембранных пневматических исполнительных механизмов приведены на рис. 14.5 и 14.6.

На рис. 14.5 приведена конструкция мембранного ИМ позиционного действия с переключающим клапаном. В корпусе *1* клапана помещен шток *7* с тарелкой *8*, имеющей уплотнительное резиновое кольцо. Силовая мембрана *3* исполнительного механизма размещена в кожухе, составленном из верхней *5* и нижней *6* частей. Внутри кожуха помещена нажимная пружина *4*. Сжатый воздух подается под мембрану через штуцер *2*.

Мембранный исполнительный механизм (рис. 14.6) состоит из клапана I, к которому болтом II крепится мембранный исполнитель-

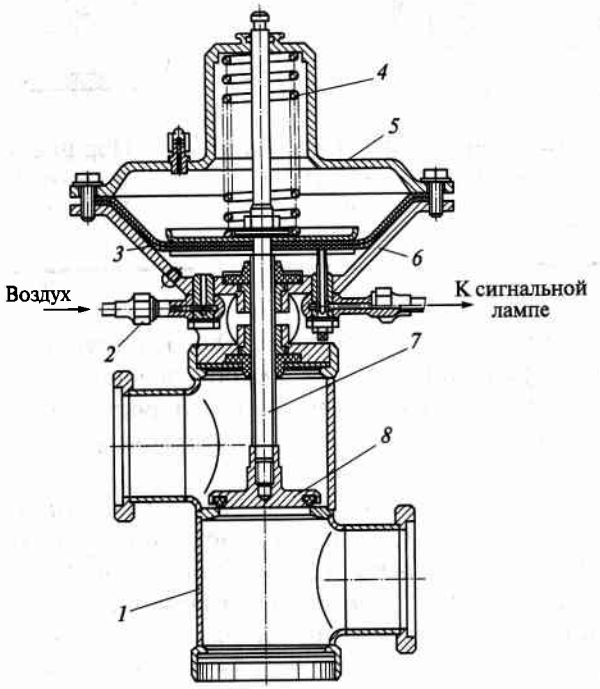


Рис. 14.5. Мембранный исполнительный механизм позиционного действия

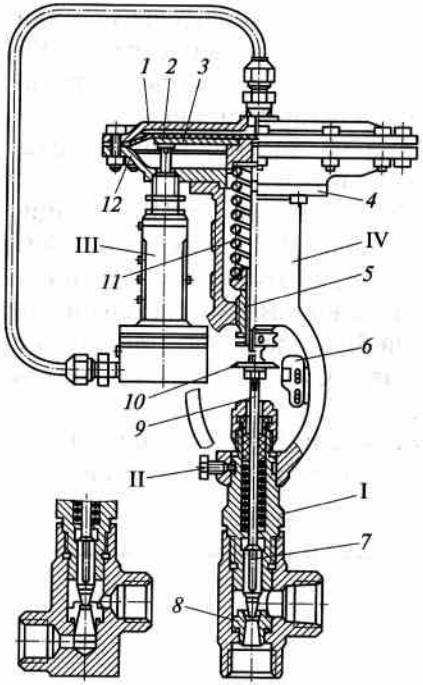


Рис. 14.6. Мембранный исполнительный механизм функционального действия

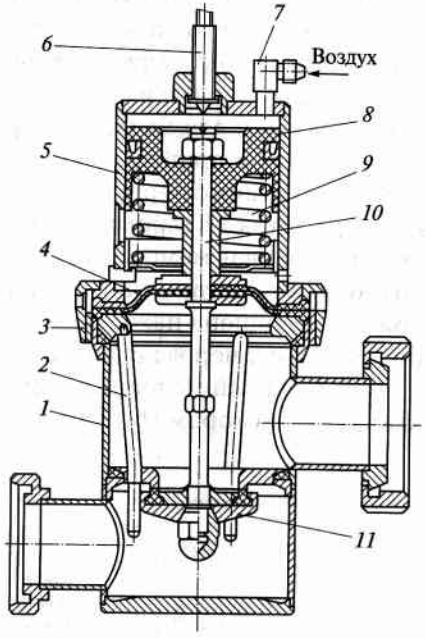


Рис. 14.7. Поршневой исполнительный механизм позиционного действия

ный механизм IV. Последний имеет эффективную площадь мембраны 230 см^2 и рабочий ход 10 мм. Для обеспечения быстродействия, точности установки штока и увеличения перестановочного усилия исполнительный механизм дополняют позиционным реле (позиционером) III.

Основными конструктивными элементами мембранного привода являются верхний *1* и нижний *12* диски, между которыми зажата мембрана *2* из резины с тканевой прокладкой. Нижний диск *12* крепится к фланцу кронштейна *4*. Перемещение мембраны *2* через грибок *3* и шток *9* передается на плунжер *7* дроссельного устройства. Пружина *11* обеспечивает линейную зависимость между давлением сжатого воздуха в полости привода и перемещением плунжера клапана. Предварительное натяжение пружины регулируется резьбовой втулкой *5*. На штоке привода укреплен указатель *10*,

который по шкале *6* указывает положение плунжера клапана, т. е. его перемещение относительно седла *8*.

Поршневые пневматические исполнительные механизмы бывают позиционного и функционального действия.

Конструкция поршневого ИМ позиционного действия показана на рис. 14.7. В корпусе *11* помещена вставка *2*, состоящая из седла и верхнего кольца, соединенных наклонными стойками. Вставка зажимается между корпусом клапана и кожухом исполнительного механизма *5* совместно с мембраной *4* с помощью накидной гайки *3*. В кожухе исполнительного механизма размещена возвратная пружина *9*, подпирающая поршень *8* с закрепленным на нем штоком *10* клапана *1* с уплотнительным резиновым кольцом. Сжатый воздух для открытия клапана подается в верхнюю часть кожуха через штуцер *7*. Для ручного управления служит винт *6*.

На рис. 14.8 приведена конструкция поршневого ИМ функционального действия. Перестановочное усилие создается давлением рабочей среды в поршневых полостях. Эти механизмы отличаются от мембранных бóльшим перемещением рабочего органа и развиваемым усилием. Пустотелый силовой шток поршня *6* расположен внутри цилиндра *8*, закрытого крышкой *10*. На конце штока *9* укреплена серьга *11* для присоединения его к регулирующему органу.

В полости штока расположена пружина *7* для получения жесткой обратной связи, натяжение пружины можно изменять вручную. Исполнительный механизм снабжен золотниковым усилителем, состоящим из корпуса *1*, в котором запрессована бронзовая втулка *2*, и золотника *3*, расположенного во втулке.

Воздух от регулятора поступает через штуцер *12* в камеру исполнительного механизма, и золотник усилителя перемещается под

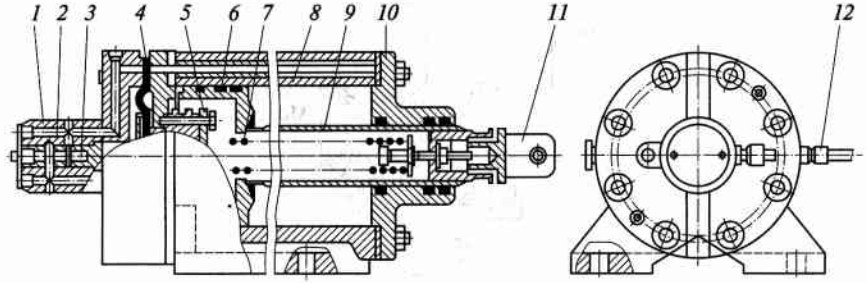


Рис. 14.8. Поршневой исполнительный механизм функционального действия

усилием, развиваемым мембраной *4*. При смещении золотника от среднего положения воздух, подводимый внутрь корпуса золотникового усилителя через штуцер, поступает в левую (под поршень) или в правую полость цилиндра и перемещает поршень со штоком вправо или влево. Это ведет к перестановке регулирующего органа. Одновременно поршень изменяет натяжение пружины *7*, которая возвращает золотник в среднее положение. Чтобы исключить сообщение камеры с рабочими полостями цилиндра, устанавливают уплотнительный мембранный пакет *5*.

Конструктивно поршневые исполнительные механизмы выполняют с цилиндром одно- и двухстороннего действия.

Гидравлические исполнительные механизмы бывают мембранные и гидравлические.

Клапан электрогидравлический трехходовой мембранный позиционного действия используют для возврата недопастеризованного продукта к пастеризационно-охладительной установке. Конструкция клапана представлена на рис. 14.9. В качестве источника энергии серводвигателя служит давление воды из городской сети. Подача воды на мембрану *2*, управляющую перемещением штока

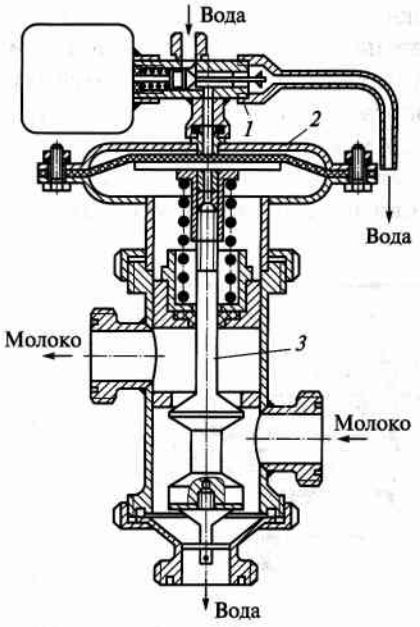


Рис. 14.9. Клапан электрогидравлический трехходовой

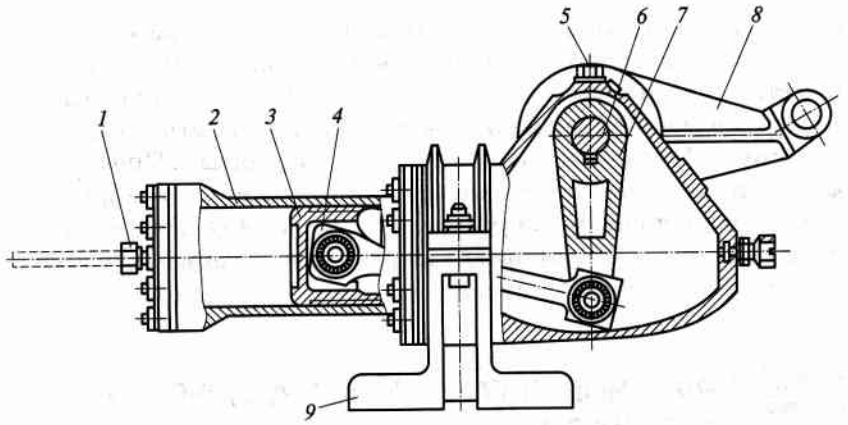


Рис. 14.10. Кривошипный гидравлический исполнительный механизм

клапана *3* с золотником, регулируется с помощью электромагнитного клапана *1*. При нормальном режиме пастеризации клапан находится под напряжением и вода поступает на мембрану. Если режим пастеризации нарушается, электромагнит обесточивается и возвратная пружина электромагнитного клапана открывает выход воды на слив. При этом трехходовой клапан переключается в положение, соответствующее поступлению потока молока на повторный нагрев.

Функциональные гидравлические исполнительные механизмы служат для преобразования сигнала, поступающего от гидравлического регулятора, в перемещение регулирующего органа. Механизмы выпускают двух типов: прямого хода с поступательным движением штока и кривошипные с поворотным валом.

Гидравлический исполнительный механизм прямого хода представляет собой цилиндр с поршнем. Действие его аналогично действию пневматического поршневого исполнительного механизма.

Конструкция *кривошипного гидравлического исполнительного механизма* представлена на рис. 14.10. В цилиндре *2*, который крепится к картеру, перемещается поршень *3*. Поступательное движение поршня с помощью шатуна *4* и кривошипа *7* преобразуется во вращательное движение вала *6*. Соединение шатуна с поршнем и кривошипом выполнено на шариковых подшипниках, что уменьшает трение и исключает возможность заеданий. На конце вала *6* укреплен диск, к которому болтами крепится приводной рычаг *8*. В диске имеется несколько отверстий, благодаря которым привод-

ной рычаг можно установить в положение, удобное для сочленения с регулирующим органом. Положение механизма при этом не изменится. Масло к полостям исполнительного механизма подводится через штуцер *1*. Пробка *5* служит для удаления воздуха из полости картера. Механизм крепится с помощью плиты *9*. При разности давлений по обеим сторонам поршня возникает усилие, которое создает перестановочное усилие, вызывающее движение поршня, что в конечном счете приводит к вращению рычага *8* и перемещению регулирующего органа.

14.2. РАБОЧИЕ ОРГАНЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Предназначены для непосредственного управления потоками продукта или энергоносителя в трубопроводах. По назначению подразделяются на запорные (полностью перекрывают трубопровод) и регулирующие (поддерживают необходимую подачу продукта или энергоносителя, в соответствии с управляющим воздействием регулирующего устройства). В зависимости от направления управляющего механического воздействия и перемещению запорного (регулирующего) устройства подразделяются:

- на клапаны — управляющее воздействие и перемещение запорного (регулирующего) устройства имеют возвратно-поступательный характер;
- краны — управляющее воздействие и перемещение запорного (регулирующего) устройства имеют поворотный характер;
- вентили — управляющее воздействие имеет вращательное движение, а запорное (регулирующее) устройство — поступательное движение;
- задвижки (заслонки) отличаются тем, что запорное (регулирующее) устройство имеет вид плоской металлической пластины, полностью или частично перекрывающей трубопровод. По принципу действия выполняются в виде крана или вентиля.

Перечисленные устройства применяются как в качестве регулирующих так и запорных.

Регулирующие рабочие органы представлены клапанами — плунжерным, шланговым, диафрагмовым, пробковым и вентилями с электродвигательными приводами.

Клапан плунжерный двухседельный (рис. 14.11, *а*) представляет собой наиболее распространенный вид регулирующего органа. Его основными рабочими частями являются седло *4* и плунжер (золотник) *3*. Седло закреплено в корпусе клапана *5*, плунжер крепится шарнирно к штоку *1*, который на выходном конце имеет резьбу для крепления к исполнительному механизму регулятора; шток проходит через сальник *2*. Окна в плунжере могут иметь различную конфигурацию, обеспечивающую желаемую характеристику регулирующего органа.

Клапан шланговый в последнее время находит широкое применение (рис. 14.11, *б*). В этом клапане для изменения количества вещества, протекающего через регулирующий кран, используется пережим гибкой трубки регулирующего органа. Мягкая упругая трубка *8* из полимерного материала или из прорезиненной ткани, находящаяся в корпусе клапана *4*, пережимается до необходимой степени одновременно верхним *9* и нижним *7* прижимами цилиндрической формы. Прижимы связаны ролико-втулочной цепью *3*, поэтому их положения изменяются одновременно. Цепь огибают звездочки *6*, оси которых зафиксированы в корпусе. Верхний прижим прикреплен к штоку *2*, который крепится к исполнительному механизму регулятора. Шток проходит через сальник *1*, герметизирующий корпус клапана на случай прорыва трубки. Трубка крепится к корпусу клапана конусными фланцами *5*. Расходная характеристика шлангового клапана почти линейная.

Клапан диафрагмовый предназначен для управления потоками агрессивных сред. Клапан (рис. 14.11, *в*) имеет проходную конструкцию, внутренняя поверхность корпуса *7* футерована химически стойким материалом *6*. На корпусе закреплена крышка *3*. Между крышкой и корпусом зажата диафрагма *5*, которая соединяется со штоком *1* крестовиной *2*. Для предотвращения разрушения диафрагмы под действием рабочей среды в крышке регулирующего органа расположена телескопическая опора *4*, набранная из колец, на которые опирается диафрагма. Для обнаружения утечки среды в атмосферу при прорыве диафрагмы в крышке предусмотрено отверстие *8*, к которому крепится сигнализатор. Под действием штока исполнительного механизма, соединенного с подвижной системой регулирующего органа, диафрагма перемещается, проходное сечение ее изменяется, изменяя расход среды. Расходная характеристика регулирующего органа плавная, близкая к линейной, условное давление среды до 1 МПа (10 кгс/см^2), точность коэффициента пропускной способности ± 10 %. Диафрагмовые регулирующие органы применяют в системах автоматического управления и выполняют нормально открытыми (НО) или нормально закрытыми (НЗ).

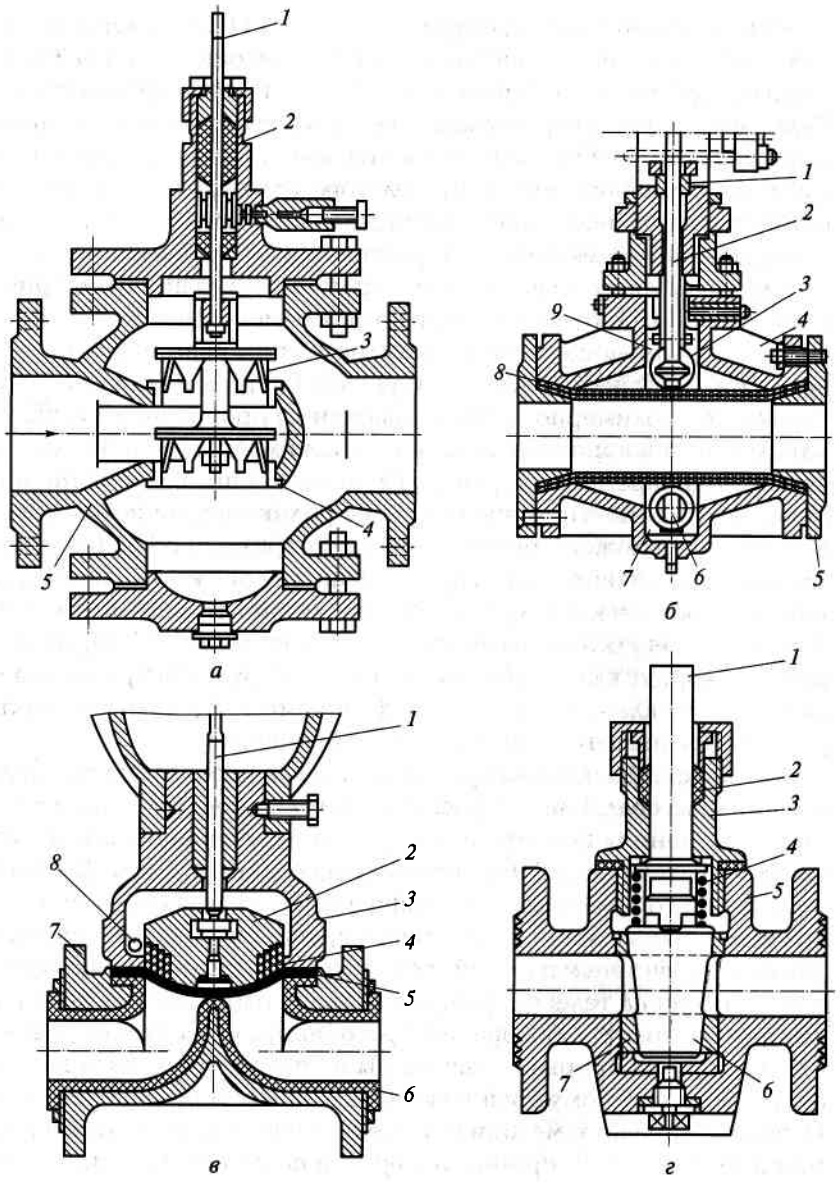


Рис. 14.11. Регулирующие органы систем автоматического регулирования:

а — клапан плунжерный двухседельный; *б* — клапан шланговый; *в* — клапан диафрагмовый; *г* — кран пробковый

Кран пробковый (рис. 14.11, *г*) наиболее распространенной конструкции имеет подвижную часть в виде пробки *6* в форме усеченного конуса, притертой к втулке *7*. В пробке крана в соответствии с требуемой расходной характеристикой имеется профилированное отверстие. При повороте пробки отверстие уменьшается, коэффициент сопротивления крана возрастает и расход вещества через кран уменьшается. Втулка *7* запрессована в корпус крана *5*, который закрыт крышкой *3* на резьбе, ось пробки крана *1* проходит через сальниковое уплотнение *2*. Плотное прилегание поверхности пробки к втулке обеспечивается пружиной *4*.

Применение кранов в системах автоматического регулирования допустимо лишь, при низких скоростях и давлениях регулируемой среды, так как вследствие малого угла поворота пробки крана, требуемого для полного закрытия, может возникнуть гидравлический удар.

На рис. 14.12 показана конструкция *вентиля с электродвигательным приводом*. Внутренние поверхности корпуса *6* вентиля покрыты полиэтиленом или фторопластом. Сверху корпус закрыт крышкой *7*.

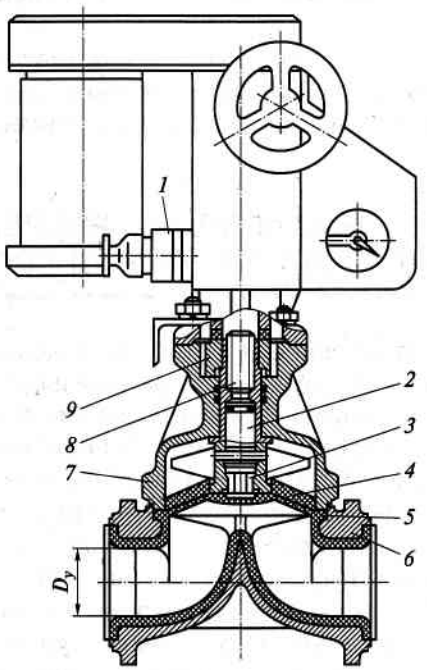


Рис. 14.12. Вентиль с электродвигательным приводом

Между корпусом и крышкой установлена пластмассовая диафрагма *5*, которая служит запорным органом. К диафрагме крепится крестовина *3*, шарнирно соединенная со шпинделем *2*. Между диафрагмой и крестовиной имеется набор колец *4* (для $D_y = 40$ и $D_y = 50$ мм) или резиновая подушка (для $D_y = 80$ и $D_y = 100$ мм), обеспечивающие равномерное прижатие диафрагмы к перемычке корпуса и предохраняющие ее от прорыва под действием давления среды. Шпиндель ввинчен во втулку *8*, на которой установлена кулачковая муфта *9*, передающая крутящий момент от электропривода *1*.

Регулирующие органы не обеспечивают полного перекрытия трубопровода, поэтому последовательно с ними устанавливают запорные органы.

В системе автоматического управления ***запорные рабочие органы*** применяют при операторном управлении потоками продукта или энергоносителя, а также при двухпозиционном регулировании. В обоих случаях требуется полное перекрытие проходного сечения запорного органа.

В качестве запорных органов используют клапаны плунжерные двух- и односедельные конусные без специальной профилировки окон, плунжера и краны пробковые с прямоугольным окном в пробке крана.

Для уменьшения тягового усилия электромагнитного привода в запорных клапанах устанавливают золотник (плунжер) специальной конструкции, так называемый «разгруженный золотник».

14.3. СОЧЛЕНЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

На рис. 14.13, *а* показана кинематическая схема сочленения ИМ, выходной элемент которого имеет вращательное движение с РО, который также имеет вращательное движение. По такой схеме могут соединяться электродвигательный ИМ с рабочим органом типа «кран» или «вентиль». Кривошип *1* представляет собой диск или рычаг, закрепленные на выходном валу ИМ. Кривошип *3* — рукоятка крана или вентиля. Между собой они соединяются шатуном (шток) *2*. При сочленении с вентилем применяют многооборотные ИМ.

На рис. 14.13, *б* показана кинематическая схема сочленения ИМ, выходной элемент которого имеет поступательное движение (шток 2), с РО, имеющим вращательное движение (кривошип *3*). По такой схеме соединяются пневматические ИМ с кранами.

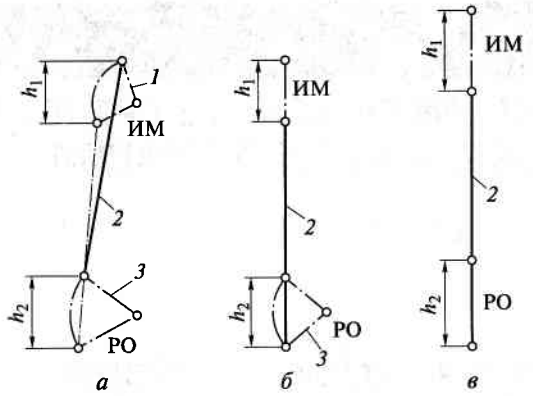


Рис. 14.13. Схемы сочленения ИМ и РО:

а — при вращательных движениях выходного элемента ИМ и выходного РО; *б* — при вращательном движении выходного элемента ИМ и поступательном РО; *в* — при поступательных движениях выходного элемента ИМ и выходного РО

На рис. 14.13, *в* показана кинематическая схема сочленения пневматического ИМ с РО типа «клапан» или «задвижка». Передача движения происходит с помощью штока *2*.

На схемах величины h_1 и h_2 показывают линейные перемещения соответственно выходного элемента ИМ и РО.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте классификацию исполнительных механизмов и рабочих органов. **2.** В каких системах регулирования применяют электромагнитные ИМ? **3.** В чем преимущество клапана типа СВВ по сравнению с клапаном типа СВА? **4.** В чем преимущество позиционного ИМ типа ДР, по сравнению с электромагнитными клапанами? **5.** На какой угол поворачивается вал ДР при подаче управляющего воздействия? **6.** Что ограничивает поворот вала в ИМ типов ПР и МЭО? **7.** В чем преимущество и недостаток поршневых пневматических ИМ по сравнению с мембранными? **8.** Для чего служит позиционер в мембранном ИМ функционального действия? **9.** Для чего служит электрогидравлический клапан позиционного действия? **10.** Какие РО обладают практически линейной характеристикой? **11.** Для чего служат запорные органы и почему их устанавливают совместно с регулирующими. **12.** Из каких элементов состоит сочленяющее устройство электродвигательного ИМ и крана?

Глава 15

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

15.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Кнопки управления и универсальный переключатель. ***Кнопки управления*** представляют собой простейшие электрические аппараты с ручным управлением.

Кнопочная станция — комплект кнопок, установленных на общем основании. По числу кнопок кнопочные станции бывают двух- и трехкнопочные. На рис. 15.1, *а* показана кнопка управления, которая имеет два замыкающих контакта *2*. При нажатии стержня-толкателя *1* происходит срабатывание контактов. На рис. 15.1, *б* показана кнопочная станция *1*, включающая две кнопки управления *2*.

Кнопки управления и кнопочные станции выпускают различных конструкций и назначений. Их подразделяют по числу замыкающих и размыкающих контактов, по числу штифтов, способу монтажа, виду защиты от окружающей среды (открытое, защищенное, герметичное взрывобезопасное исполнение).

Универсальный переключатель применяют в цепях постоянного напряжения до 400 В и переменного тока частотой 50 Гц, напряжением до 500 В. Переключатели предназначены для переключения цепей управления исполнительными механизмами, электроустановками. Их используют в качестве переключателей для электроизмерительных приборов. С помощью универсального переключателя можно выполнить переключение от двух до шестнадцати электрических цепей в разнообразных комбинациях.

Универсальный переключатель УП (рис. 15.2) состоит из набора стандартных секций *4*, число которых определяется количеством подводимых электрических цепей. Секции разделены изоляционными перегородками *5* и насажены на квадратный валик *9*, на одном конце которого укреплена рукоятка *1*. В верхней части пере-

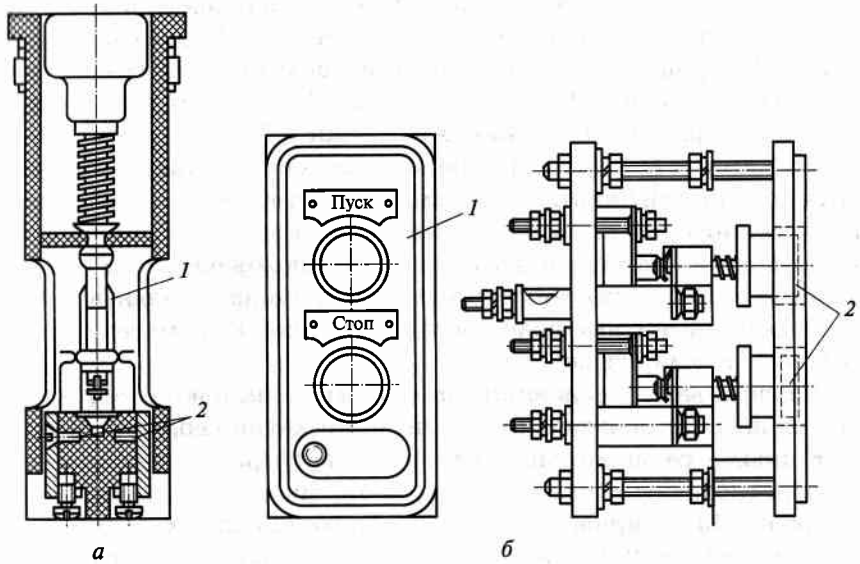


Рис. 15.1. Кнопка (*а*) и кнопочная станция (*б*)

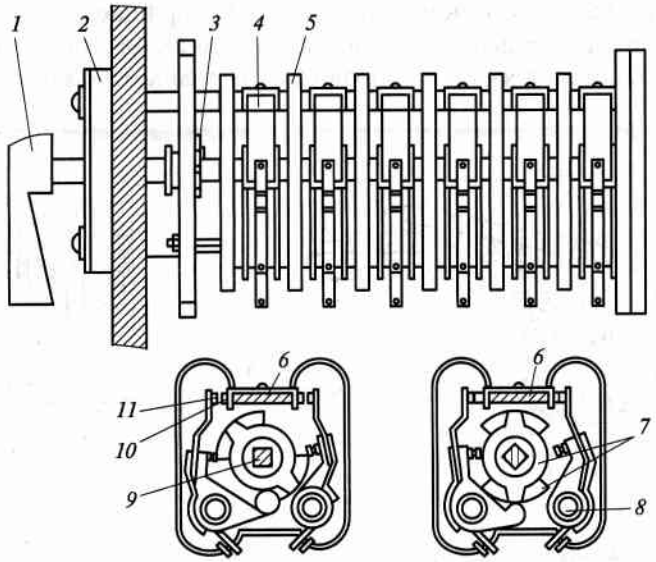


Рис. 15.2. Универсальный переключатель УП

ключателя по всей его длине проложена изоляционная рейка *6*, на которой закреплены неподвижные контакты *10*. Подвижные контакты *11* закреплены на осях *8*, которые проходят через все секции и торцевые планки *2*. Перед первой секцией на квадратном валике *9* установлен фиксатор положения рукоятки *1*.

Подвижные контакты с помощью гибких проводников соединяются с зажимами *3* контактной колодки, к которым подводятся провода внешних электрических цепей. Цепи переключаются поворотом рукоятки *1* на 45°, при этом изменяется положение кулачковых шайб *7* в соответствующих секциях, замыкающих командные цепи.

Электромагнитные реле постоянного тока. Реле делят на нейтральные и поляризованные.

Нейтральные электромагнитные реле одинаково реагируют на постоянный ток обоих направлений, протекающий по его обмотке.

Наиболее распространенными типами нейтрального реле являются реле с поворотным и втяжным якорями.

На рис. 15.3, *а* приведена схема *электромагнитного реле с поворотным якорем*. Реле состоит из магнитопровода *13*, возвратной пружины *14*, якоря *1*, латунного штифта *2*, верхнего *3* и нижнего *4* штифтов, верхнего *5* и нижнего *7* упоров, верхней *6* и нижней *8* контактных пластин, контактной системы *9*, сердечника *10*, катушки *11* и винта крепления сердечника *12*. При пропускании по катушке *11* постоянного тока стальной якорь *1* притягивается к сердечнику *10*. При отсутствии постоянного тока якорь возвращается в исходное положение с помощью возвратной пружины *14*. Латунный штифт *2*, запрессованный в якорь, не позволяет ему вплотную прилегать к

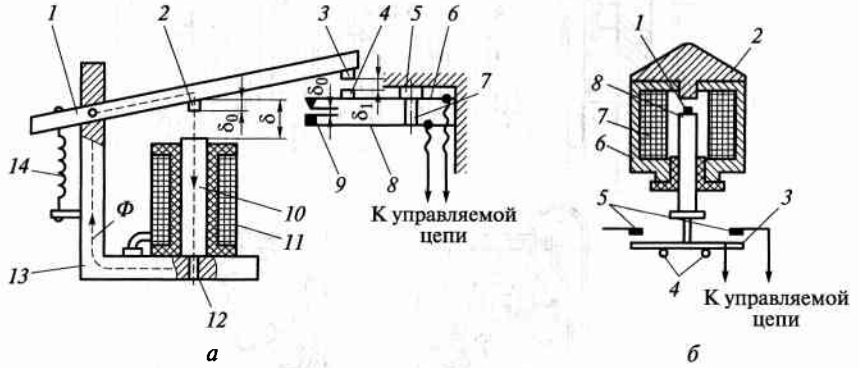


Рис. 15.3. Электромагнитные реле:
а — с поворотным якорем; *б* — с втяжным якорем

сердечнику и тем самым предохраняет якорь от «залипания» вследствие возникающего гистерезиса при отключении тока.

Конструкция *электромагнитного реле с втяжным якорем* изображена на рис. 15.3, *б*. Реле состоит из контактов *5*, корпуса *6*, катушки *7*, якоря *8*, латунного штифта *1*, крышки (сердечника) *2*, контактной перемычки *3* и упоров *4*. При пропускании тока по обмотке катушки, которая вставляется в цилиндрический корпус, за счет электромеханического усилия якорь втягивается внутрь катушки. Контактная перемычка, поднимается и замыкает контакты. При снятии управляющего сигнала, т. е. отключении реле, якорь *8* под действием силы тяжести опускается на упоры *4* и размыкает контакты *5*.

Поляризованное электромагнитное реле отличается от нейтрального электромагнитного реле тем, что имеет дополнительный постоянный магнит. Направление перемещения якоря (реакция реле) зависит от направления постоянного тока, протекающего по обмотке реле. Поляризованное реле имеет высокую чувствительность, большой коэффициент управления и малое время срабатывания. На рис. 15.4 приведена схема конструкции поляризованного реле с поворотным якорем. Реле состоит из стального магнитопровода *6*, обмоток *7* и *4*, неподвижных контактов *1* и *3*, якоря реле *2* и постоянного магнита *5*. По магнитопроводу реле протекают магнитный поток Φ_0, создаваемый постоянным магнитом *5*, и основной магнитный поток Ф, образуемый в магнитопроводе намагничивающим током обмоток *4* и *7*. Поток Φ_0, проходя через подвижный якорь *2*, разветвляется на потоки Φ_1 и Φ_2. Перемещение якоря в

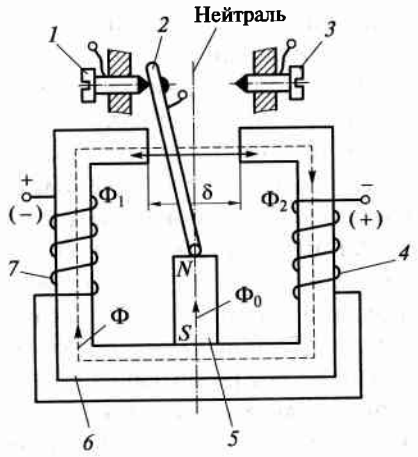


Рис. 15.4. Поляризованное реле

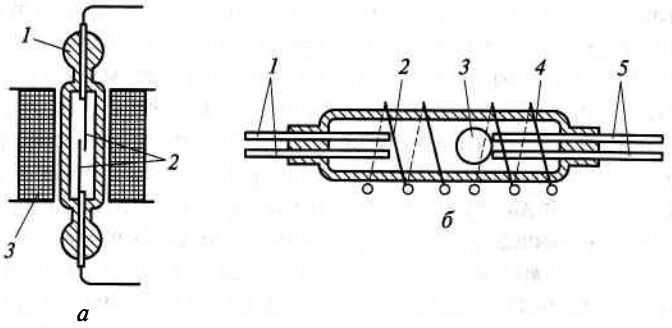


Рис. 15.5. Схемы герконов:
а — замыкающего; *б* — переключающего

воздушном зазоре δ ограничено контактами *1* и *3*. На конце якоря расположен средний контакт, который в зависимости от полярности подаваемого управляющего напряжения на обмотки реле замыкается то с левым *1*, то с правым контактом *3*.

Принцип работы поляризованного реле заключается во взаимодействии магнитных полюсов якоря *2*, намагниченного постоянным магнитом *5*, и электромагнита, состоящего из стального магнитопровода *6* и обмоток *4* и *7*. Якорь *2* наверху имеет полюс *N*, а внизу — полюс *S*. Если подать напряжение на обмотки электромагнита верхней полярности, то левый полюс электромагнита станет южным *S*, а правый — северным *N*. В этом случае якорь *2* отклонится влево. При изменении полярности входного напряжения происходит изменение полярности полюсов электромагнита, левый полюс электромагнита станет северным *N*, а правый — южным *S* и якорь *2* отклонится вправо.

В настоящее время широкое применение получили безъякорные реле, в которых используются магнитоуправляемые контакты — ***герконы***. Геркон (рис. 15.5, *а*) представляет собой герметичную стеклянную капсулу *1*, заполненную инертным газом, в торцы которой впаяны токоведущие пружинные ферромагнитные пластинки *2*. Капсула размещена в катушке электромагнита *3*. При подаче управляющего сигнала (тока) на катушку контактные пластинки намагничиваются и притягиваются друг к другу, образуя замкнутый контакт. При выключении тока под действием упругих сил пластинок контакты размыкаются. На рис. 15.5, *б* показан переключающий геркон с двумя парами контактов *1* и *5*, размещенных в катушках электромагнитов *2* и *4*. Между контактами находится ферромагнитный шарик *3*. При подаче тока в катушку *2* ферромагнитный шарик притягивается к контактам *1*, замыкая их. Если при обесточенной катушке *2* подать ток в катушку *4*, то шарик замкнет другую пару контактов *5*.

Электромагнитные реле переменного тока. Конструкция реле переменного тока напоминает конструкцию реле постоянного тока, только сердечник и якорь реле переменного тока изготовляют из листовой электротехнической стали для уменьшения потерь на гистерезис и вихревые токи. Кроме того, необходимо применять специальные меры для устранения вибраций якоря, которые вызваны тем, что электромеханическое усилие проходит через нуль дважды за период питающего напряжения. Вибрация якоря — нежелательное явление, так как может привести к обгоранию контактов и разрыву управляемой цепи. Для уменьшения вибраций применяют утяжеленный якорь двухфазного реле или экран из одного или нескольких витков медной проволоки (короткозамкнутый виток).

На рис. 15.6, *а* показана конструкция реле переменного тока с короткозамкнутым витком, или реле с «раздвоенным» полюсом. Один конец сердечника реле *1* расщеплен на две части, причем на одну часть надет короткозамкнутый виток *3*, выполняющий роль экрана. При подаче переменного питающего напряжения на обмотку реле *4* по сердечнику проходит переменный магнитный поток Ф, который у конца сердечника разветвляется. Часть магнитного потока $Ф_1$ проходит через неэкранированную половину конца сердечника, а другая часть магнитного потока $Ф_2$ проходит через экранированную половину конца сердечника. Магнитный поток $Ф_2$ наводит в короткозамкнутом витке ЭДС, создающую ток, который в свою очередь вызывает магнитный поток $Ф_3$, направленный на-

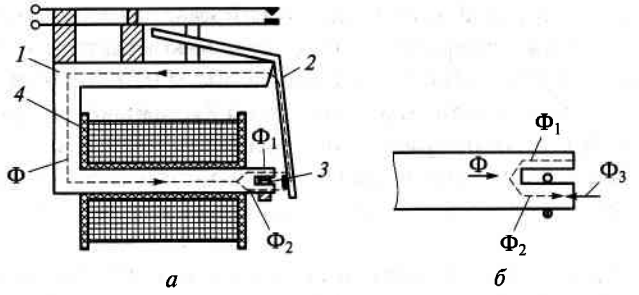


Рис. 15.6. Реле переменного тока:
а — конструкция реле; *б* — схема магнитных потоков в сердечнике

встречу потоку Φ_2 (рис. 15.6, *б*). В результате поток Φ_2 отстает по фазе относительно потока Φ_1 на угол 60...80 °. Поэтому суммарное электромеханическое усилие $F_{эм}$ при подаче на обмотку питающего напряжения никогда не равно нулю, так как оба потока (Φ_1 и Φ_2) проходят через нуль в разные моменты времени, т. е. когда один из потоков (Φ_1) проходит через нуль, другой (Φ_2) имеет определенное значение и удерживает якорь *2* (см. рис. 15.6, *а*) в притянутом положении.

Контакторы и магнитные пускатели. ***Контакторы*** являются электромагнитными реле, которые имеют мощную контактную систему и предназначены для коммутации рабочих цепей электродвигателей.

Контакторы подразделяют на контакторы постоянного тока и контакторы переменного тока. *Контакторы постоянного тока* служат для коммутации цепей постоянного тока, на их обмотку подается постоянный ток напряжением 110 или 200 В. Контакторы постоянного тока имеют один или два главных контакта и до пяти блок-контактов, служащих для коммутации вспомогательных цепей, цепей сигнализации и др.

Контакторы переменного тока служат для коммутации цепей переменного тока, на их обмотку подается переменный ток промышленной частоты напряжением до 500 В. Число главных контактов 1...5, кроме них имеются также маломощные блок-контакты, предназначенные для самоблокировки, коммутации дополнительных цепей и др.

На рис. 15.7 приведена схема устройства трехполюсного контактора переменного тока, предназначенного для управления трехфазным двигателем. При замыкании кнопочного выключателя «Пуск» на обмотку *3* электромагнита поступает напряжение от сети переменного тока. За счет электромагнитного усилия якорь *4* притягивается к сердечнику *2* и изолированный квадратный валик *9* поворачивается. При этом рабочие подвижные контакты *1* и *8* замыкаются, включая двигатель *6*. Вместе с валиком *9* поворачивается мостик *8*, размыкая нижние блок-контакты *7* и замыкая верхние блок-контакты *10*. Они блокируют кнопочный выключатель «Пуск», т. е. напряжение от сети переменного тока подается через них на обмотку *3*, минуя кнопочный выключатель «Пуск», и он может быть отпущен.

При нажатии на кнопочный выключатель «Стоп» разрывается цепь питания обмотки *3*, якорь *4* под действием пружины отходит от сердечника *2*, валик *9* и мостик *8* возвращаются в исходное положение и рабочие контакты *1* и *5* размыкаются, отключая двигатель *6*.

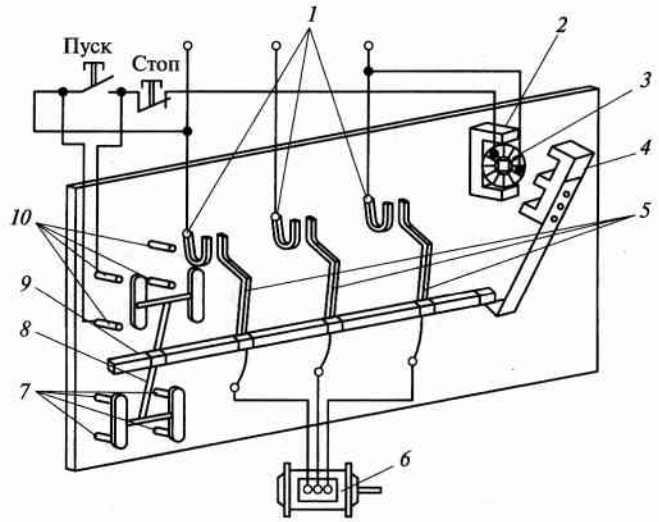


Рис. 15.7. Схема трехполюсного контактора переменного тока

Магнитные пускатели представляют собой контакторы, которые служат для дистанционного управления трехфазными асинхронными двигателями. Их разделяют на два вида — нереверсивные и реверсивные. Для защиты двигателей от перегрева в магнитных пускателях установлены тепловые реле, допускающие протекание больших кратковременных пусковых токов в двигателях, но размыкающие цепь питания двигателей при длительных перегрузках. Для защиты двигателей от токов короткого замыкания установлены плавкие предохранители.

Нереверсивные магнитные пускатели содержат один контактор для запуска двигателя и обеспечения его работы.

На рис. 15.8 приведена электрическая схема *реверсивного магнитного пускателя*, который содержит два контактора. Один контактор предназначен для включения двигателя и поддержание вращения его вала, например, по часовой стрелке, а второй служит для включения двигателя и поддержания вращения его вала против часовой стрелки.

Схема состоит из двух частей: силовой и управляющей. Силовая часть включает двигатель *2*, два тепловых реле 1РТ и 2РТ, две группы рабочих контактов: $1РК_1$, $1РК_2$, $1РК_3$ — контакты первого контактора, $2РК_1$, $2РК_2$, $2РК_3$ — контакты второго контактора и плавкие предохранители *1*.

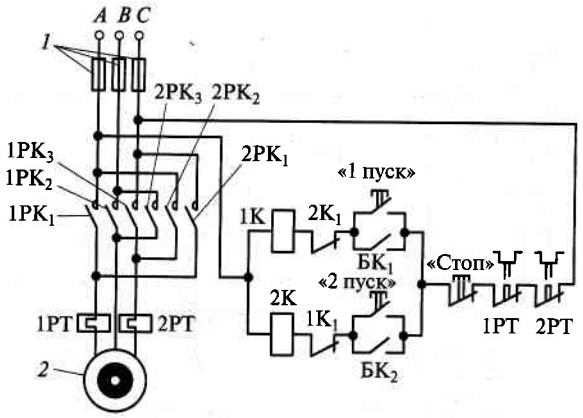


Рис. 15.8. Электрическая схема реверсивного магнитного пускателя

Управляющая часть включает в себя обмотку 1К первого контактора и обмотку 2К второго контактора, кнопочные выключатели «1 пуск» и «2 пуск», блок-контакты контакторов $БК_1$ и $БК_2$, кнопочный выключатель «Стоп» и контакты 1РТ, 2РТ тепловых реле. При пуске управляющая часть работает следующим образом. При подаче напряжения от сети и нажатии на кнопочный выключатель «1 пуск» по цепи фаза *А* — предохранитель *1* — обмотка контактора 1К — замкнутый контакт $2К_1$ контактора 2К — кнопочный выключатель «1 пуск» — кнопочный выключатель «Стоп» — замкнутые контакты 1РТ, 2РТ двух тепловых реле — предохранитель *1* — фаза *С* потечет ток. Контактор 1К срабатывает, и его рабочие контакты $1РК_1$, $1РК_2$, $1РК_3$ замыкаются, а размыкающий контакт $1К_1$ размыкается, и двигатель *2* подключается к сети питания. При замыкании блок-контакта $БК_1$ кнопочный выключатель «1 пуск» может быть отпущен, так как он блокируется этим блок-контактом. Двигатель останавливается нажатием на кнопочный выключатель «Стоп». При этом ток в цепи исчезает, якорь контактора отпадает, размыкая рабочие контакты $1РК_1$, $1РК_2$, $1РК_3$, блок-контакт $БК_1$ и замыкая контакт $1К_1$. Двигатель запускается кнопочным выключателем «2 пуск». В этом случае двигатель подключается к сети питания с помощью рабочих контактов $2РК_1$, $2РК_2$, $2РК_3$ контактора 2К. Кнопочный выключатель «2 пуск» блокируется за счет замыкания блок-контакта $БК_2$ контактора 2К. Контакты $1К_1$ и $2К_1$ обеспечивают исключение одновременного включения контакторов 1К и 2К, что вызвало бы короткое замыкание в сети переменного тока.

При нормальной нагрузке на двигатель контакты тепловых реле 1РТ, 2РТ замкнуты. При перегрузке двигателя тепловые реле срабатывают, размыкая свои контакты 1РТ, 2РТ. В результате разрывается цепь питания обмоток контакторов 1К и 2К, рабочие контакты соответствующего контактора размыкаются и двигатель останавливается.

Усилители. В схемах автоматических регуляторов для управления электрическими двигателями исполнительных механизмов применяют различные по исполнению усилители. Они предназначены для усиления слабых сигналов, поступающих от первичных преобразователей, до величины, достаточной для управления электродвигателями.

На рис. 15.9 приведена принципиальная схема тиристорного бесконтактного усилителя.

Усилитель выполнен на базе тиристоров $Т_1$, $Т_2$ и трансформаторов $Тр_1$, $Тр_2$. Первичная обмотка трансформатора $Тр_2$ включается в сеть с напряжением 220 В, а две вторичные обмотки через ключи,

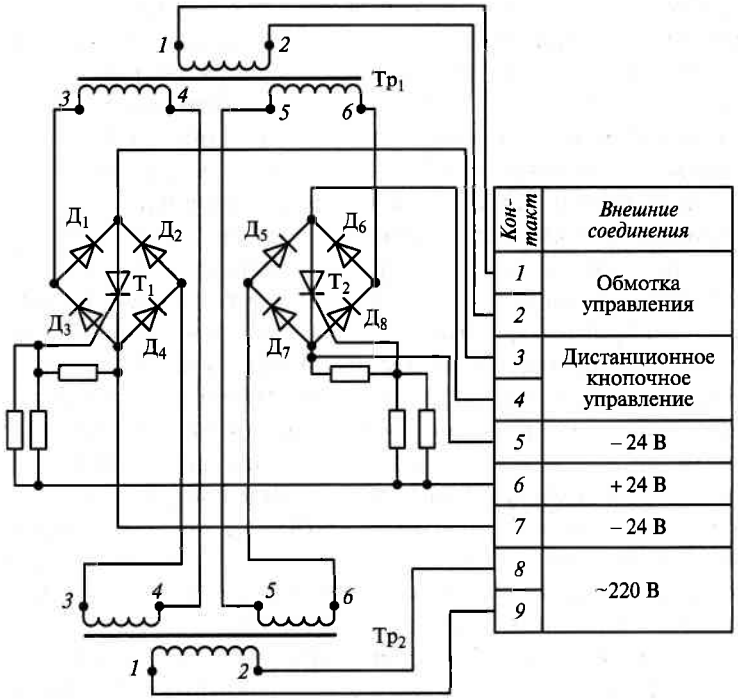


Рис. 15.9. Схема тиристорного бесконтактного усилителя

выполненные на тиристорах T_1 и T_2, подключены к первичным обмоткам трансформатора Тр1.

Когда тиристоры закрыты, напряжение к первичным обмоткам $Тр_1$ не подается.

При поступлении входного сигнала на клеммы *6* и *7* тиристор T_1 отпирается и соответствующая обмотка трансформатора $Тр_1$ получает питание. На вторичной обмотке $Тр_1$ появляется напряжение, которое питает обмотки управления исполнительного двигателя (клеммы *1* и *2*). При поступлении входного сигнала на клеммы *5* и *6* отпирается тиристор T_2. На выходе трансформатора $ТР_1$ меняется фаза напряжения на 180 ° и двигатель реверсируется. Чтобы исключить появление обратного напряжения на тиристорах, последние включают в диагональ вентильных мостов $Д_1—Д_4$ и $Д_5—Д_8$.

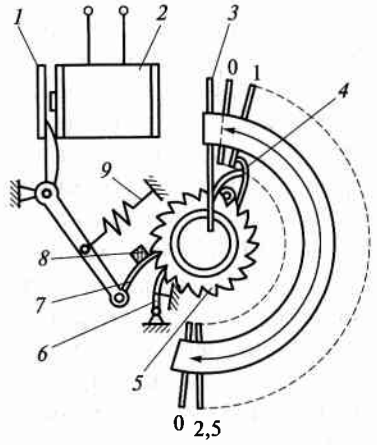
Дистанционно кнопками механизмы управляются путем шунтирования соответствующего тиристора с помощью кнопки управления. С этой целью аноды тиристоров выведены на клеммы *3* и *4*. Соединение клемм *3* и *7* или *4* и *5* вызывает вращение вала двигателя в нужном направлении.

При дистанционном кнопочном управлении цепь автоматической работы (клеммы *5* и *7*) должна быть отключена.

Командные устройства. Они предназначены для последовательного подключения цепей управления или для регулирования во времени последовательности и продолжительности отдельных операций, составляющих цикл технологического процесса. К командным устройствам относятся шаговый искатель, командный электропневматический прибор, программное реле времени и др.

Шаговый искатель (распределитель) является наиболее простым и распространенным устройством такого назначения. По принципу действия шаговые искатели подразделяют на два вида: обратного и прямого действия. На рис. 15.10 показана упрощенная схема конструкции *шагового искателя обратного действия*, работа которого заключается в следующем. Щетки *4* по неподвижным контактам *3* перемещаются за счет возвратной пружины *9*. Пружина обладает достаточной упругостью для создания усилия, которое необходимо для передвижения щетки. При поступлении управляющего сигнала на обмотку электромагнита *2* якорь *1*, преодолевая действие возвратной пружины *9*, притягивается и собачка *7* скользит по зубцам храпового колеса *5*, не входя с ним в зацепление. При этом в пружине *9* накапливается энергия. При снятии управляющего сигнала пружина *9*, перемещая собачку *7*, поворачивает благодаря упору *8* храповое колесо *5* на один зубец. Щетка *4* переходит на неподвижный контакт *3*, переключая последующую управляемую

Рис. 15.10. Схема шагового искателя



цепь. В момент притяжения якоря храповое колесо *5* и щетка *4* удерживаются стопорной собачкой *6*.

В шаговом искателе обратного действия переключение управляемой цепи происходит в начале паузы (после снятия управляющего сигнала). В *шаговом искателе прямого действия* управляемая цепь переключается в начале подачи управляющего сигнала, т. е. щетка *4* передвигается в тот момент, когда якорь *1* притягивается к сердечнику электромагнита

Командный электропневматический прибор КЭП-12У предназначен для регулирования во времени и продолжительности операций по заданной программе посредством быстродействующего включения и выключения до 12 электрических и пневматических

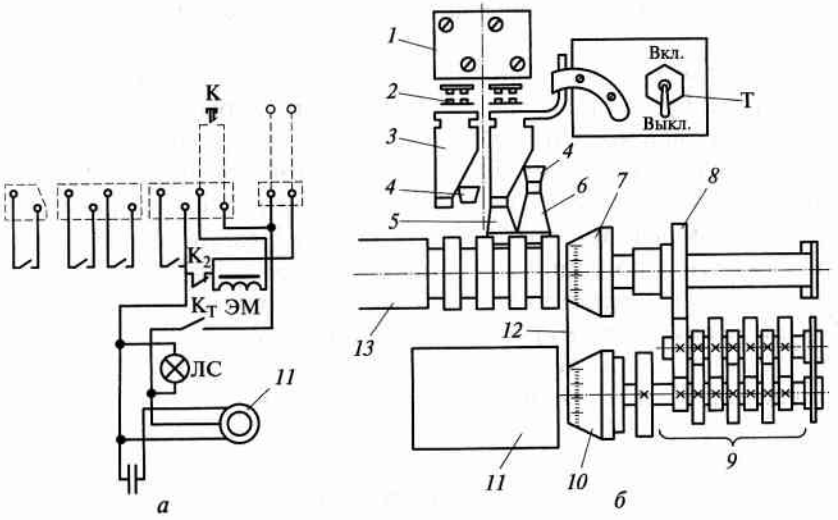


Рис. 15.11. Схемы командного электропневматического прибора КЭП-12У:

а — электрическая; *б* — кинематическая

цепей. На рис. 15.11, *а* приведена принципиальная электрическая схема прибора. Прибор включается тумблером Т, при этом зажигается сигнальная лампочка ЛС. Возможен дистанционный запуск прибора, когда с помощью кнопки К замыкается цепь электромагнита ЭМ, воздействующего на блокировочный контакт пуска $К_2$. При этом тумблер Т должен быть предварительно отключен. Кинематическая схема прибора (рис. 15.11, *б*) включает следующие элементы: синхронный двигатель *11* и редуктор с постоянным передаточным числом, храповой расщепляющий механизм и четырехступенчатую коробку скоростей *9* (*8* — скользящая шестерня коробки скоростей), распределительный вал *13*. На распределительном валу расположены кулачки, которые сбрасывают и возводят защелки *3* быстродействующих путевых выключателей, укрепленных на колодке. Причем левый кулачок *5* сбрасывает защелку, а правый *6* возводит ее с помощью пластины *4*. В зависимости от типа прибора путевые выключатели воздействуют на электрические контакты *2* или на поршни пневматических золотников, которые подсоединены к соединительной колодке *1*. Продолжительность цикла работы прибора соответствует времени одного оборота и выбирается по таблицам распределительного вала. Прибор настраивается согласно заданной продолжительности цикла и продолжительности каждой операции. Эти данные дают возможность по таблице, приложенной к инструкции на прибор, выбрать передаточное отношение шестерен коробки скоростей, обеспечивающее продолжительность цикла, которое устанавливается в приборе с помощью колокола *10* и скользящей шестерни *8*. Время срабатывания настраивают перестановкой кулачков в пазах распределительного вала при определенном положении шкалы *7*, которое соответствует продолжительности данной операции и устанавливается с помощью указателя *12*. Количество кулачков в каждом пазе должно быть не более четырех. Диапазон продолжительности одного цикла 3 мин ... 18 ч, общее число различных рабочих циклов (скоростей вала) 126, точность времени цикла ±2,5 %.

Программное реле времени предназначено для автоматического управления двумя независимыми электрическими цепями путем замыкания и размыкания этих цепей по суточным программам. Программы задаются установкой штифтов в соответствующие резьбовые отверстия программного диска. Реле времени представляет собой электромеханический прибор с приводом от часового механизма.

Принцип работы реле времени заключается в том, что суточная ось часового механизма приводит во вращение программный диск, который управляет переключателем электрических контактов. Реле

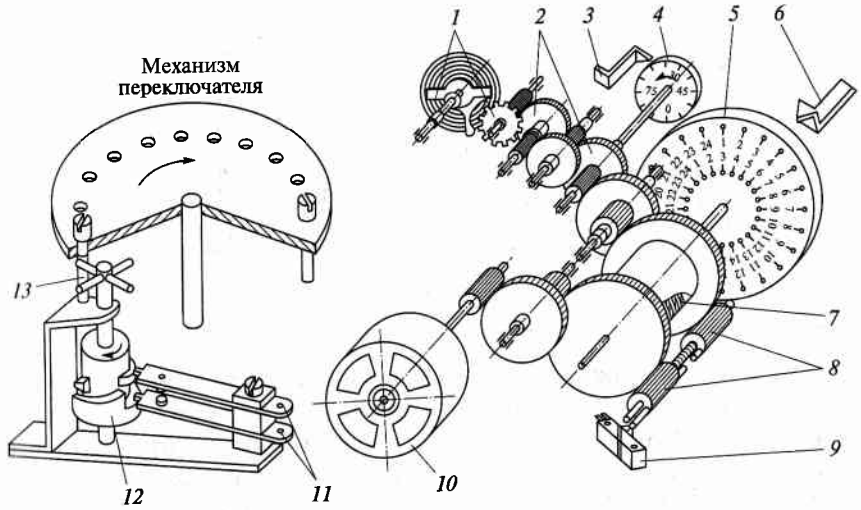


Рис. 15.12. Кинематическая схема программного реле времени

времени устанавливают в системах автоматизации непрерывных технологических процессов. На рис. 15.12 приведена кинематическая схема реле времени, которое включает в себя следующие элементы: часовой регулятор *1*, зубчатые передачи *2*, индекс минут *3*, шкалу минут *4*, программный диск *5*, индекс часов *6*, пружину часового механизма *7*, винтовой дифференциальный механизм включения электродвигателя для подзавода пружины *5*, микропереключатель *9*, микродвигатель *10*, контактные пружины *7*, поворотный кулачковый механизм *12*, штифт для программирования *13*. Реле времени питается от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Продолжительность цикла программ 24 ч, минимальная продолжительность команд или пауз 30 мин.

Устройства питания. Для стабилизированного источника питания регулирующих электронных приборов применяется стабилизатор напряжения электромагнитный типа С-0,16. Он обеспечивает питание приборов переменным током напряжением (220±2) В.

Для питания логометров используется стабилизированный источник питания (СИП), представляющий собой схему из понижающего трансформатора (220/4) В и мостикового выпрямителя, преобразующего переменный ток в постоянный.

Измерительные схемы приборов запитываются от электронных усилителей, которые имеют встроенные понижающие трансформаторы напряжения.

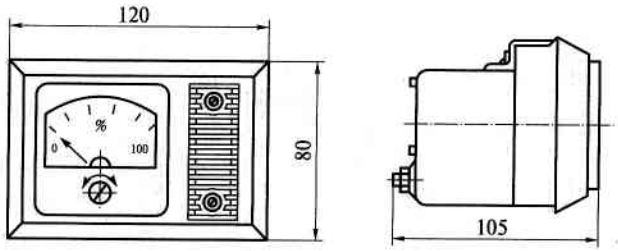


Рис. 15.13. Указатель положения рабочего органа

Указатели положения рабочего органа и сигнальная аппаратура. Для определения положения регулирующего рабочего органа на щите (пульте) оператора служат указатели положения рабочего органа. Они представляют собой показывающий стрелочный прибор — миллиамперметр со шкалой, градуированной в процентах хода рабочего органа. Внешний вид прибора показан на рис. 15.13.

Для сигнализации предельных значений технологических параметров, включения и отключения электродвигателей и исполнительных механизмов используют световую и звуковую сигнализацию. Звуковая сигнализация применяется при возникновении аварийных ситуаций в объекте управления.

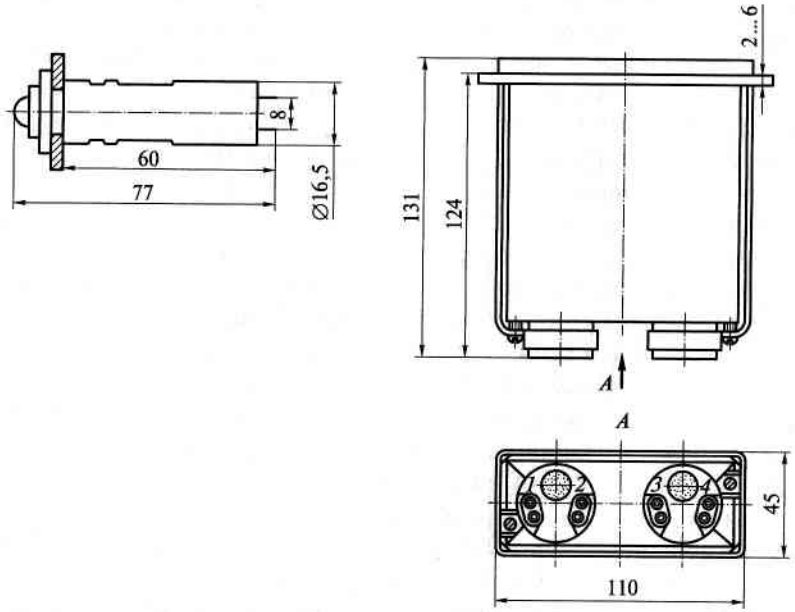


Рис. 15.14. Устройства световой сигнализации:
а — сигнальная лампа; *б* — световое табло

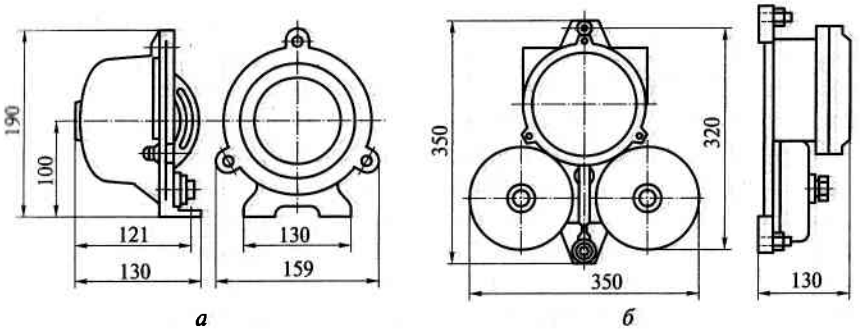


Рис. 15.15. Устройства звуковой сигнализации:
в — сирена; *б* — звонок громкого боя

Световая сигнализация выполняется на основе сигнальных ламп (рис. 15.14, *а*) или светового табло, включающего в себя две лампы (рис. 15.14, *б*).

Для звуковой сигнализации используются сирены (рис. 15.15, *а*) и звонки громкого боя (рис. 15.15, *б*).

15.2. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Для обеспечения надежности работы пневматических систем автоматизации применяют вспомогательные устройства, обеспечивающие требования к качеству воздуха, — фильтры, редукторы давления, усилители, выключающие реле, пневмотумблеры, пневмокнопки.

Фильтр служит для очистки сжатого воздуха от пыли, влаги и масла. В пневмоавтоматических системах применяют исключительно сухие пористые фильтры, в которых в качестве фильтрующего материала используется ткань марки ФПП. Устройство фильтра показано на рис. 15.16, *а*. Воздух, поступающий через штуцер *3* во внутреннюю полость корпуса *5* фильтра, снижает свою скорость, частицы пыли и влаги оседают на дно корпуса. Затем воздух проходит через фильтрующие прокладки *2*, между которыми проложены металлические сетки, очищается дополнительно и выходит через

штуцер *1* к редуктору. Вентиль *4* служит для спуска выделяющейся влаги. Фильтр рассчитан на максимальное статическое давление воздуха 980 кПа. Направление потока воздуха указывает стрелка, изображенная на корпусе фильтра.

Редуктор давления воздуха (рис. 15.16, *б*) служит для регулирования и стабилизации давления сжатого воздуха и представляет собой мембранный регулятор прямого действия. Редуктор может быть настроен на поддержание выходного давления в пределах 49...245 кПа. Принцип работы редуктора заключается в следующем. Воздух от фильтра поступает через штуцер *4* в камеру редуктора *10*. В камере размещена втулка *8*, в верхней части которой запрессовано сопло *5*. По оси сопла проходит шток золотника *6*, образуя кольцевую щель для прохождения воздуха. Свободный конец штока жестко соединен с мембраной *3*. В верхнем торце золотника установлен вкладыш *9*, снизу золотник поджимается пружиной *7*, закрывая сопло. Величина регулируемого давления на выходе штуцера *11* зависит от степени открытия сопла, которая устанавливается регулировочным винтом *1*. При вращении его сжимается пружина *2* и прогибает резиновую мембрану *3*, которая через шток отводит золотник *6* от сопла *5*. Таким образом, устанавливается определенное давление в полости камеры *12*. При снижении давления воздуха в пневмопроводе резиновая мембрана *3* прогибается вниз под действием пружины *2* и происходит дополнительная подача воздуха, напором которого давление в полости камеры *12* и на выходе штуцера *11* доводится до заданного значения.

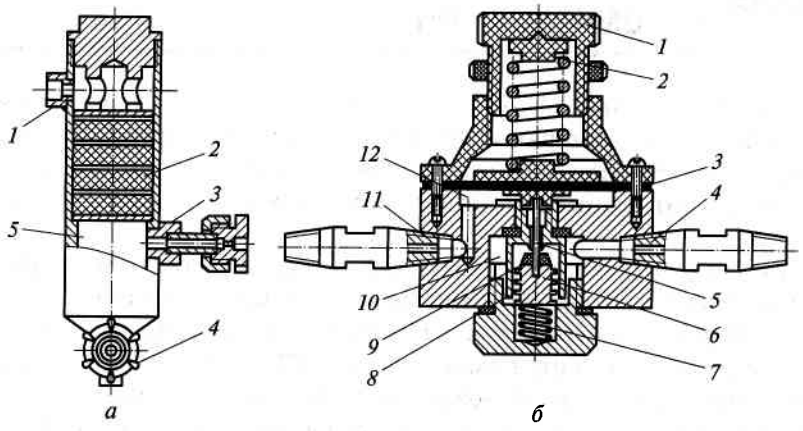


Рис. 15.16. Пневмоустройства для подготовки сжатого воздуха:
а — фильтр; *б* — редуктор давления

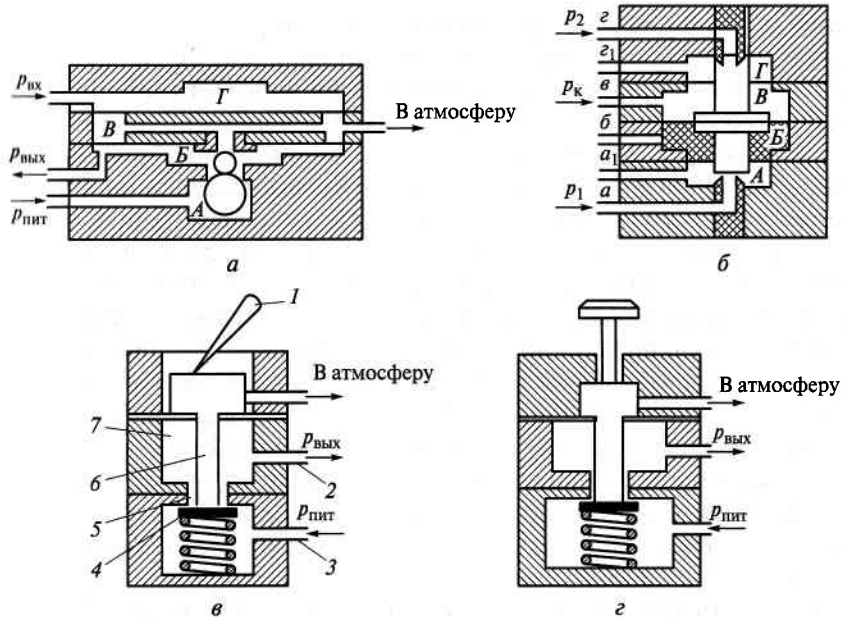


Рис. 15.17. Пневмоустройства управления сжатым воздухом:
в — усилитель мощности; *б* — реле давления; *в* — пневмотумблер; *г* — пневмокнопка

Усилитель (рис. 15.17, *а*) служит для усиления пневматического сигнала по мощности. Входной сигнал подается в глухую камеру *Г* и действует на мембранный блок. Сжатый воздух из магистрали питания подается в камеру *А*. Затем через большой шариковый клапан он попадает в проточную камеру *Б* и далее на выход. Избыток воздуха сбрасывается через второй (малый) шариковый клапан в камеру *В*, соединенную с атмосферой. Если давление на входе и выходе усилителя равно, то мембранный блок находится в равновесии, большой шариковый клапан прикрывает поступление воздуха из линии питания в камеру *Б*, а малый клапан, наоборот, открывается, увеличивая сброс воздуха.

При увеличении давления на выходе $p_{вых} > p_{вх}$ мембранный блок переместится вверх. При этом большой шариковый клапан прикроет поступление воздуха из линии питания в камеру *Б*, а малый клапан открывается, увеличивая сброс воздуха в атмосферу. В резуль-

тате давление на выходе уменьшается. При $p_{вых} < p_{вх}$ в усилителе происходят обратные процессы. Усилитель обеспечивает усиление пневматического сигнала по мощности до величины, необходимой для передачи его на расстояние до 300 м.

Выключающее реле (рис. 15.17, *б*) служит для отключения или переключения линий связи в системах пневмоавтоматики. Реле состоит из четырех камер, которые разделены мембранами из прорезиненной ткани, соединенными по центру металлическим штоком. Торцы штока выполняют функции заслонок по отношению к соплам, через которые пневмосигналы поступают в проточные камеры *А* и *Г*. В камеру *Б* подается постоянное давление «подпора», которое благодаря разности между площадями верхней и нижней мембран, ограничивающих эту камеру, перемещает мембранный блок в крайнее верхнее положение. При этом верхнее сопло закрыто, а нижнее открыто и воздух, поступающий по каналу *а* в камеру *А*, беспрепятственно проходит на выход реле по каналу $а_1$. Если в камеру *В* подается по каналу *в* командный сигнал $p_к$, больший по величине, чем давление «подпора», подаваемое по каналу *б*, то мембранный блок переместится в крайнее нижнее положение и закроет сопло в камере *А*, открыв одновременно сопло в камере *Г*. При этом сигнал, поступающий по каналу *а* в камеру *А*, будет отключен, а сигнал, поступающий по каналу *г* в камеру *Г*, пройдет на выход реле по каналу $г_1$. Проходные сечения каналов $а_1$ и $г_1$ больше, чем у остальных.

Пневмотумблер (рис. 15.17, *в*) предназначен для ручной подачи командных сигналов в схемах пневмоавтоматики и для дистанционного управления исполнительными механизмами, работающими в дискретном режиме. Пневмотумблер представляет собой пневмоконтакт, образованный соплом *5* с подпружиненной заслонкой *4* и толкателем *6*, заключенным в камеру *7*. Давление питания схемы подводится через штуцер *3* и выводится через штуцер *2*. В положении, показанном на рис. 15.17, *в* тумблер закрыт — давление питания в схему не подается. При нажатии на рычаг *1* тумблера толкатель отжимает заслонку от сопла (пневмоконтакт открывается), пропуская давление питания в схему через штуцер *6* и штуцер *7* на выходе. При обратном переводе рычага тумблера заслонка под действием пружины перемещается вверх и закрывает сопло — контакт закрывается. Толкатель отходит вверх, а сжатый воздух из камеры по отверстиям в толкателе выходит в атмосферу.

Пневмокнопка (рис. 15.17, *г*) предназначена для кратковременной подачи давления питания в схему. Пневмокнопка также представляет пневмоконтакт типа сопло — заслонка. Действие устройства аналогично действию пневмотумблера. Различие заключается только в том, что при нажатии на кнопку пневмоконтакт открывается и пропускает питание в схему, а при отпускании кнопки контакт сразу же закрывается, прекращая подачу питания. Пневмокнопка предназначена как для монтажа на щите, так и на плате.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем отличие кнопки управления от кнопочной станции? **2.** Чем отличаются нейтральные реле постоянного тока от поляризованных? **3.** Какую роль выполняет сердечник в реле с поворотным якорем и в реле с втяжным якорем? **4.** Какой элемент конструкции отсутствует в герконах по сравнению с якорными реле? **5.** В чем отличие конструкции реле переменного тока по сравнению с реле постоянного тока? **6.** Почему довольно широко применяют реле переменного тока? **7.** Какие дополнительные устройства имеют магнитные пускатели, по сравнению с контакторами? **8.** В шаговом искателе применяется храповое колесо. Чем оно отличается от обычного зубчатого колеса? Для чего служит в храповом колесе «собачка»? **9.** Каким числом технологических операций можно управлять при дистанционном управлении с помощью прибора КЭП-12У, имеющего 12 управляющих контактов? **10.** Для чего служит редуктор давления? **11.** Изменяет ли величину входного и выходного давления сжатого воздуха усилитель мощности? **12.** Для чего служит реле давления? **13.** Чем различаются по назначению пневмотумблер и пневмокнопка?

IV РАЗДЕЛ

МОНТАЖ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Глава 16. Монтаж первичных преобразователей (датчиков) и приборов, установленных «по месту»

Глава 17. Монтаж приборовна щитах и пультах управления

Глава 16

МОНТАЖ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ (ДАТЧИКОВ) И ПРИБОРОВ, УСТАНОВЛЕННЫХ «ПО МЕСТУ»

16.1. МОНТАЖ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

При установке датчиков и приборов на технологическом оборудовании и трубопроводах («по месту») следует соблюдать определенные требования их монтажа. Они обеспечивают необходимую точность восприятия технологических параметров и длительность эксплуатации технических средств.

Измерение температуры связано с процессом теплообмена между контролируемой средой и чувствительным элементом первичного преобразователя (датчика). В связи с этим при монтаже первичных преобразователей температуры необходимо обеспечить условия наилучшей конвекционной теплопередачи, уменьшение утечки тепла от чувствительного элемента через арматуру и защиту его от лучистого теплообмена. Соблюдая эти требования, при измерении температуры контролируемой среды датчик следует погружать на такую глубину, чтобы чувствительный элемент его располагался в центре потока и был полностью погружен в него (рис. 16.1). Ось защитной арматуры датчика всегда должна быть направлена навстречу потоку. При измерении температуры в трубопроводе малого диаметра датчик устанавливается наклонно (рис. 16.1, *а*) или в колене (рис. 16.1, *в*) трубопровода.

При монтаже манометрических термометров дополнительно необходимо учитывать следующее правило. Термобаллон следует устанавливать в защитном чехле (гильзе). При измерении температуры неподвижных или движущихся с малыми скоростями сред возможна установка термобаллона без чехла. Соединительный капилляр термометра нельзя изгибать под острым углом как по длине, так и в местах присоединения его к термобаллону и измерительному прибору; излишки капилляра следует свертывать в бухту вбли-

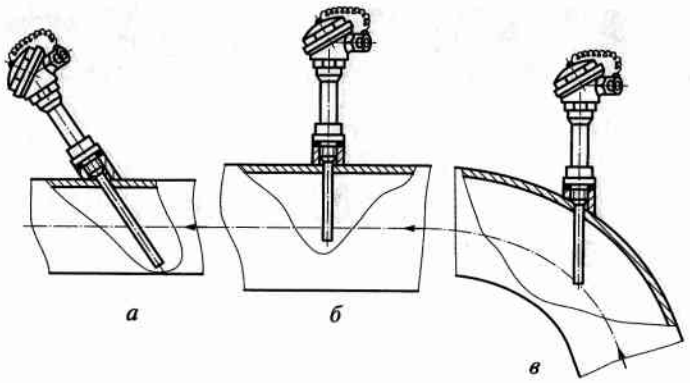


Рис. 16.1. Монтаж датчиков температуры на трубопроводе:
а, в — малого диаметра; *б* — большого диаметра

зи измерительного прибора. Для защиты капилляра от механических повреждений по всей длине прокладки необходимо закрывать его стальным уголком или прорезанной газовой трубой. Во избежание дополнительной температурной погрешности нельзя прокладывать капилляр в местах с высокой температурой.

При монтаже термопреобразователей сопротивления и термоэлектрических преобразователей рабочий спай ТЭП и среднюю точку чувствительного элемента ТС необходимо располагать в центре контролируемого потока.

16.2. МОНТАЖ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И РАЗРЕЖЕНИЯ

Манометры. При выборе типа манометра необходимо учитывать физико-химические свойства контролируемой среды, требуемую точность измерений, максимально допустимое давление и пределы колебаний его. Допустимое рабочее давление не должно превышать $^3/_4$ верхнего предела шкалы — для пружинных манометров и $^4/_5$ — для непружинных. Устройство отбора давления следует устанавливать на горизонтальном участке трубопровода на расстоянии (10...15) d от местных сопротивлений (колен, тройников, рабочих органов; d — внутренний диаметр трубопровода, мм).

При измерении давления газа, воздуха или пара в горизонтальных и наклонных трубопроводах прибор устанавливают в области,

лежащей выше оси трубопровода, при измерении давления жидкостей — ниже оси трубопровода. Импульсные линии, соединяющие отборное устройство с манометром, в случаях измерения давления пара или газа прокладывают с уклоном в сторону отбора давления, этим исключается возможность образования жидкостных пробок внутри трубок. При измерении давления жидкости уклон для предотвращения образования воздушных и газовых пробок делается в сторону манометра.

Для защиты чувствительных элементов манометров (пружин, мембран) от воздействия высоких температур при измерении давления на тепловых объектах перед манометром на соединительной линии устанавливают кольцевую или U-образную сифонную трубку, которая образует гидравлический затвор из остывшей жидкости.

Перед манометром обязательно устанавливают трехходовой кран, с помощью которого манометр плавно подключают к измеряемому объекту, проверяют нулевую точку и проверяют показания манометра (подключается контрольный прибор), продувают импульсные линии. Для установки трехходового крана в требуемое положение на нем сделаны риски (прорези), указывающие расположение и направление каналов. Манометр *1* (рис. 16.2, *а*) ввинчивается штуцером в трехходовой кран *2*, который соединен с кольцевой сифонной трубкой *3*, приваренной к стенке трубопровода *4*. Длина импульсных линий должна быть не более 30 м при измерении давлений до $9{,}8 \cdot 10^2$ Па и не более 50 м при измерении давления, превышающего это значение.

Внутренний диаметр соединительных трубок может быть 10...12 мм в зависимости от длины линии.

При установке вакуумметров и мановакуумметров точку отбора импульсов выбирают таким образом, чтобы на показаниях прибора не отражалось влияние динамического напора движущейся среды. При установке вакуумметров и мановакуумметров все места соединений труб и запорной арматуры тщательно уплотняют.

В процессе эксплуатации манометры, вакуумметры, мано-вакуумметры периодически подвергают поверке. Манометры, пружинные вакуумметры поверяют, сравнивая их показания с образцовыми пружинными манометрами и вакуумметрами соответственно. Кроме того, манометры поверяют с помощью грузопоршневого манометра, а вакуумметры — ртутным вакуумметром. Мановакуумметры поверяют так же, как манометры, а вукуумметрическая часть шкалы испытывается при барометрическом давлении около 0,044 МПа.

При измерении давления или разрежения пищевых скоропортящихся продуктов, агрессивных кристаллизующих сред, а также сред,

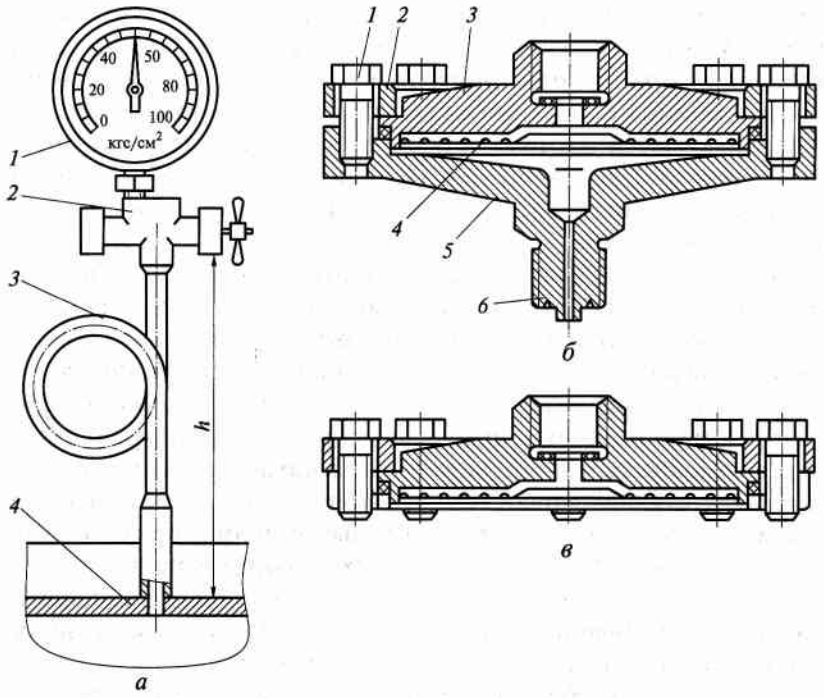


Рис. 16.2. Схема монтажа манометра на трубопроводе:
а — общий вид; *б*, *в* — мембранные разделители

выделяющих осадки или несущих взвешенные твердые частицы, используют манометры или вакуумметры в сочетании с ***мембранными разделителями***. Разделитель предназначен для предохранения внутренней полости чувствительного элемента прибора от попадания в нее измеряемой среды. Действие разделителя основано на использовании деформации упругого чувствительного элемента при воздействии на него измеряемого давления (разрежения). Упругим элементом разделителя служит мембрана, прогибающаяся пропорционально измеряемому давлению (разрежению) и передающая его упругому элементу прибора — манометрической трубчатой пружине. Свободный конец пружины перемещается пропорционально давлению (разрежению), подаваемому в ее внутреннюю полость.

Прибор ввертывается непосредственно в штуцер разделителя или соединяется с ним с помощью специального гибкого рукава при условии, что из-за повышенной температуры окружающего воздуха прибор по правилам эксплуатации будет установлен на некотором расстоянии от места измерения. Разделитель в этом случае устанавливают непосредственно в месте отбора давления. Внутреннее пространство разделителя и пружины прибора заполняют рабочей жидкостью (кремнийорганической), которая служит для передачи давления (разрежения) от мембраны разделителя к трубчатой пружине прибора.

Конструкции мембранных разделителей в зависимости от модели могут быть различными. Разделитель (рис. 16.2, *б*) представляет собой устройство, состоящее из верхнего *2* и нижнего *5* фланцев, между которыми размещен корпус *3* с приваренной к нему мембраной *4*. Фланцы скреплены болтами. Штуцер *6* с резьбой служит для установки манометра (вакуумметра) или подсоединения гибкого рукава. Разделитель (рис. 16.2, *в*) выполнен с открытой мембраной без нижнего фланца. Открытая мембрана исключает возможность скопления твердых частиц и искажения или прекращения передачи давления к чувствительному элементу прибора. Разделители применяют при измерении давления в пределах 0,025 ... 2,5 МПа (0,25 ... 25 кгс/см^2) и разрежения 0,025 ... 0,1 МПа (0,25 ... 1 кгс/см^2).

Тягонапоромеры. Показывающие тягонапоромеры, а также тягомеры и напоромеры устанавливают на щитах в помещениях с незначительной вибрацией. Место установки приборов должно обеспечивать удобство их обслуживания, расстояние от места отбора давления (разрежения) до прибора должно быть наименьшим, не более 30 м; они подключаются с помощью подсоединительных линий диаметром 10 — 15 мм.

Правильная работа приборов зависит от герметичности подсоединительных линий, которая периодически проверяется путем отключения их от отборного устройства. При этом, если стрелка указателя не будет перемещаться к нулю, то герметичность обеспечена.

16.3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

Счетчики количества. Счетчик устанавливают только на горизонтальных участках трубопровода циферблатом вверх, подводящий и отводящий участки трубопровода должны находиться на общей прямолинейной оси. Направление, указанное стрелкой на корпусе, должно совпадать с направлением потока воды в трубопроводе. Перед счетчиком устанавливается муфтовый пробковый кран соответствующего условного прохода, а за счетчиком — вентиль для регулирования расхода.

Прямой участок трубопровода до счетчика должен быть длиной не менее 10-кратного размера внутреннего диаметра трубы.

Расходомеры переменного перепада давления. Надежность и точность показаний расходомеров, работающих по принципу измерения перепада давления на сужающих устройствах, существенно зависят от правильности изготовления и монтажа этих устройств, а также импульсных линии и запорных вентилей.

При установке диафрагм особенно важно выдерживать нормы на длину прямого участка трубопровода. Для правильной работы расходомера прямой участок до диафрагмы должен составлять $(15...20)d$, а после диафрагмы — не менее $5d$. Непосредственно перед диафрагмой трубопровод должен быть совершенно гладким, без швов, выступающих прокладок, остатков от сварки, вмятин и других дефектов. Центр отверстия диафрагмы должен находиться точно на оси трубопровода. Цилиндрическая расточка острым краем должна быть направлена навстречу потоку измеряемой среды.

Отбор давления при больших диаметрах трубопроводов (свыше 0,4 м) рекомендуется делать из четырех точек с обеих сторон диафрагмы.

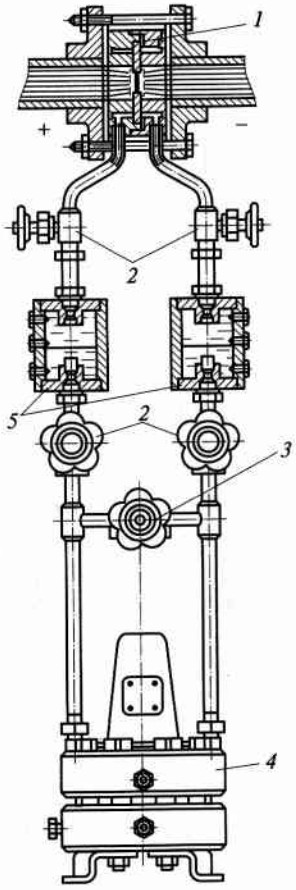
При измерении расхода пара необходимо обеспечить постоянство и равенство уровней конденсата в соединительных линиях. Конденсационные сосуды устанавливают в непосредственной близости от сужающего устройства, строго на одной высоте и горизонтально без перекосов.

Соединительные линии от диафрагмы к дифманометру расходомера испытывают на плотность. Диаметр соединительных трубок должен быть не менее 12 мм при длине от места забора не более 30... 40 м во избежание запаздывания показаний приборов. Изгибы трубок на поворотах должны быть плавными, с уклоном сверху вниз (во избежание воздушных пробок). Дифманометр *4* (рис. 16.3) обычно располагают ниже сужающего устройства. Если же по местным условиям необходимо установить дифманометр выше диафрагмы, то импульсные трубки должны быть выгнуты над дифманометром. В верхних точках изогнутой части трубок устраивают вентили *2* для выпуска воздуха из линии. Соединительные трубки между диафрагмой и уравнительными сосудами у паромеров покрывают тепловой изоляцией, чтобы не образовались пробки из конденсата пара.

При измерении расхода агрессивных и вязких жидкостей в соединительные линии врезают так называемые разделительные сосуды *5*, которые защищают механизм дифманометра от вредного воздействия измеряемой среды. Давление в этом случае передается с помощью предохранительной жидкости.

Рис. 16.3. Схема монтажа расходомера переменного перепада:

1 — диафрагма; 2 — запорные вентили; *3* — уравнительный (байпасный) вентиль; *4* — дифференциальный манометр; *5* — разделительные сосуды



Дифманометры всех видов устанавливают строго вертикально в местах, удобных для обслуживания.

Расходомеры постоянного перепада давления (ротаметры). Стеклянные ротаметры устанавливают в вертикальных участках трубопроводов, а металлические ротаметры с электрической или пневматической дистанционной передачей на местах изгиба трубопровода под углом 90°, причем входная часть прибора соединяется с вертикальной частью трубопровода.

В процессе эксплуатации ротаметров на внутренних частях могут скапливаться посторонние твердые частицы, которые вызывают ухудшение работы прибора. Поэтому ротаметры необходимо периодически продувать или промывать.

При установке ротаметров с электрическим или пневматическим выходными сигналами направление движения потока жидкости должно быть таким, чтобы она входила в вертикальный патрубок, а выходила из горизонтального. Обязательно должна быть смонтирована обводная линия. На рис. 16.4 показана схема установки ротаметра с пневматическим выходным сигналом. До и после ротаметра *1* и на обводной линии *3* устанавливают запорные вентили *2* и *4*.

Трубопровод до и после ротаметра должен быть надежно укреплен во избежание тряски и вибрации прибора. Ротаметр устанавливают по отвесу строго в вертикальном положении как можно дальше от побудителей расхода — поршневых и центробежных насосов. Эти требования вызваны тем, что при невертикальной установке ротаметра могут быть заклинивания штока или поплавка, а всевозможные толчки и вибрация могут быть причинами повреждения ро-

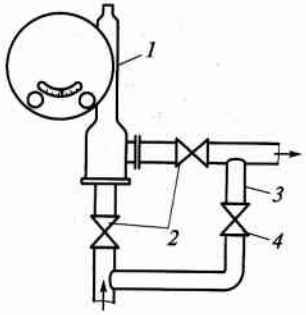


Рис. 16.4. Схема установки ротаметра с пневматическим выходным сигналом

таметрической части, которые приводят к возникновению дополнительных погрешностей или выходу прибора из строя.

Индукционные (электромагнитные) расходомеры. Преобразователь расхода индукционного расходомера может быть установлен на вертикальном, горизонтальном и наклонном трубопроводе при условии полного заполнения объема трубы измеряемой жидкостью.

Вертикальное расположение (жидкость подается вверх) преобразователя расхода (рис. 16.5, *а*) наиболее предпочтительно, поскольку наилучшим образом обеспечивает заполнение всего сечения трубопровода преобразователя расхода даже при малом расходе. Кроме того, уменьшается неравномерность износа покрытия трубопровода в том случае, если в жидкости присутствуют абразивные частицы. Преобразователь расхода нужно устанавливать вертикально при возможности выпадения осадка из измеряемой жидкости.

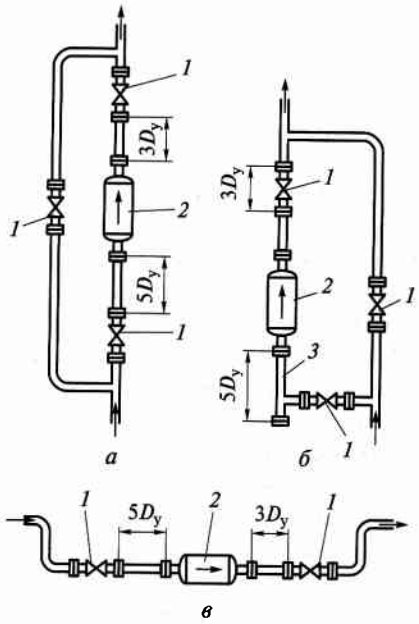


Рис. 16.5. Варианты монтажа индукционного расходомера:
а, б — на вертикальном участке трубопровода; *в* — на горизонтальном участке

Преобразователь расхода устанавливают в разрыве трубопровода и крепят к нему с помощью соединительной муфты. Условный диаметр преобразователя расхода должен быть равен диаметру трубопровода, прямолинейный участок трубопровода до преобразователя должен быть равен $5d$, после него — $3d$. Участок трубопровода, на котором монтируют преобразователь расхода *2*, снабжается запорными клапанами *1*, обводной трубой и тройником *3* (рис. 16.5, *б*). Такая установка позволяет периодически прочищать преобразователь расхода без снятия его с трубопровода и не прерывая технологический процесс.

При горизонтальной установке преобразователя расхода (рис. 16.5, *в*) необходимо размещать его на наиболее низкой отметке трубопровода. Это также обеспечивает полное заполнение сечения трубопровода преобразователя расхода.

Измерительный блок расходомера предназначен для утопленного щитового монтажа. Электрический монтаж осуществляется в соответствии со схемой внешних соединений с помощью штепсельных разъемов, расположенных на задней стенке измерительного блока.

16.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ

При монтаже датчиков уровня следует соблюдать следующие требования:

- датчики поплавковых сигнализаторов типа ПрУ-5 следует располагать строго вертикально;
- датчики кондуктометрических и емкостных сигнализаторов уровня устанавливают на стенках резервуара в горизонтальном положении, при этом необходимо исключить электрический контакт чувствительного элемента со стенкой резервуара;
- датчик емкостных индикаторов уровня монтируется на крышке резервуара в вертикальном положении.

Особые требования предъявляются к монтажу уровнемеров — дифманометров, правила которого зависят от типа резервуара. На рис. 16.6 приведены схемы монтажа уровнемеров для открытого и закрытого резервуаров. Основным их различием является подключение уравнительных сосудов. В открытых резервуарах они располагаются ниже уровня контролируемой жидкости, а в закрытых на-

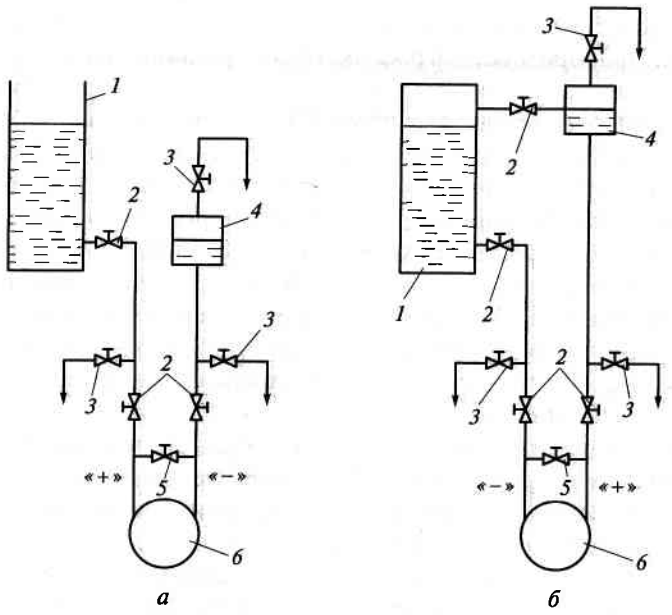


Рис. 16.6. Схема монтажа уровнемеров-дифманометров:

а — в открытом резервуаре; *б* — в закрытом резервуаре; *1* — резервуары; *2* — запорные вентили; *3* — продувочные вентили; *4* — уравнительные сосуды; *5* — уравнительные (байпасные) вентили; *6* — дифманометры

оборот. Соответственно изменяется порядок подключения «плюсовой» и «минусовой» камер дифманометра к резервуару.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каком месте потока среды должен располагаться чувствительный элемент термопреобразователя? **2.** Каким образом по отношению к потоку среды должна быть направлена ось термопреобразователя? **3.** Для чего служит сифонная трубка при установке манометров? **4.** Для чего внутреннюю полость мембранных разделителей заполняют кремнийорганической жидкостью (с низким коэффициентом температурного расширения)? **5.** Каким образом по отношению к направлению потока должно быть расположено острие кромки отверстия диафрагмы? **6.** В каких случаях в расходомерах переменного перепада давления следует применить разделительные сосуды? **7.** Для чего служит обводная линия при монтаже ротаметров? **8.** В чем особенность монтажа индукционных расходомеров на горизонтальных участках трубопровода? **9.** В чем различие монтажа уровнемеров-дифманометров для открытых и закрытых резервуаров?

Глава 17

МОНТАЖ ПРИБОРОВ НА ЩИТАХ И ПУЛЬТАХ УПРАВЛЕНИЯ

17.1. УСТРОЙСТВО И КОНСТРУКЦИЯ ЩИТОВ И ПУЛЬТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Щиты и пульты систем автоматизации предназначены для размещения на них средств контроля и управления технологическим процессом, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления и автоматического регулирования, защиты, блокировки, линий связи между ними (трубная и электрическая коммуникации) и др.

Щит управления (наблюдения) представляет собой вертикальную плоскостную (панельную) или объемную (шкафную) металлическую конструкцию (рис. 17.1) с установленными на ней техническими средствами автоматики, которые служат для визуального наблюдения, сигнализации, регистрации, суммирования параметров технологического процесса, с электрической (и трубной) провод-

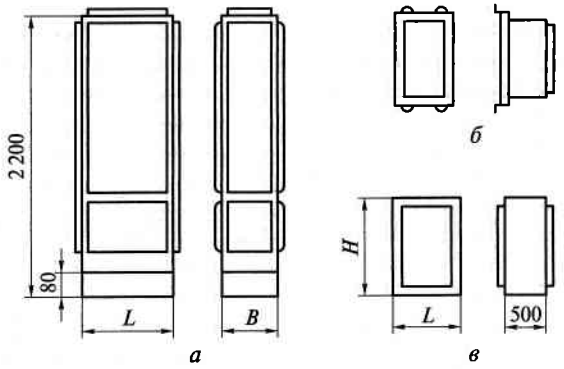


Рис. 17.1. Общий вид щитов шкафных полногабаритного (*а*) и малогабаритных (*б*, *в*)

Таблица 17.1. Габаритные размеры щитов

Тип щита	Высота *H*, мм,	Ширина, *L*, мм	Глубина, *B*, мм
Шкафный полногабаритный	2 200 2 200 2 200 2 200	1 200 1 000 800 600	1 200 1 000 1 000 1 200; 1 000; 800
Шкафный малогабаритный	600 400	400 300	500; 250 250

кой, подготовленной к подключению внешних цепей и приборов, устанавливаемых на объекте.

Шкафные щиты могут быть полно- и малогабаритными, иметь исполнение защищенное и защищенное с уплотнением. В условиях повышенной влажности на предприятиях пищевой промышленности все щиты, устанавливаемые непосредственно в технологических помещениях, следует применять с уплотнением, исключающим проникновение внутрь щита влаги.

Малогабаритные шкафные щиты применяются для размещения контрольно-измерительной аппаратуры и средств управления отдельными объектами управления.

Такие щиты крепят на стенах производственных помещений либо устанавливают непосредственно вблизи управляемых объектов на подставке, например на ножке, изготовленной из трубы.

В табл. 17.1 приведены размеры полно- и малогабаритных шкафных щитов.

Конструктивно шкафные щиты могут иметь различное расположение дверей, а также состоять из двух и более секций и обозначаться следующим образом.

С задней дверью ЩШ-3Д
То же, открытый с двух сторон ЩШ-3Д-О2
» открытый с правой стороны ЩШ-3Д-ОП
» открытый с левой стороны ЩШ-3Д-ОЛ
Двухсекционный ЩШ-2
То же, открытый с двух сторон ЩШ-2-О2
» открытый с правой стороны ЩШ-2-ОП
» открытый с левой стороны ЩШ-2-ОЛ
Трехсекционный ЩШ-3
То же, открытый с двух сторон ЩШ-3-О2
» открытый с правой стороны ЩШ-3-ОП
» открытый с левой стороны ЩШ-3-ОЛ
С передней и задней дверьми ..... ЩШ-ПЗД
Малогабаритный ..... ЩШМ

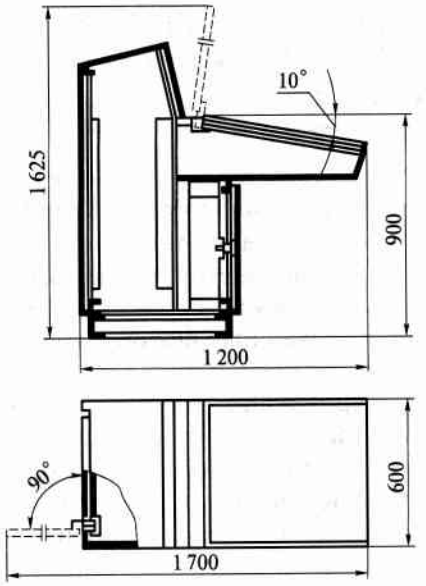


Рис. 17.2. Пульт управления, общий вид

Для многосекционных щитов используют циркульное, П-образное и Г-образное расположение в плане.

Вопрос о выборе числа секций щита решается в зависимости от количества приборов, которые следует разместить, а также исходя из организационной структуры и принципов систем автоматического контроля и управления данным объектом.

Пульт управления представляет собой объемную металлическую конструкцию, предназначенную для установки на ней средств дистанционного управления. Обычно пульт выполняется в форме стола с наклонной плоскостью, на котором устанавливают аппаратуру управления с электрической (и трубной) проводкой, подготовленной к подключению внешних цепей. Пульты имеют различное конструктивное исполнение: пульт приставной (открытый с задней стороны и приставляемый к передней стенке щита); пульт отдельно стоящий — диспетчерский или оперативный (устанавливается отдельно от щита в удобном для обслуживания месте). Могут применяться пульты с наклонной приборной приставкой (рис. 17.2), на которой располагают мнемоническую схему и показывающие приборы, необходимые для управления процессом.

Так же как и щиты, пульт должен иметь уплотнение, обеспечивающее влагонепроницаемость.

17.2. ПРАВИЛА РАЗМЕЩЕНИЯ И МОНТАЖА ПРИБОРОВ НА ЩИТАХ И ПУЛЬТАХ УПРАВЛЕНИЯ

Расположение приборов и средств управления на щитах и пультах должно обеспечивать ***удобство управления процессом***. С этой целью средства визуального наблюдения на передней панели щита располагают в зоне оптимального визуального восприятия — на 200 мм ниже верха щита и на расстоянии 700 мм от пола у щитов без пульта и 1 000 мм у шкафных щитов с приставными пультами управления.

Компоновку приборов и аппаратуры на фронтальных плоскостях — фасадах и внутри щитов и пультов следует выполнять с ***учетом допустимых полей монтажа***, под которыми понимаются те части плоскостей щита или пульта, на которых по конструктивным особенностям возможна установка приборов и аппаратуры.

Приборы и средства автоматизации, устанавливаемые на фронтальных плоскостях щитов и пультов, должны размещаться с учетом следующих рекомендуемых расстояний по высоте (от основания щита):

Показывающие приборы и сигнальная арматура	1 000 ... 2 000 мм
Регистрирующие приборы на оперативных щитах с приставными пультами	1 100 ... 1 700 мм
Аппаратура управления (переключатели, ключи кнопки управления)	700 ... 1 500 мм
Регистрирующие приборы на оперативных щитах без приставных пультов	900 ... 1 900 мм

Под приборами и аппаратурой в стандартных рамках делаются ***надписи***. При необходимости на них в щитах указываются назначения отдельных групп приборов и аппаратуры.

В целях повышения наглядности реализации функции контроля и управления технологическим процессом средствами автоматизации в ряде случаев на щиты наносят с помощью условных символов ***мнемоническую схему технологического процесса***.

Эта схема размещается в верхней части фасадной стороны щита или пульта, или на специальных панелях.

Мнемосхемы, в символы которых встраиваются приборы контроля и управления, называются **графопанелями**.

На рис. 17.3 показан пример выполнения вида спереди шкафного щита. Передняя панель делится на три поля.

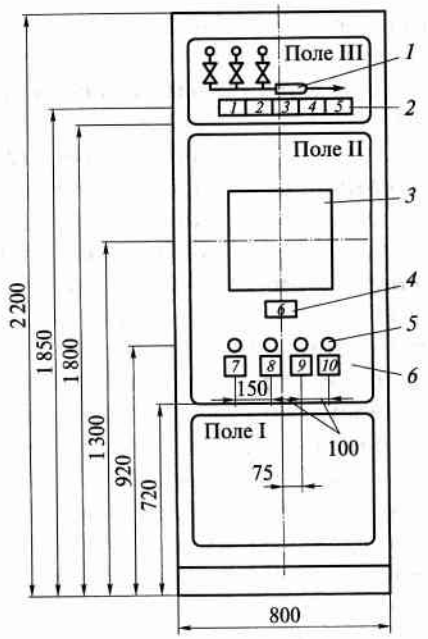


Рис. 17.3. Щит шкафной, вид спереди

Поле I является декоративным, оно не предназначено для установки приборов или аппаратуры. Поле II предназначено для размещения самопишущих и регистрирующих приборов, а также органов управления. На этом поле могут быть размещены крупногабаритные показывающие приборы, удобные для оператора.

На поле III располагают сигнальную арматуру, малогабаритные показывающие приборы, компактные мнемосхемы.

На общих видах щитов и пультов указывают габаритные размеры всего щита и пульта.

Приборы и аппаратуру изображают упрощенно. Вертикальные размеры проставляют у концов выносных линий на общей размерной линии. Горизонтальные размеры указывают по обе стороны вертикальной оси щита. Это дает возможность симметрично расположить приборы и средства автоматизации.

На выносных линиях указывают обозначения приборов, размещенных на панели щита, и самого щита. Например (рис. 17.3), *1* — мнемосхема; *2* — табло световое; *3* — мост автоматический самопишущий; *4* — рамка для надписей; *5* — кнопка управления; *6* — щит шкафный с задней дверью.

При размещении приборов и аппаратуры на щитах придерживаются определенных принципов.

Принцип соответствия технологическому процессу — приборы и аппаратура на щитах должны располагаться на отдельных панелях слева направо по ходу технологического процесса.

Принцип функциональный — приборы и аппараты, относящиеся к тому или иному технологическому оборудованию, размещают в одной зоне щита (пульта), т. е. функциональной группой.

Принцип ответственности — наиболее удобные (видимые, доступные) зоны щита (пульта) используют для размещения наиболее ответственных приборов и аппаратов.

Принцип оптимального размещения — приборы и аппараты размещают в зависимости от удобства пользования, точности измерения или усилий, прикладываемых, например, к органам управления оператором. Приборы, отображающие наиболее ответственные параметры работы системы, а также часто используемые приборы размещают в пределах оптимальной зоны поля зрения (в вертикальной плоскости зона ограничена не выше 1,8 м и не ниже 1 м от основания; в горизонтальной плоскости оптимальный угол обзора составляет 30 ... 40°, допустимый — 60°).

Приборы, измеряющие параметр одного или нескольких связанных между собой объектов, объединяют на панели щита или пульта в ***функциональную группу***. Приборы, измеряющие сходные параметры, рекомендуется группировать в вертикальные ряды, а приборы, контролирующие различные параметры одного процесса или агрегата, — в горизонтальные ряды.

Внутри функциональных групп следует придерживаться той последовательности, в которой оператор обычно снимает с них показания, при этом приборы размещают слева направо и сверху вниз. Компоновка приборов зависит также от их конструктивных особенностей. Так, приборы наименее удачные по инженерно-психологическим характеристикам следует располагать таким образом, чтобы компенсировать их недостатки и обеспечить оператору нормальные условия считывания показаний.

Если рядом с прибором на панели щита расположен орган управления, необходимо, чтобы рука оператора в момент выполнения переключения не загораживала шкалу прибора. Для этого ручки, управляемые правой рукой, следует располагать ниже и правее прибора, а ручки, управляемые левой рукой, — ниже и левее соответствующих приборов.

Для аварийных и предупредительных сигналов устанавливают лампы с мигающим светом с частотой мигания 3 ... 8 Гц. Целесообразно предусмотреть отключение сигнализации органов управления и состояния агрегатов, однако сигнализация отклонений режимов от нормы при этом отключаться не должна. Необходимо также обеспечить контроль исправности сигнальных ламп.

При проектировании пультов управления соблюдают те же требования к расположению приборов и аппаратуры, что и при проектировании щитов.

Габаритные размеры и пространственная форма пульта зависят не только от аппаратуры, устанавливаемой на пульте, но и от выбираемой основной рабочей позы оператора. Как правило, оператор за пультом работает в положении сидя.

Наиболее важные органы управления следует располагать ***спереди и справа от оператора*** в зоне досягаемости правой руки.

Максимальные размеры зоны досягаемости для обеих рук следующие: глубина 700 мм, ширина 1 100 мм. Размер зоны досягаемости по ширине может быть увеличен в отдельных случаях на 200 ... 300 мм за счет того, что оператор наклоняет корпус или перемещается в кресле на катках вдоль пульта. В этом пространстве рекомендуется устанавливать аварийные и особо ответственные органы управления.

Глубина рабочей плоскости пульта (столешница) не должна превышать 800 мм, наклон столешницы — 10 ... 20°, высота пульта для работы сидя, должна находиться в пределах 750 ... 850 мм.

Необходимо следить за тем, чтобы кресло оператора отвечало ***антропометрическим и гигиеническим требованиям***. Высота сиденья от пола должна регулироваться в пределах 370 ... 460 мм, оптимальная высота должна быть 425 мм. Сиденье может иметь прямоугольную форму (ширина 400 мм) или слегка трапециевидную. Глубина сиденья 390 мм, допустимый диапазон глубины сиденья 370 ... 400 мм. Верхний край спинки может отстоять от плоскости сиденья на 320 мм, допускается 310 ... 330 мм. Над плоскостью сиденья в спинке делается вентиляционный вырез высотой 60 ... 150 мм. Кресло должно иметь подлокотники. Высота подлокотников от плоскости сиденья 230 мм, длина 280 мм, ширина 50 ... 70 мм.

В целом геометрическая форма предметно-пространственного окружения должна не только обеспечивать максимум удобств оператору, но и целенаправленно организовывать его зрительное восприятие, производственную мыслительную деятельность, эмоциональный фон, ритм в работе и др.

Пространственную и цветовую композицию интерьера пульта управления строят на основе выделения главного функционального элемента и подчинения ему всех второстепенных для со-

здания завершенного архитектурного образа. Хорошим планировочным решением пульта управления можно считать такое, при котором все панели оперативного приборного щита располагают вдоль одной из стен помещения, а место оператора в плане находится в верхнем углу (не более 120°), образованном линиями, идущими от крайних точек щита.

Рекомендуется, чтобы расстояние от постоянного места нахождения оператора (стола, пульта управления) до щита было не более 5 м, что определяется условием видимости шкал приборов. Обзор приборов с плохо видимой шкалой и ножевидной стрелкой рекомендуется проводить с расстояния не более 1 ... 2 м, с хорошо видимой шкалой — 2 ... 4 м, мнемосхем — 4 ... 5 м.

При проектировании пультов управления необходимо учитывать различные факторы окружающей среды (состав, температуру и влажность воздуха, атмосферное давление и др.), определяющие так называемые комфортные условия производственной среды.

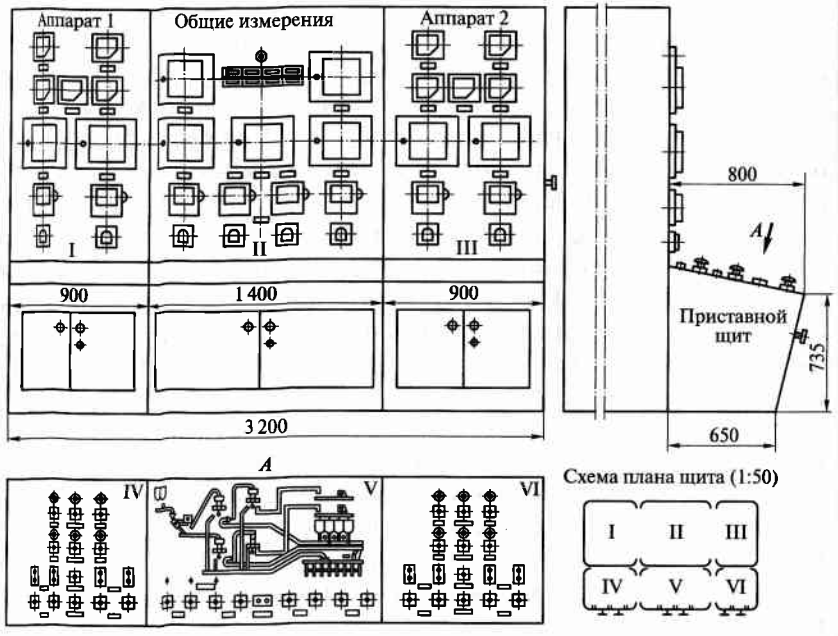


Рис. 17.4. Многосекционный щит с приставным пультом и оперативной мнемонической схемой

На рис. 17.4 изображен внешний вид многосекционного шкафного щита с приставным пультом и размещенными на них аппаратурой и приборами автоматизации.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначены щиты и пульты и в чем их отличие? **2.** Каким образом устанавливают малогабаритные щиты управления? **3.** От чего зависит выбор количества секций щитов управления? **4.** Какая аппаратура располагается на щитах управления сверху, а какая снизу? **5.** Для чего служат мнемосхемы? **6.** Какие размеры указываются на внешнем виде щита?

V

РАЗДЕЛ

СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Глава 18. Правила выполнения схем автоматизации

Глава 19. Схема автоматизации вспомогательных технологических процессов

Глава 20. Схема автоматизации вспомогательных процессов

Глава 18

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Схема автоматизации является основным техническим документом, определяющим функциональную структуру и характер автоматизации технологических процессов и оснащение их приборами и средствами автоматизации.

Схемы автоматизации выполняют в соответствии с заданием на проектирование. Их могут разрабатывать с большей или меньшей степенью детализации. На основании этих схем составляют заявочные ведомости на приборы и средства автоматизации, щиты и пульты управления.

При составлении схем автоматизации необходимо учитывать:

- уровень (объем) автоматизации технологического процесса;
- технологические параметры, подлежащие автоматическому регулированию и контролю, пределы их измерений и выбор метода измерения;
- автоматическое или операторное дистанционное управление технологическим оборудованием;
- автоматическую защиту и блокировку технологических агрегатов и установок;
- выбор основных технических средств автоматизации;
- размещение приборов и аппаратуры на щитах и пультах управления.

Схема автоматизации включает в себя три обязательных элемента:

- чертеж схемы;
- текстовое описание схемы;

- спецификацию на приборы и средства автоматизации, используемые в схеме.

Чертеж схемы состоит из двух частей. В верхней части листа тонкими контурными линиями вычерчивается схема технологического процесса (отдельного оборудования).

Изображение технологического оборудования по своему виду, конфигурации и относительному масштабу должно соответствовать реальным объектам.

Здесь ломаными прямыми линиями, с разрывами показывают трассы трубопроводов для газов, пара и жидкостей. В разрывах проставляют численный шифр продукта, протекающего по трубопроводу, в соответствии с действующим ГОСТ 14202—69 (табл.18.1).

Таблица 18.1. Условные и цифровые обозначения трубопроводов для жидкостей и газов

Среда в трубопроводе	Условное обозначение	Цвет
Жидкость или газ, преобладающие в данном проекте	Сплошная линия	Красный, черный
Вода	—1—1—	Зеленый
Пар	—2—2—	Розовый
Воздух	— 3—3—	Голубой
Азот	—4—4—	Темно-желтый
Кислород	—5—5—	Синий
Инертные газы:		
аргон	—6—6—	—
неон	—7—7—	—
гелий	—8—8—	Фиолетовый
криптон	—9—9—	—
ксенон	—10—10—	—
Аммиак	—11—11—	Серый
Кислота (окислитель)	—12—12—	Оливковый
Щелочь	—13—13—	Серо-коричневый
Масло	—14—14—	Коричневый

Окончание табл. 18.1

Среда в трубопроводе	Условное обозначение	Цвет
Жидкое топливо	—15—15—	—
Горючие и взрывоопасные газы:		
водород	—16—16—	—
ацетилен	—17—17—	Желтый
фреон	—18—18—	—
метан	—19—19—	—
этан	—20—20—	—
этилен	—21—21—	—
пропан	—22—22—	Оранжевый
пропилен	—23—23—	—
бутан	—24—24—	—
бутилен	—25—25—	—
Противопожарный трубопровод	—26—26—	Красный
Вакуум	—27—27—	Светло-серый

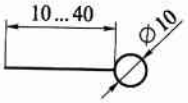
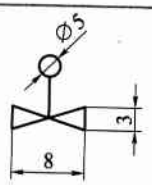
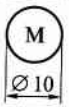
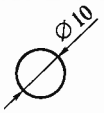
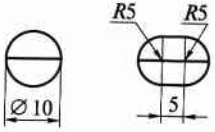
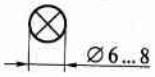
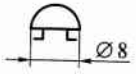
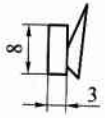
Если вид продукта не обусловлен ГОСТом, то ему присваивается численный шифр после 27. Допускается уточнять вид продукта с помощью строчных букв русского алфавита или арабских цифр. Например, *1г* — горячая вода; *1х* — холодная вода; 2_1 — острый пар; 2_2 — вторичный пар.

В обоих случаях на поле схемы указываются дополнительные обозначения трубопроводов.

Здесь условными обозначениями показывают датчики, исполнительные механизмы с рабочими органами и электродвигатели в местах их установки (табл. 18.2). Конец прямого отрезка датчика указывает место нахождения чувствительного элемента.

В нижней части листа, в прямоугольниках, указывающих место установки прибора, показывают условные обозначения приборов, аппаратов управления и сигнализации, установленных «по месту» и «на щите».

Таблица 18.2. Основные обозначения приборов и средств автоматизации (ГОСТ 21-404–85)

Наименование	Обозначение
Датчик, первичный преобразователь	
Исполнительный механизм с рабочим органом	
Электродвигатель	
Прибор установленный «по месту»	
Прибор установленный «на щите»	
Сигнальная лампа с арматурой	
Звонок громкого боя	
Сирена	

Понятие «по месту» означает установку средств автоматизации непосредственно на оборудовании и трубопроводах, а на «щите» — на щитах и пультах автоматизации.

В верхней части кружка — условного обозначения датчика или прибора, прописными буквами латинского алфавита указывается шифр, обозначающий функциональное назначение прибора (табл. 18.3).

Дополнительные буквенные обозначения, отражающие функциональные признаки приборов по ГОСТ 21-404—85, следующие:

- Чувствительный элемент (первичное преобразование) ..... *E*
- Дистанционная передача (промежуточное преобразование) ..... *T*
- Станция управления ..... *K*
- Преобразование, вычислительные функции ..... *Y*
- Род сигнала:
  - электрический ..... *E*
  - пневматический ..... *P*
  - гидравлический ..... *G*
- Виды сигнала:
  - аналоговый ..... *A*
  - дискретный ..... *D*
- Операции, выполняемые вычислительным устройством:
  - суммирование ..... Σ
  - умножение сигнала на постоянный коэффициент K ..... *K*
  - перемножение двух и более сигналов друг на друга x
  - деление сигналов друг на друга ..... :
  - возведение величины сигнала *f* в степень *n* ..... f^n
  - извлечение из величины сигнала *f* корня степени *n* ..... $\sqrt[n]{f}$
  - логарифмирование ..... lg
  - дифференцирование ..... $\frac{dx}{dt}$
  - интегрирование ..... $\int$
  - изменение знака сигнала ..... $x(-1)$
  - ограничение верхнего значения сигнала ..... max
  - ограничение нижнего значения сигнала ..... min
- Связь с вычислительным комплексом:
  - передача сигнала на ЭВМ ..... b_i
  - ввод информации с ЭВМ ..... b_0

Первые четыре из них изображаются в верхней части условного изображения прибора, а остальные рядом с ним.

Буквенный шифр прибора записывается в строго определенном порядке (табл. 18.4).

Чтение функционального назначения прибора следует начинать со слов: «Прибор для ...» и далее читать функциональные признаки справа налево. Например:

Таблица 18.3. Буквенные условные обозначения (ГОСТ 21-404–85)

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые приборами		
	Основное значение первой буквы	Дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
A	—	—	Сигнализация	—	—
B	—	—	—	—	—
C	—	—	—	Регулирование, управление	—
D	Плотность	Разность, перепад	—	—	—
E	Любая электрическая величина	—	—	—	—
F	Расход	Соотношение, доля, дробь	—	—	—
G	Размер, положение, перемещение	—	—	—	—
H	Ручное воздействие	—	—	—	Верхний предел измеряемой величины
I	—	—	Показание	—	—

J	—	Автоматическое переключение, обегание	—	—	—
K	Время, временная программа	—	—	—	—
L	Уровень	—	—	—	Нижний предел измеряемой величины
M	Влажность	—	—	—	—
N	Резервная буква	—	—	—	—
O	То же	—	—	—	—
P	Давление, вакуум	—	—	—	—
Q	Величина, характеризующая качество, состав, концентрацию и др.	Интегрирование, суммирование по времени	—	—	—
R	Радиоактивность	—	Регистрация	—	—
S	Скорость, частота	—	—	Включение, отключение, переключение, сигнализация	—
T	Температура	—	—	—	—

Окончание табл. 18.3

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые приборами			
	Основное значение первой буквы	Дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
U	Несколько разнородных измеряемых величин	—	—	—	—
V	Вязкость	—	—	—	—
W	Масса	—	—	—	—
X	Нерекомендуемая резервная буква	—	—	—	—
Y	Рекомендуемая резервная буква	—	—	—	—
Z	Рекомендуемая резервная буква	—	—	—	—

Таблица 18.4. Порядок записи шифра прибора

Порядковый номер буквы слева направо	Функциональный признак	Буква
1	Вид технологического параметра	—
2	Дополнительное значение, уточняющее первую букву	—
3	Измерение, показания	*I*
4	Запись, регистрация	*R*
5	Управление, регулирование	*C*
6	Включение, отключение, наличие контактного устройства	*S*
7	Сигнализация	*A*

PDIR — прибор для регистрации и измерения перепада давления;

DIRCSA —прибор для сигнализации, регулирования, регистрации и измерения плотности;

QI — прибор для измерения состава и концентрации;

FQI — прибор для измерения суммарного расхода (счетчик количества);

FI — прибор для измерения расхода (расходомер);

FC — прибор для регулирования расхода;

FFC — прибор для регулирования соотношения расходов.

Как видно из приведенных примеров местоположение буквы в соответствии с табл. 18.3, определяет ее значение. Особое значение имеет буква «*S*» (включение, отключение, переключение). Например:

TC — прибор для регулирования температуры (закон регулирования не указан);

TCS — прибор для позиционного регулирования температуры.

Если в обозначении прибора присутствует буква «*A*» (сигнализация), то перед ней обязательно должна стоять буква «*S*», поскольку сигнализация происходит за счет включения, отключения и переключения.

Например:

TSA — прибор для сигнализации температуры;

TISA — прибор для сигнализации и измерения температуры.

В буквенных обозначениях датчиков (первичных преобразователях) на первом месте ставится буква, обозначающая контролируемый (регулируемый) параметр, а на втором — буква «*E*».

Например:

ME — датчик влажности;

WE — датчик массы.

Особые обозначения имеет аппаратура сигнализации, которые проставляются рядом с условным обозначением устройства:

HL — световая сигнализация;

HA — звуковая сигнализация,

а также аппаратура управления, обозначения которой проставляются внутри обозначения прибора:

H — кнопка, кнопочная станция;

HS — ключ управления, переключатель;

NS — магнитный пускатель.

Для обозначения технологических параметров, не обусловленных ГОСТом, используются резервные буквы в первую очередь рекомендуемые, во вторую очередь — нерекомендуемые. В этом случае на поле схемы наносятся обозначения технологических параметров, зашифрованных этими буквами.

Приборы, объединенные одним функциональным назначением (например, датчик уровня, реле уровня, ИМ с РО для подачи жидкости в резервуар и сигнальная лампа; или кнопочная станция, магнитный пускатель, электродвигатель, сигнальная лампа; или датчик температуры и прибор для контроля и ее регистрации и др.), объединяются линиями связи, образуя цепочки.

Линии связи на схеме автоматизации изображают одной линией независимо от числа проводов или труб и наносят с наименьшим количеством изломов и пересечений. Линии должны четко отображать функциональные связи между элементами схемы от начала до конца прохождения сигнала (воздействия). Допускается объединять в одну линию блокировочные линии связи.

При вычерчивании линий связи соблюдают следующие условия:

- в месте пересечения независимых, самостоятельных линий связи точку не ставят и знак обвода линий в виде полуокружности не применяют (рис.18.1, *а*);
- в месте соединения зависимых, соединенных линий связи ставят точку. В узле соединений сигнал, передаваемый по одной линии, далее может распространяться по другим линиям связи в соответствии со стрелками направлений сигналов (рис. 18.1, *б*);

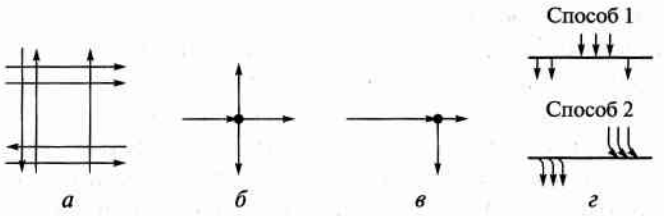


Рис. 18.1 Правила вычерчивания линий связи:

а — независимых, самостоятельных; *б* — зависимых; *в* — ответвлений; *г* — слияния и разветвления

- ответвления линий связи отличаются от пересечений зависимых линий связи только числом линий в узле (рис. 18.1, *в*);
- слияние и разветвление линий связи изображают двумя способами (рис. 18.1, *г*).

В основном применяют второй способ, так как все линии связи при слиянии и разветвлении являются самостоятельными. Для удобства вычерчивания независимые линии после их слияния или до разветвления условно заменяют одной. Общую линию не утолщают. На входе сигналов в неразветвленный участок общей линии связи и на выходе из него можно проставлять условные номера сигналов, показывающие их направление.

В сложных схемах автоматизации допускается обрывать линии функциональных цепей, при этом каждый конец разорванной линии нумеруют одними и теми же числами (арабскими цифрами). Номера линий связи располагают в горизонтальных рядах в возрастающем порядке.

В нижней части условных обозначений приборов и средств автоматизации указывается их позиционное обозначение, состоящее из двух чисел арабскими цифрами через тире. Первое число соответствует номеру функциональной цепочки при чтении чертежа схемы слева направо. Второе число, через тире, обозначает номер прибора в данной функциональной цепочке.

Особые условные обозначения имеют аппаратура управления и сигнализации. Аппаратура управления имеет буквенное обозначение:

SB — кнопка, кнопочная станция;

SA — ключ, переключатель;

KM — магнитный пускатель.

Рядом проставляется цифра, обозначающая номер аппарата по полю схемы слева направо (например: *SB2*, *SA3*, *KM1*).

Позиционные обозначения сигнальной аппаратуры состоят из числа, проставляемого рядом с их обозначением, также по порядку на поле схемы (например: *HL3*, *HA2* и др.).

Схемы автоматизации графически оформляют линиями следующей толщины, мм: контуры технологического оборудования 0,6 ... 1,5; трубопроводные коммуникации 0,6 ... 1,5; приборы и средства автоматизации 0,5 ... 0,6; линии связи 0,2 ... 0,3; прямоугольники, изображающие приборы местные, щиты, пульты 0,6 ... 1,5.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких элементов состоит схема автоматизации? **2.** Каким образом обозначаются трубопроводы сред, не включенных в стандарт? **3.** Каким образом в схеме автоматизации можно определить место контроля определенного технологического параметра? **4.** Какие элементы системы автоматизации изображаются на технологической схеме (схеме оборудования)? **5.** От чего зависит значение одной и той же буквы латинского алфавита в обозначении приборов? **6.** Для чего служат линии связи? **7.** Из каких числовых обозначений складывается общее позиционное обозначение прибора автоматизации?

Глава 19

СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

19.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Вспомогательными участками в пищевой промышленности являются помещения котельных, очистных, воздушно-компрессорных, холодильных установок, систем кондиционирования воздуха.

Электроэнергию предприятия получают от системы централизованного электроснабжения. Пар и горячую воду, как правило, предприятия также получают централизованно, однако некоторые предприятия имеют собственные *котельные* с котлоагрегатами малой и средней мощности (производительностью по пару до 75 т/ч и давлением до 3,9 МПа).

Особое значение на предприятиях пищевой промышленности приобретает использование воды в технологических процессах и для хозяйственных нужд.

Расход потребляемой и сбрасываемой воды влияет на экономичность технологических процессов, а сброс на экологию окружающей среды. Расход свежей воды снижают с помощью оборотной системы водоснабжения, в которой вода используется многократно с последовательной очисткой и фильтрацией. При сбросе сточных вод через очистные сооружения применяются биологическая и механическая очистка, причем эти процессы полностью автоматизированы.

Холодильные установки служат для получения искусственного холода в процессах охлаждения, замораживания и хранения готовой продукции.

Системы кондиционирования воздуха используются для создания нормального микроклимата для обеспечения условий работы обслуживающего персонала, а также в производственных процессах (хранение продукции, в камерах созревания сыра и колбасных изделий и др.).

19.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПАРА

Для получения насыщенного и перегретого пара, используемого на технологические нужды предприятия, предназначены котельные установки. Котельные установки большинства предприятий мясной и молочной промышленности оснащены котлами различной паропроизводительности и работают на топливе разных видов. Исходным сырьем для получения пара служат топливо, воздух и питательная вода. Теплота, выделяющаяся при сжигании топлива, передается воде, в результате чего вырабатывается перегретый пар. Отходы (охлажденные очищенные дымовые газы) выбрасываются в атмосферу.

Автоматизации котельных установок уделяется большое внимание, так как автоматическое регулирование процессов в котельных позволяет повысить КПД энергетической установки, сократить расход энергии на собственные нужды, уменьшить количество обслуживающего персонала и обеспечить безаварийность работы.

Схема автоматизации котельной установки (рис. 19.1) регулируют следующие процессы: подачу топлива в зависимости от давления пара в барабане котла; подачу воздуха в необходимом соотношении к расходу топлива; разрежение в топке котла; питание котла водой по уровню воды в барабане.

Регулирование подачи топлива осуществляется с помощью регулятора топлива *PICK* 5-2, который получает импульс по давлению в барабане котла от преобразователя давления *PY* 5-1 и изменяет положение исполнительного механизма 5-3, сочлененного с регулирующим органом подачи топлива (мазута или газа) к горелке, что стабилизирует давление пара в барабане котла.

Регулятор давления воздуха *PCK* 7-2 регулирует ***подачу воздуха***, т.е. поддерживает необходимое соотношение топливо — воздух, получая импульсы по давлению газа от дифманометра *PY* 9-1 (при работе на газе) или по положению исполнительного устройства 5-3 (при работе на мазуте) и давлению воздуха перед горелкой от дифманометра *PY* 7-1. Выходной сигнал регулятора соотношения 7-2 воздействует на исполнительное устройство 7-3, изменяющее положение направляющих дутьевого вентилятора, что корректирует подачу воздуха к горелке.

Регулятор разрежения *PCK* 14-2 контролирует ***разрежение в топке котла***, получая импульс по разрежению от преобразователя *PY* тягомера 14-1 и изменяя положение исполнительного механизма

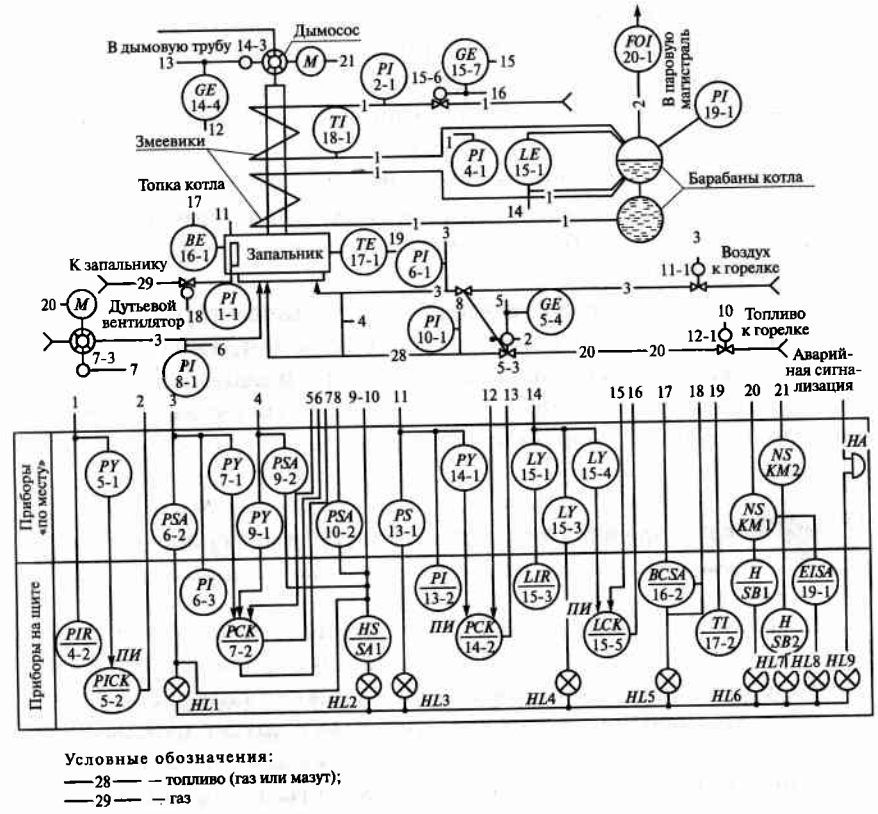


Рис. 19.1. Схема автоматизации котельной установки

14-3, сочлененного с заслонками дымососа, стабилизируя тем самым разрежение в топке котла.

Питание котла водой происходит с помощью пневматического прибора *LCK* 15-5, который получает импульс от преобразователя *LY* 15-4, воздействует на исполнительный механизм 15-6 регулирующего органа подачи питательной воды в змеевик: уровень воды в барабане котла при этом поддерживается постоянным.

Кроме того, предусматривается автоматический контроль параметров (измерение, сигнализация, регистрация): температуры питательной воды (с помощью устройства *TI* 18-1); давления питательной воды (*PI* 2-1), давления после змеевика (*PI* 4-1 и *PIR* 4-2); давления воздуха (*PI 6-1*) и топлива (*PI 10-1*), подаваемых к горелкам; расхода пара на выходе из котла (*FQI* 20-1); давления в котле (*PI* 19-1);

уровня воды в котле (*IR* 15-3); разрежения в топке (*PI* 13-2); давления после дутьевого вентилятора (*PI* 8-1); давления газа, подаваемого к запальникам (*PI* 1-1); температуры в топке (*TI* 17-2). Процентное содержание газа CO_2 в продуктах горения контролируется с помощью переносного газоанализатора.

Для зашиты котлов при нарушениях режима работы и для прекращения подачи топлива в аварийных ситуациях схема предусматривает срабатывание блокировки, сопровождающееся световой и звуковой сигнализацией.

Автоматическое отключение подачи топлива к горелкам происходит при падении давления мазута, отклонении давления газа, отклонении уровня воды в барабане котла, понижении давления воздуха, уменьшении разрежения в топке ниже требуемых норм, слабом горении факела горелки.

19.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

На предприятиях пищевой промышленности вода необходима для технологических процессов, транспортирования продуктов, охлаждения аппаратов и механизмов, а также для парообразования в котлах, употребляется на хозяйственные и другие нужды. Количество потребляемой и сбрасываемой воды влияет на качество технологических процессов, на их энергоемкость, экономичность, затрагивает вопросы охраны окружающей среды. Снижение расхода свежей воды решается путем применения оборотных систем водоснабжения, в которых одна и та же вода многократно совершает работу.

Сточные воды, сбрасываемые в водоемы, предварительно очищаются в специальных сооружениях, из них извлекаются примеси, опасные в санитарном отношении или ценные как вторичное сырье. Применяется биологическая и механическая очистка сточных вод.

Например, на мясокомбинатах насосная станция для перекачки сточных вод имеет два приемных резервуара. В один из них поступают хозяйственные (маложирные) стоки через приемный лоток и решетку. Затем из резервуара стоки центробежными насосами направляются в очистные сооружения. В другой приемный резервуар, также через приемный лоток и решетку, поступают жирные стоки из мясожирового корпуса. Потом центробежными насосами они перекачиваются в жироуловитель. Эти процессы автоматизированы, т.е. автоматизация насосной станции для перекачки сточных вод обеспечивает беспрерывную подачу стоков в очистные сооружения, безаварийную работу станции, улучшает условия труда обслуживающего персонала.

Вода из очистных сооружений направляется на станцию доочистки сточных вод. В составе станции доочистки сточных вод имеются водонапорная башня, четыре фильтра и бак для коагулянта. Вода из очистных сооружений, смешиваясь с коагулянтом, поступающим сверху, направляется в фильтры. Отфильтрованная вода снизу удаляется из фильтров и направляется для использования на технические нужды. После окончания фильтрации фильтры промывают водой снизу вверх. Система автоматизации станции доочистки сточных вод управляет по заданной программе работой фильтров. Это позволяет подключить станцию доочистки к общей автоматизированной системе управления очистными сооружениями. Кроме того, динамические характеристики объектов позволяют выбирать средства автоматизации, реализующие позиционный закон регулирования (включение и выключение механизмов, обеспечивающих необходимые параметры). Технологические требования невысоки, поэтому для работы схемы можно применять простые приборы, средства автоматизации и аппаратуру.

Схема автоматизации станции доочистки сточных вод (рис. 19.2.) предусматривает сигнализацию об изменении уровня воды в водонапорной башне, регулирование давления промывной водой в трубопроводах и сигнализацию о его изменении, подачу сигналов об изменении уровня коагулянта в баке и уровня воды в фильтре, программное управление работой фильтров, местное и дистанционное управление электродвигателями насосов и исполнительными механизмами.

Сигналы об *изменении уровня воды в водонапорной башне* подаются сигнализатором *LSA* 1-3 с датчиками верхнего *LE* 1-1 и нижнего *LE* 1-2 уровней и лампами *HL*19 и *HL*20.

Регулирование давления промывной воды в трубопроводе, поступающей в фильтр *1*, и сигнализация о его изменении осуществляются реле *PCS* 2-1 и *PCS* 3-1, работающими в комплекте с электродвигателями *4* и *5* насосов подачи промывной воды.

Сигналы об *изменении уровня коагулянта в баке*, а также предельных уровней воды в фильтре подаются сигнализатором *LSA* 4-4 в комплекте с датчиками *LE* 4-1, *LE* 4-2, *LE* 4-3.

Программное управление работой фильтров заключается в том, что фильтры станции доочистки сточных вод работают по временно́й программе. Сначала фильтруется вода, прошедшая очистку в

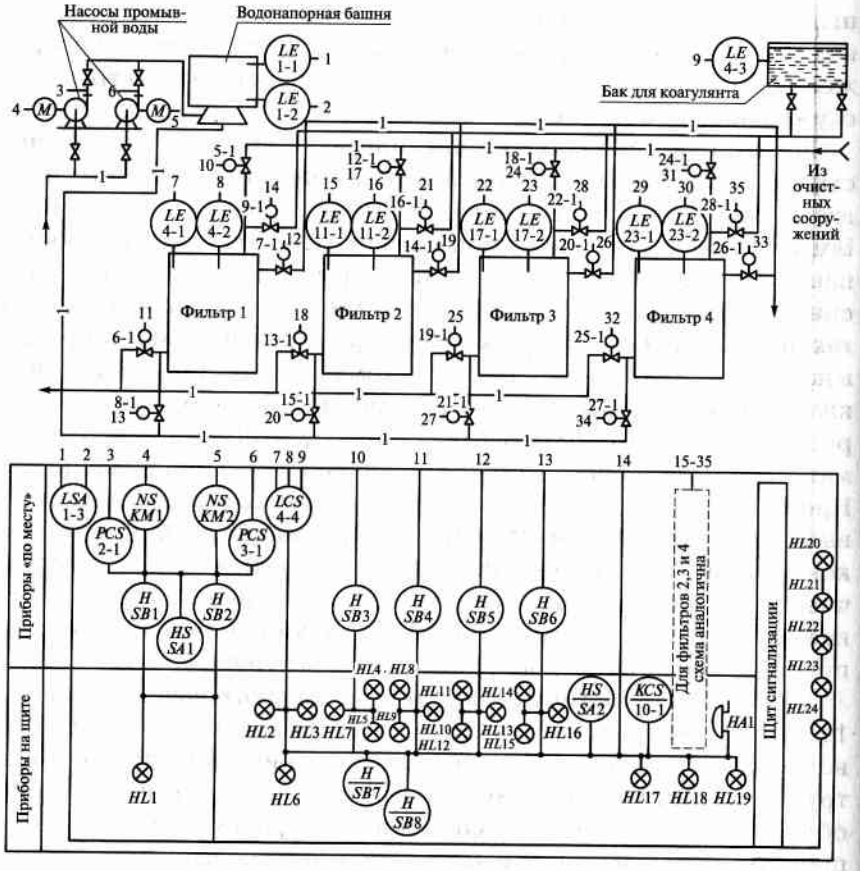


Рис. 19.2. Схема автоматизации доочистки сточных вод

очистных сооружениях, а потом через фильтр пропускается промывная вода, которая представляет собой смесь отфильтрованной и чистой водопроводной воды.

По программе открываются и закрываются задвижки подачи воды на доочистку и коагулянта, а также задвижки выпуска очищенной воды и подачи промывной воды в фильтры. Реализует программу командный аппарат *KCS* 10-1.

При выполнении операции промывки программное устройство подает команды исполнительным механизмам 5-1, 7-1, 9-1 на закрытие задвижек и исполнительным механизмам 6-1, 8-1 — на открытие задвижек для подачи промывной воды и ее выпуска из фильтра. При фильтрации запорные задвижки исполнительных механизмов 6-1, 8-1 перекрывают трубопровод подачи промывной воды в фильтр и спуска ее из фильтра. Открываются задвижки исполнительными механизмами 7-1 спуска из фильтра очищенной воды и 9-1 подачи воды в фильтр на доочистку, а также 5-1 клапан.

Лампы *HL*1 ... *HL*16 сигнализируют о предельных положениях задвижек и работе электродвигателей исполнительных механизмов. Аналогично описанному работают фильтры 2, 3, 4 со своими исполнительными механизмами. Работа фильтров согласована и осуществляется по программе. Одновременно в двух фильтрах происходит фильтрация и в двух — промывка.

Местное управление электродвигателями исполнительных механизмов выполняется кнопочными выключателями *SB*1 ... *SB*6.

Световые сигналы, подаваемые лампами *HL*17, *HL*18, снимаются кнопкой *SB*8. Переключатели *SA*1 и *SA*2 служат для переключения управления с автоматического режима на дистанционное, и наоборот.

19.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ

Искусственное охлаждение может осуществляться периодически и непрерывно. *Периодическое охлаждение* происходит при плавлении льда либо при сублимации твердого диоксида углерода (сухого льда). Недостаток этого способа заключается в том, что в процессе плавления и сублимации хладагент теряет свои охлаждающие свойства; при длительном хранении продуктов трудно обеспечить определенные температуру и влажность воздуха в холодильной камере. ***Непрерывное охлаждение*** происходит в холодильных установках с использованием хладагентов.

Холодильные установки различаются типом холодильных машин, применяемыми в них хладагентами, способами отбора теплоты от охлаждаемой среды.

Хладагенты кипят при определенном давлении, зависящем от температуры, поэтому, изменяя давление в емкости с хладагентом, можно изменять температуру в холодильной камере.

Холодильная установка предназначена для непрерывного получения холода с помощью замкнутого кругового процесса испарения и конденсации постоянного объема хладагента. Жидкий хладагент кипит в испарителе, отбирая теплоту у хладоносителя. Пары хладагента отсасываются и сжимаются компрессором и затем охлаждаются в конденсаторе, где хладагент переходит в жидкое со-

стояние в результате охлаждения его водой. Из конденсатора жидкий хладагент через ресивер и дросселирующие устройства подается обратно в испаритель. Наиболее распространенные хладагенты — аммиак и фреон (хладон). Промежуточным хладоносителем служит рассол — раствор поваренной соли или хлорида кальция. Охлажденный в испарителе рассол перекачивается центробежным насосом к холодильным камерам и другим потребителям холода.

Холодопроизводительность и точность поддержания температуры охлаждаемой среды определяют эффективность работы холодильной установки. Эти параметры зависят от многих причин, к которым относятся сопротивление трубопроводов подаче газа в конденсатор, мощность компрессора, расход и температура воды, охлаждающей пары хладагента, тепловая нагрузка потребителей холода. Соответствие между тепловой нагрузкой потребителей и холодопроизводительностью холодильной машины осуществляется при наилучших условиях работы холодильной установки.

При длительном превышении холодопроизводительности снижается ниже допустимого значения температура охлаждаемой среды и может произойти замерзание хладоносителя, а в некоторых случаях хладагента. При недостаточной холодопроизводительности из-за повышенной тепловой нагрузки повышается температура охлаждаемой среды, появляется вероятность гидравлического удара в системе циркуляции хладагента. Точность поддержания температуры охлаждаемой среды зависит от многих возмущающих воздействий. Стабилизация одного из них — температуры промежуточного хладоносителя — позволяет повысить точность поддержания выходного параметра и улучшить условия работы холодильной установки.

Опасные условия работы холодильной установки могут быть вызваны как внутренними возмущениями, так и внешними воздействиями. В различных элементах установки при работе могут возникнуть опасные явления (утечка хладагента, гидравлические удары, перегрузка компрессора и др.).

Основные требования к автоматизации холодильной установки следующие: обеспечение безопасной работы холодильной машины, поддержание соответствия между холодопроизводительностью и тепловой нагрузкой, стабилизация температуры промежуточного хладоносителя и охлаждаемой среды.

При выборе способов регулирования, средств контроля и управления необходимо учитывать особенности холодильной установки как объекта автоматизации.

Помещения, где установлены холодильные машины, относятся к взрывоопасным. Поэтому к ним предъявляют повышенные требования безопасности.

Кроме того, из-за взрывоопасности помещения для аварийной защиты компрессора отключается электродвигатель привода. Двигатель выключается при возникновении любого из следующих условий: понижении давления в нагнетательной линии компрессора; повышении температуры или давления во всасывающей линии компрессора; нарушении подачи смазки или воды, охлаждающей компрессор; при отклонении уровня хладагента в испарителе, конденсаторе, ресивере или маслоотделителе.

Резкие суточные и сезонные изменения тепловых нагрузок приводят к необходимости применения позиционного регулирования холодопроизводительности (включение и выключение компрессора). В небольших пределах холодопроизводительность можно регулировать с помощью дросселирования на всасывающем трубопроводе компрессора. При этом необходимо поддерживать уровень в ресивере подачи в испаритель жидкого хладагента.

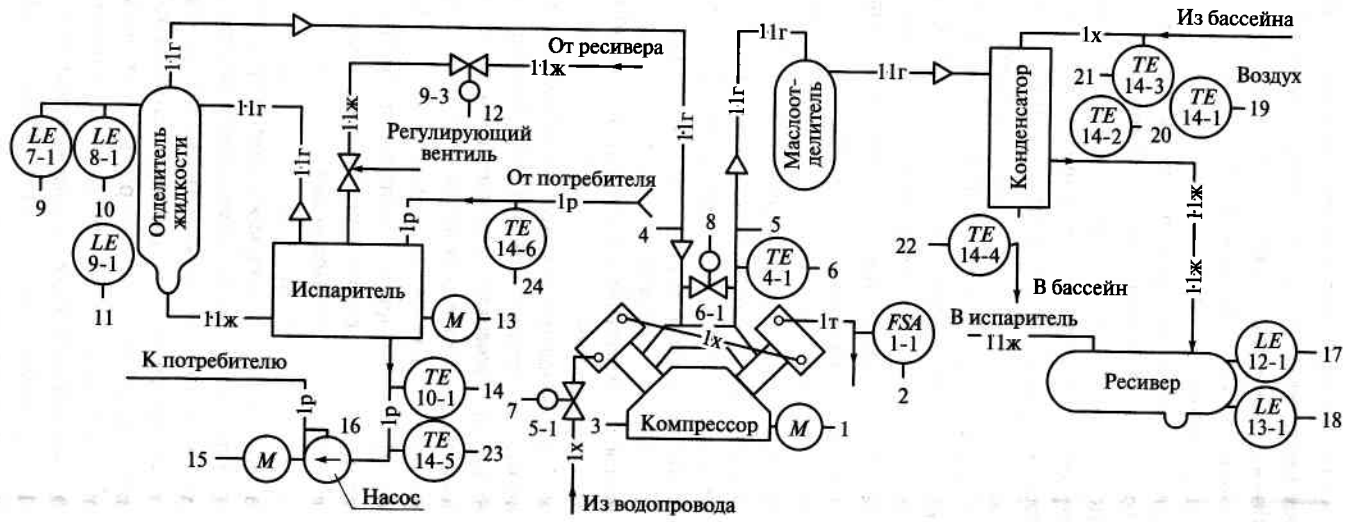
При включении компрессора необходимо обеспечить защиту электродвигателя от перегрузки. Соединение нагнетательного трубопровода со всасывающим на время, необходимое для разгона электродвигателя до номинальной скорости вращения, является наиболее простым и надежным способом защиты электродвигателя компрессора.

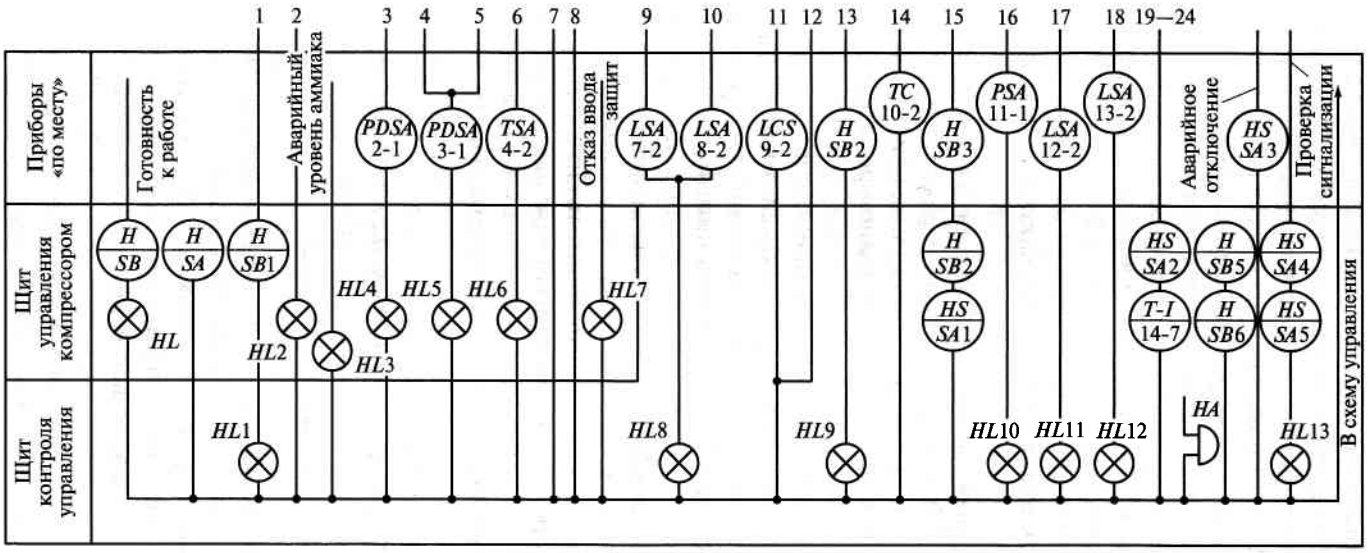
Схема автоматизации холодильной установки, работающей на аммиаке, показана на рис. 19.3. Компрессор всасывает пары аммиака из испарителя, сжимает их и через маслоотделитель нагнетает в конденсатор. В нем пары аммиака конденсируются за счет отбора теплоты охлаждающей водой, и жидкий аммиак из конденсатора, охлажденный в линейном ресивере, через регулирующий вентиль поступает в испаритель, где, испаряясь, охлаждает хладоноситель-рассол (ледяная вода).

Регулирующий вентиль служит для дросселирования жидкого аммиака, температура которого при этом снижается.

Схема автоматизации предусматривает автоматическое управление компрессором и противоаварийной защитой.

Автоматическое управление компрессором осуществляется по определенному алгоритму. Так, командой на автоматический пуск компрессора служит повышение температуры рассола на выходе из испарителя. Температурой рассола управляет регулятор *ТС* 10-2, датчик которого *ТЕ* 10-1 установлен на трубопроводе выхода рассола из испарителя.





Условные обозначения: —1х— — холодная вода; —1т— — отработанная вода; —1р— — рассол; —1·1г— — газообразный аммиак; —1·1ж— — жидкий аммиак

Рис. 19.3. Схема автоматизации холодильной установки

При работе компрессора в автоматическом режиме функционируют следующие *противоаварийные защиты*: от понижения разности давлений масла в системе смазки и картере применяют реле разности давлений *PDSA* 2-1, от понижения давления всасывания и повышения давления нагнетания — реле давления *PDSA* 3-1; от повышения давления нагнетания — реле температуры *TSA* 4-2; от отсутствия протока воды через охлаждающие рубашки — реле протока 1-1; от аварийного повышения уровня жидкого аммиака в отделителе жидкости — реле уровня *LSA* 7-2, *LSA* 8-2.

При пуске компрессора в автоматическом режиме открывается вентиль на подаче воды в охлаждающие рубашки и закрывается вентиль 6-1 на байпасе.

Уровень жидкого аммиака в испарителе автоматически регулируется реле уровня *LCS* 9-2, которое управляет работой вентиля 9-3, установленного на подаче жидкого аммиака в испаритель. Верхний и нижний уровни жидкого аммиака в линейном ресивере контролируются реле уровня *LSA* 12-2, *LSA* 13-2.

Давление рассола в нагнетательном трубопроводе контролируется реле давления *PSA* 11-1, а температура воздуха, аммиака, рассола, воды в контрольных точках холодильной установки — термопреобразователями *TE* 14-1 ... *TE* 14-6, подключенными к вторичному прибору *T-I* 14-7.

Автоматизация холодильных установок обеспечивает непрерывность производственного процесса, надежность и безопасность работы оборудования, предотвращение аварийных ситуаций, увеличение межремонтных сроков в результате достижения равномерности загрузки, повышение производительности труда, снижение себестоимости продукции, высокий экономический эффект.

19.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Комфортные условия для работы людей и техники в производственных помещениях, проведения технологических процессов, хранения сырья и готовой продукции создают с помощью установок кондиционирования воздуха, состоящие из ряда механизмов, двух смесительных камер и калориферов первого и второго подогрева.

В зимнее время при работе установки наружный воздух, всасываемый через патрубок в первую смесительную камеру, смешивается с циркуляционным воздухом помещения. Соотношение между расходами наружного и циркулирующего воздуха определяется положением заслонок на патрубках. Воздух очищается фильтром от пыли, нагревается в калорифере первого подогрева и попадает в форсуночную камеру, разбрызгивающую воду для увлажнения воздуха в зимнее время и для охлаждения его в летнее время. Из поддона форсуночной камеры вода к форсункам подается насосом. Температура в поддоне поддерживается путем циркуляции воды через холодильный агрегат. Влажный воздух, состояние которого характеризуется точкой росы, пройдя через брызгоотделитель, подогревается в зимнее время калорифером второго подогрева, приобретая заданные температуру и влажность. Воздух всасывается вентилятором и подается в помещение из расположенной за калорифером второй смесительной камеры вместе с добавкой воздуха вторичный рециркуляции в летнее время.

Показателями эффективности работы установки кондиционирования воздуха являются точность поддержания выходных параметров — температуры и влажности воздуха в помещении, а также расход энергии на нагревание, увлажнение или охлаждение воздуха. Эти показатели зависят от многих входных и промежуточных величин: температуры и влажности наружного воздуха, температуры воды в поддоне форсуночной камеры; температуры насыщенного воздуха после брызгоотделителя и других факторов.

Поддержание заданного уровня влагосодержания воздуха после брызгоотделителя и стабильной температуры воздуха, подаваемого в помещение, служит условием кондиционирования воздуха в помещении. Насыщение воздуха влагой обеспечивается мелким разбрызгиванием воды в форсуночной камере.

В зимнее время при недостаточной температуре насыщенного воздуха его низкое влагосодержание не позволит достичь необходимой влажности воздуха в помещении, а повышенная температура после брызгоотделителя вызовет переувлажнение воздуха.

В летнее время при отклонениях температуры насыщенного воздуха от заданной регулирование температуры воздуха в помещении за счет вторичной рециркуляции усложняется.

В связи с особенностями этого процесса основные требования к автоматизации следующие: стабилизация температуры насыщенного воздуха после брызгоотделителя, стабилизация температуры воздуха в кондиционируемом помещении с учетом температуры воздуха во второй смесительной камере.

Система кондиционирования воздуха является сложным объектом автоматизации для построения систем регулирования: из-за

распределенности параметров помещений и кондиционера, значительной постоянной времени и чистого запаздывания по каналам регулирования температуры, обусловленных большими размерами помещений, взаимосвязанности большинства параметров кондиционера, так как изменение одной из входных величин вызывает изменение сразу нескольких промежуточных и выходных параметров; значительных сезонных изменений параметров наружного воздуха, требующих различных способов введения регулирующих воздействий (зимой наружный воздух нагревают и увлажняют, летом охлаждают и осушают).

В связи с этим в летнее время поддержание относительной влажности воздуха в помещении достигается охлаждением наружного воздуха разбрызгиванием холодной воды в форсуночной камере. Температура воды в поддоне форсуночной камеры поддерживается с помощью холодильной установки. Первичная рециркуляция и калориферы в летнее время отключены. Нагрев до заданной температуры осуществляется добавлением к наружному воздуху во второй смесительной камере теплого воздуха вторичной рециркуляции из помещения. В зимнее время вторичная рециркуляция отключается, а температура воздуха поддерживается путем воздействия на подачу теплоносителя к калориферам. Регулирование относительной влажности воздуха в помещении по косвенному параметру обеспечивает высокую точность поддержания состояния точки росы после брызгоотделителя.

В связи со сложностью объекта с несколькими возмущающими воздействиями необходимо для этой системы применять многоконтурные автоматические системы регулирования с использованием информации об изменении промежуточных величин.

Системой автоматизации (рис. 19.4) предусмотрено автоматическое регулирование температуры насыщенного воздуха после брызгоотделителя, которое осуществляется с целью поддержать влагосодержание воздуха в помещении, изменяя подачу воды к форсункам. В зимнее время контролируются расход теплоносителя в калорифер первого подогрева и соотношение расходов воздуха, проходящего через калорифер и по отводному патрубку. В этой схеме применена двухконтурная структура автоматической системы регулирования с использованием в качестве дополнительного сигнала изменения температуры воздуха после калорифера первого подогрева. Сигнал об изменении температуры после калорифера воспринимает регулирующий блок 3-5 и вырабатывает сигнал рассогласования (отклонения), направленный на компенсацию возникающего изменения входных и промежуточных параметров.

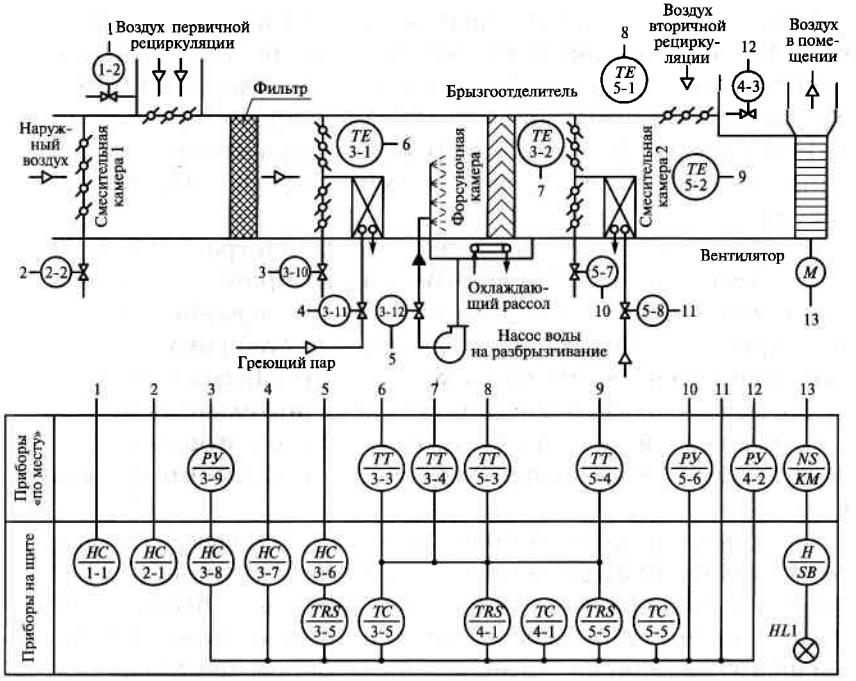


Рис. 19.4. Схема автоматизации кондиционирования воздуха

Если этого воздействия оказывается недостаточно для стабилизации выходной величины, регулирующий блок 3-5 вырабатывает добавочный корректирующий сигнал для доводки выходного параметра до заданного значения. Температура воздуха после калорифера и брызгоотделителя измеряется термометрами *TE* 3-1 и *TE* 3-2 с пневматической дистанционной передачей. Регулирующий блок 3-5 формирует сигнал, который от панелей управления *HC* 3-6 и 3-7, 3-8 поступает к исполнительным механизмам (клапаны) 3-11 и 3-12. Одновременно регулирующие воздействия вводятся секционной заслонкой с помощью исполнительного механизма 3-10 и регулирующими клапанами 3-11 и 3-12. Исполнительные механизмы 3-10 и 3-11 отключаются с панелей *HC* 3-7 и *HC* 3-8 в летнее время.

Температура воздуха в кондиционируемом помещении в зимнее время регулируется изменениями подачи теплоносителя к калориферу второго подогрева и соотношения расходов воздуха, проходящего через калорифер и по обводному патрубку. В летнее время температуры автоматически регулируются изменением подачи воз-

духа вторичной рециркуляции из помещения в смесительную камеру *2*. Для поддержания температуры и влажности воздуха в помещении применена двухконтурная система регулирования с использованием дополнительного сигнала изменения температуры воздуха в смесительной камере *2* после калорифера второго подогрева в зимнее время, а в летнее время — температуры воздуха после брызгоотделителя.

Температура воздуха измеряется термометрами 3-2, 5-1 и 5-2. В зимнее время регулирующий блок 5-5 воспринимает сигналы изменения температуры воздуха в смесительной камере *2* и в кондиционируемом помещении и вырабатывает стабилизирующее воздействие в зависимости от входного сигнала. Выходной сигнал регулирующего блока 5-5 передается исполнительному механизму *5-7* (секционной заслонке перед калорифером второго подогрева) и регулирующему клапану 5-8 на подаче теплоносителя в калорифер.

Регулирующий блок 5-5 в летнее время отключают, а температуру в помещении поддерживает регулятор, состоящий из преобразователей температуры 3-4 и 5-3, регулирующего блока 4-1, усилительного элемента 4-2 и исполнительного механизма 4-3, переставляющего секционную заслонку на трубопроводе подачи в смесительную камеру воздуха второй рециркуляции.

Параметры процесса кондиционирования автоматически контролируются и исполнительные механизмы дистанционно управляются с панелей дистанционного управления 3-6 ... 3-8, предназначенных для отключения исполнительных механизмов при переходе от одного сезонного режима работы к другому.

Исполнительными механизмами 1-2, 2-2 (секционными заслонками на патрубках первой рециркуляции и поступления наружного воздуха) управляют с панелей дистанционного управления 1-1 и 2-1.

Работа вентилятора сигнализируется лампой *HL*1 от блокировочных контактов магнитного пускателя электродвигателя вентилятора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие параметры регулируются при автоматизации котельной установки? **2.** В каких случаях осуществляется уменьшение подачи топлива к горелкам котельной установки? **3.** По какому принципу работают станции доочистки сточных вод? **4.** Раскройте сущность программы управления исполнительными устройствами на станции доочистки сточных вод. **5.** Каким образом осуществляется искусственное охлаждение? **6.** Назовите особенности холодильной установки. **7.** Какая противоаварийная защита предусмотрена при работе компрессора? **8.** Что представляет собой процесс кондиционирования воздуха? **9.** Поясните схему автоматизации кондиционирования воздуха.

Глава 20

СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

20.1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА

Тепловую обработку молока с его механической очисткой проводят в пластинчатых теплообменных установках.

На рис. 20.1 приведена схема автоматизации трехсекционной пластинчатой пастеризационно-охладительной установки. Установка состоит из приемного бака; насоса *1* подачи продукта; пластинчатого теплообменного аппарата с секциями регенерации, пастеризации и охлаждения; сепаратора-молокоочистителя; выдерживателя; насоса *2* горячей воды; инжектора и бойлера.

Молоко поступает в секцию регенерации и далее в секцию пастеризации, где нагревается горячей водой. Температура пастеризации контролируется, регистрируется и регулируется автоматическим самопишущим мостом с контактным устройством и пневматическим ПИ-регулятором 3-2.

Контактное устройство моста управляет переключающим клапаном 3-6 возврата недопастеризованного молока через промежуточный электропневмоклапан *CY* 3-5, при этом звенит звонок *HA*1, а ПИ-регулятор управляет регулирующим клапаном 3-4 подачи пара в инжектор. В качестве первичного преобразователя используют термометр сопротивления 3-1.

Схемой предусмотрено операторное управление клапанами: регулирующим с помощью байпасной панели 3-3 и переключающим с помощью ключа *SA*2. Ключ *SA*1 служит для выбора режима управления переключающим клапаном.

Для контроля срабатывания переключающего клапана служит микропереключатель *4-1* с сигнальной лампой *HL*2. Температура охлаждения молока контролируется автоматическим самопишущим мостом 5-2 в комплекте с термометром сопротивления 5-1.

Расход молока, поступающего в установку, поддерживается специальным ротаметрическим стабилизатором расхода *FC* 2-1, а регулирование уровня в приемном баке — поплавковым регулятором уровня прямого действия *LC* 1-1.

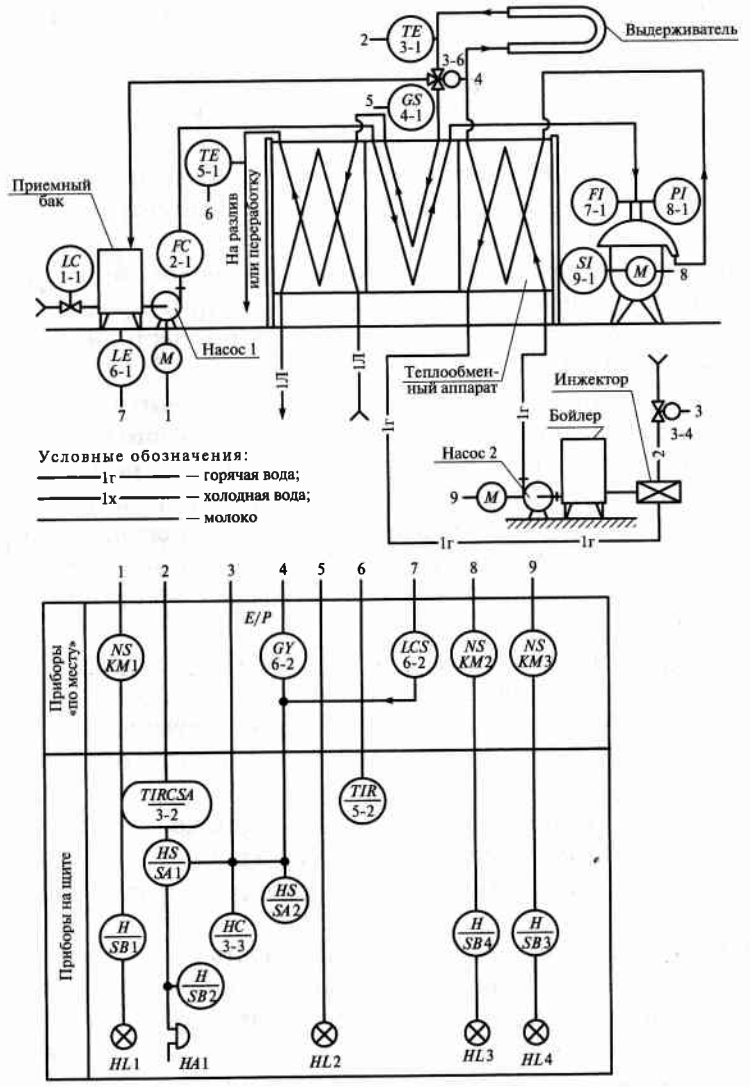


Рис. 20.1. Схема автоматизации пластинчатой пастеризационной установки

Во избежание попадания воздуха в установку при аварийном снижении уровня молока в приемном баке в нем установлены датчик нижнего уровня 6-1 и сигнализатор уровня 6-2). При прекращении подачи молока в резервуар сигнализатор уровня переключает возвратный клапан 3-6 через электропневмоклапан 3-5 на возврат охлажденного молока в приемный бак. При этом установка продолжает работать по замкнутому циклу до возобновления поступления молока в приемный бак.

Электродвигатели насосов подачи молока, горячей воды и сепаратора управляются оператором с помощью кнопочных станций *SB*1, *SB*3, *SB*4.

Сепаратор-молокоочиститель оснащен приборами местного контроля: ротаметрическим расходомером 7-1, манометром 8-1 и тахометром 9-1.

Для высокотемпературной пастеризации молока при производстве, например, некоторых видов кисломолочных продуктов, продуктов детского питания применяют трубчатые пастеризационные установки (рис. 20.2).

Уровень молока в приемном баке поддерживается постоянным с помощью поплавкового регулятора уровня прямого действия 1-1.

Для автоматического контроля, регистрации и регулирования температуры пастеризации молока установлен автоматический самопишущий мост 2-2 с пневматическим ПИ-регулятором и контактным устройством. Мост работает в комплекте с термометром сопротивления 2-1, установленным на выходе из 2-й секции трубчатого теплообменника.

Регулирующее устройство моста воздействует на клапан 2-4 с мембранным пневматическим приводом, изменяя поступление пара во вторую секцию, и поддерживает заданную температуру пастеризации. Для операторного управления клапаном используется байпасная панель 2-3.

При снижении температуры пастеризации контактное устройство моста через электропневмоклапан 2-5 переключает трехходовой пневмоклапан 2-6 на возврат молока в приемный бак. При этом звенит звонок *HA*1.

При срабатывании клапана возврата срабатывает микропереключатель 3-1 клапана и на щите оператора загорается лампа *HL*1, сигнализирующая о срабатывании клапана. Для операторного управления клапаном служит ключ *SA*2. Ключом *SA*1 выбирают режим управления.

Регулирование давления пара, поступающего в 1-ю секцию теплообменника, выполняется регулятором прямого действия 4-1. По месту давление пара контролируется манометрами 8-1, 9-1.

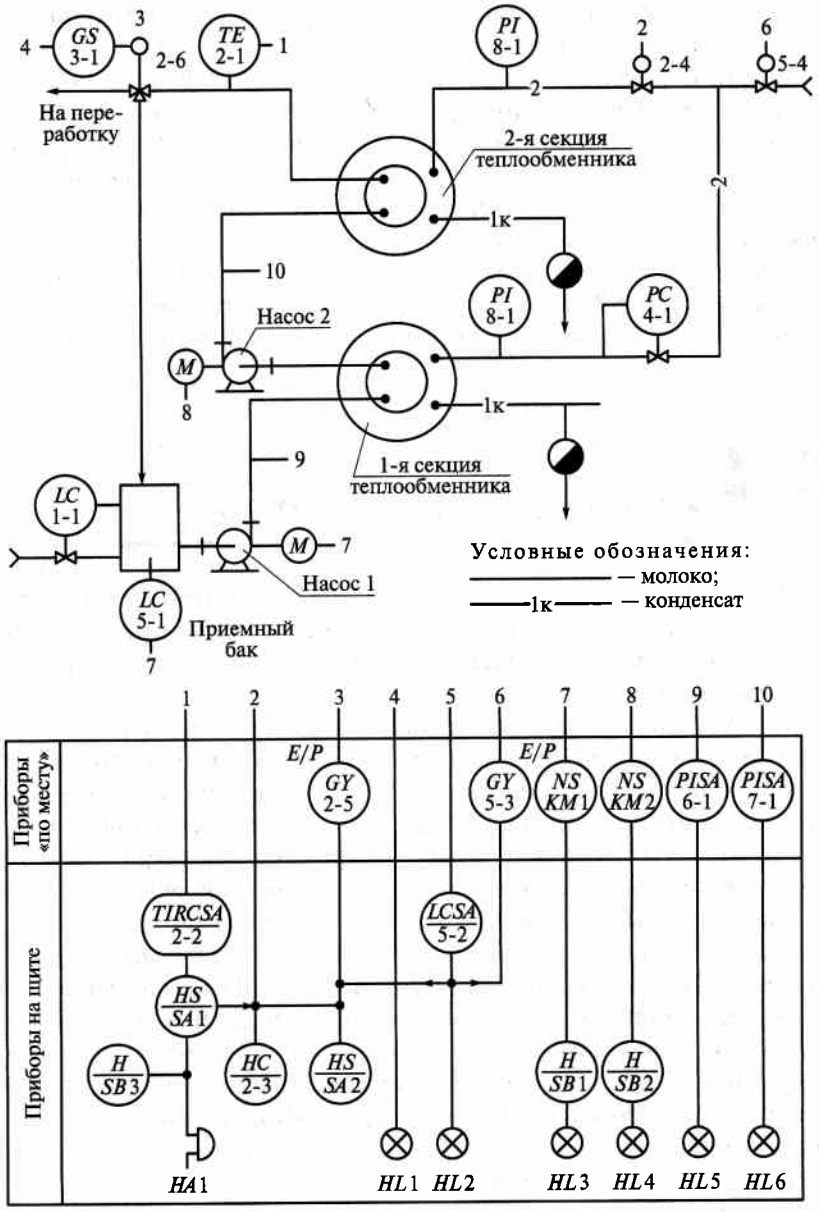


Рис. 20.2. Схема автоматизации трубчатой пастеризационной установки

Для исключения подсоса воздуха в установку при аварийном прекращении подачи молока и снижении его уровня в приемном баке служит датчик нижнего уровня 5-1 кондуктометрического сигнализатора 5-2. Когда уровень молока опустится ниже датчика 5-1, сигнализатор переключает клапан 2-6 на возврат молока. Одновременно через электропневмоклапан 5-3 клапан 5-4 с мембранным приводом отсекает поступление пара в установку, а на щите загорается сигнальная лампа *HL*2.

Электродвигателями насосов управляет оператор со щита с помощью кнопок *SB*1 и *SB*2. Работа насосов контролируется по давлению в трубопроводах электроконтактными манометрами 6-1, 7-1.

20.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОМОЛОЧНЫХ НАПИТКОВ

Технологический процесс производства кисломолочных напитков состоит из четырех самостоятельных операций: приготовления производственной закваски, подготовки молока к сквашиванию, сквашивания молока и фасования продукта.

Подготовленным для автоматизации является процесс, основанный на резервуарном способе производства кисломолочных напитков. Молоко после охлаждения в пастеризационно-охладительной установке до температуры (23±2) °С поступает в резервуары для кисломолочных напитков, куда одновременно из заквасочного отделения насосом подается производственная закваска. Заквашенное молоко в резервуаре непрерывно перемешивается мешалкой в течение заданного времени. После отключения мешалки продукт сквашивается до кислотности с показателем pH 4,6 ± 0,05, охлаждается подаваемой в рубашку резервуара холодной водой и перемешивается мешалкой по заданной программе. По достижении температуры (15 + 1) °С продукт готов для фасования, мешалку выключают и прекращают подачу охлаждающей воды. Кисломолочные напитки фасуют на механизированных линиях как в стеклянную тару, так и в бумажные пакеты.

На рис. 20.3 показана схема автоматизации резервуара для сквашивания молока. Для заполнения резервуара молоком оператор с помощью ключа *SA*1 через промежуточный электропневмоклапан 1-1 переводит трехходовой пневмовентиль 1-2 в режим заполнения резервуара.

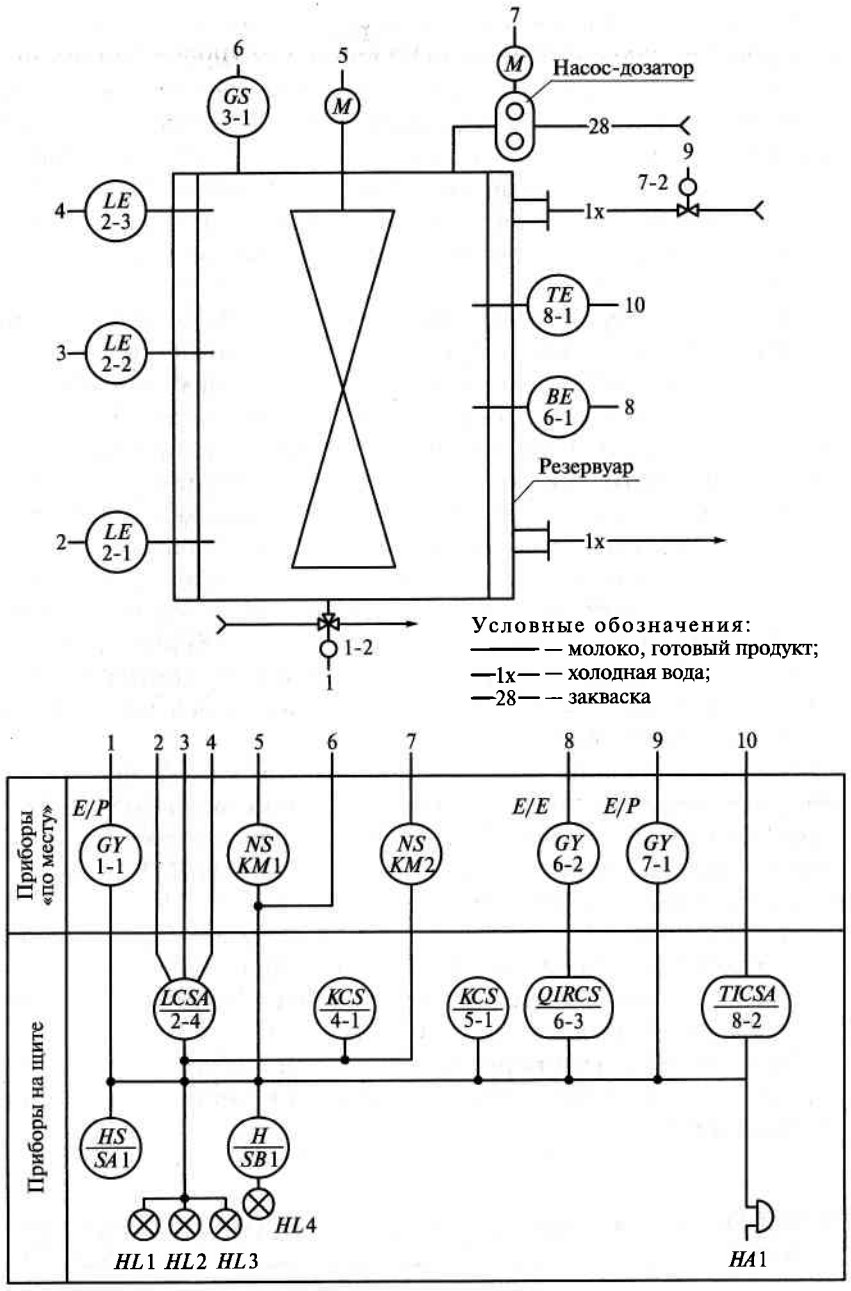


Рис. 20.3. Схема автоматизации резервуара для сквашивания молока

Уровень продукта в резервуаре контролируется кондуктометрическим сигнализатором уровня 2-4 с тремя датчиками: нижнего 2-1, среднего 2-2 и верхнего 2-3 уровней. По достижении продуктом датчика среднего уровня сигнализатор включает электродвигатель мешалки и реле времени 4-1, которое в свою очередь включает на заданное время электродвигатель насоса-дозатора закваски.

Системой автоматизации предусмотрена блокировка включения мешалки при открытой крышке люка резервуара от микропереключателя 3-1.

После заполнения резервуара от датчика верхнего уровня сигнализатора уровня отключается мешалка и включается программное устройство 5-1. Программное устройство включает систему контроля кислотности продукта в резервуаре, состоящую из погружного датчика 6-1, высокоомного электронного преобразователя 6-2 и автоматического самопишущего потенциометра 1300 с контактным устройством 6-3. Одновременно по заданной программе командное устройство включает и отключает мешалку.

По достижении заданного водородного показателя pH продукта контактное устройство потенциометра включает через промежуточный пневмоэлектрический клапан 7-1 пневмоклапан подачи холодной воды в рубашку резервуара 7-2 и систему контроля температуры, состоящую из термометра сопротивления 8-1 и логометра с контактным устройством 8-2.

После достижения заданной температуры контактное устройство логометра отключает командный прибор, включает мешалку, закрывает клапан подачи холодной воды, переводит клапан 1-2 на выпуск продукта из резервуара и включает звонок *HA*1, сигнализирующий об окончании процесса сквашивания.

После снижения уровня ниже датчика среднего уровня отключается электродвигатель мешалки, а после опорожнения резервуара клапан 1-2 переводится в положение на заполнение — резервуар подготовлен к последующей мойке.

На время мойки блокируются все системы автоматизации сквашивания (сама система мойки резервуара в данной главе не рассматривается).

20.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТВОРОГА

При производстве творога на линии Я9-ОПТ-2,5 полученный сгусток-сырье направляется винтовым насосом на тепловую обработ-

ку в аппарат ТОС (рис. 20.4) представляющий собой теплообменник типа «труба в трубе» и имеющий три секции: нагрева, выдержки и охлаждения. Сгусток нагревается горячей водой.

Винтовой насос имеет привод с регулятором частоты вращения ротора электродвигателя 1-1.

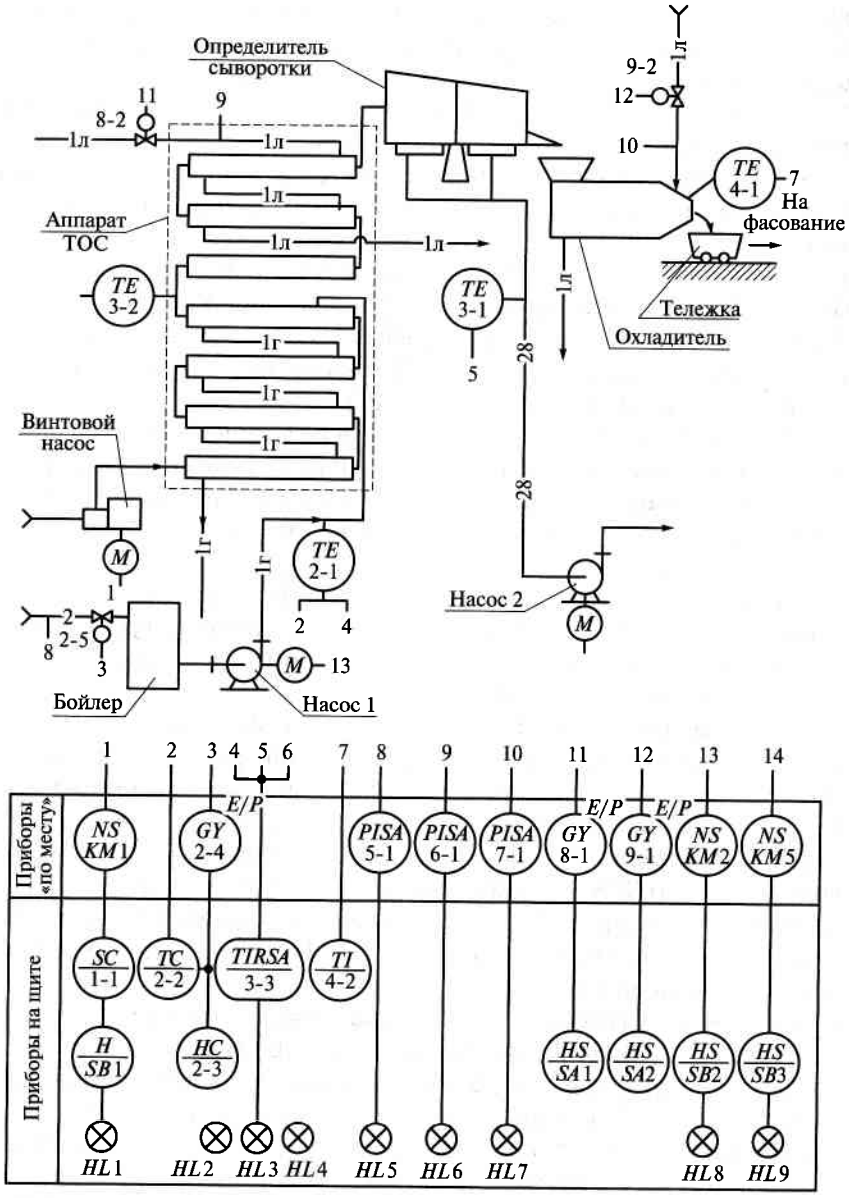
Температура сгустка регулируется путем изменения подачи пара в бойлер комплектом приборов, состоящим из двойного термометра сопротивления 2-1, один выход которого соединен с регулирующим прибором 2-2. Последний управляет клапаном подачи пара в бойлер 2-5 через аналоговый электропневмопреобразователь 2-4. Таким образом, температура нагрева сгустка регулируется изменением температуры греющей воды. В операторном режиме клапаном управляют через байпасную панель 2-3.

Температуры горячей воды на входе в секцию подогрева аппарата ТОС, сгустка на выходе из секции нагрева и отделяемой сыворотки регистрируются трехточечным автоматическим самопишущим мостом 3-3 с позиционными контактными устройствами по каждому каналу.

В качестве датчиков используют двойной термометр сопротивления 2-1 и одинарные термометры 3-1, 3-2. Температура творога после охладителя контролируется логометром 4-2 в комплекте с термометром сопротивления 4-1.

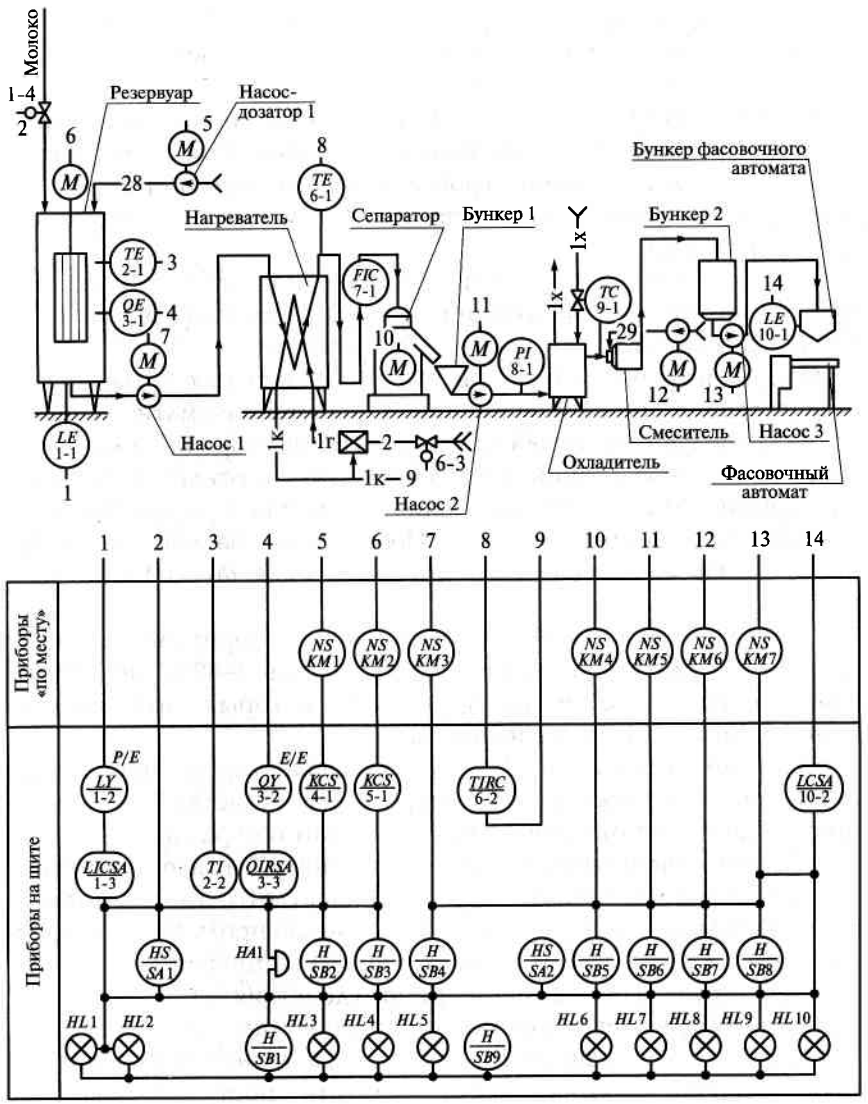
Давление пара, а также подача воды в секцию охлаждения аппарата ТОС и охладитель контролируются электроконтактными манометрами 5-1, 6-1, 7-1 с сигнализацией снижения давления ниже нормы. Работой циркуляционного насоса *1* для воды и насоса *2* для откачки сыворотки, а также клапанами подачи рассола (ледяная вода) в аппарат ТОС и охладитель управляет оператор с помощью кнопочных станций *SB*1, *SB*2 и *SB*3 и ключей управления *SA*1 и *SA*2. Управление запорными клапанами 8-2, 9-2 выполняется через электропневмоклапаны 8-1, 9-1.

Схема автоматизации производства мягкого творога представлена на рис. 20.5. Молоко подается в резервуар для его сквашивания. Уровень в резервуаре контролируется гидростатическим мембранным датчиком 1-1, который через пневмоэлектропреобразователь 1-2 передает величину контролируемого параметра на показывающий прибор 1-3 с двумя контактными задатчиками (милливольтметр). При достижении верхнего уровня, контактное устройство милливольтметра (max) закрывает клапан подачи молока 1-4 и включает систему контроля кислотности продукта, насос-дозатор *1* подачи закваски и электродвигатель мешалки, при этом загорается сигнальная лампа *HL*1.



Условные обозначения:
——— — сгусток;
—28— — сыворотка

Рис. 20.4. Схема автоматизации тепловой обработки сгустка и получение творога на линии Я9-ОПТ-2,5



Условные обозначения:
—1г— — горячая вода;
—1х— — холодная вода;
—1к— — конденсат;
—28— — закваска;
—29— — сливки

Рис. 20.5. Схема автоматизации производства мягкого творога

Временем работы насоса-дозатора управляет реле времени 4-1, а работой электродвигателя мешалки, по заданной временной программе, командный прибор 5-1.

Кислотность продукта контролируется электронным блоком *pH*-метра 3-2, работающем в комплекте с датчиком 3-1 и электронным самопишущим потенциометром с контактным устройством 3-3. Температура сквашивания измеряется логометром 2-2 с термометром сопротивления 2-1.

При достижении заданной кислотности получаемого сгустка контактное устройство потенциометра 3-3 включает звонок *HA*1. Кнопка *SB*1 служит для съема звукового сигнала.

Оператор кнопочной станцией *SB*4 включает насос *1* откачки сгустка из резервуара. Одновременно включается автоматическая система последующей обработки сгустка. При опорожнении резервуара контактное устройство милливольтметра отключает автоматизированную систему сквашивания молока в резервуаре, при этом загорается сигнальная лампа *HL*2. Последующее заполнение резервуара производит оператор с помощью переключателя 1, открывая клапан 1-4.

Перекачиваемый насосом сгусток проходит через пластинчатый нагреватель, где требуемая температура нагрева (–60 °С) поддерживается манометрическим регулятором 5-2, который управляет клапаном 5-3 подачи пара в смеситель.

Подогретый сгусток проходит через сепаратор, где происходит отделение сыворотки. Стабилизация подачи сгустка в сепаратор производится ротаметрическим стабилизатором расхода 7-1.

Обезвоженный сгусток поступает в бункер 1 и далее шестеренным насосом 2 перекачивается в охладитель, где охлаждается холодной водой до температуры (8±2) °С. Давление продукта на входе в охладитель контролируется манометром 8-1. Температура охлаждения регулируется регулятором прямого действия 9-1.

После охладителя творожный сгусток поступает в смеситель, где в него добавляются сливки. Объем сливок, подаваемых в смеситель, регулируют вручную, изменяя производительность насоса-дозатора 2 по показаниям ротаметра 7-1.

Готовый творог поступает в бункер фасовочного автомата. В нем размещен датчик 10-1 сигнализатора уровня 10-2, управляющий работой насоса *3* подачи творога в бункер. О превышении уровня сигнализирует лампа *HL*10.

Лампы *HL*3 ... *HL*9 сигнализируют о работе электродвигателей мешалки, сепаратора и насосов. Переключатель *SA*2 служит для переключения работы схемы с автоматического на операторный и

обратно. Кнопка *SB*9 предназначена для опробывания сигнализации.

20.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МЯСА

Автоматизация управления холодильными камерами. Для увеличения срока хранения мясопродуктов их охлаждают, замораживают и хранят при низкой температуре. Схема автоматизации комплексной холодильной обработки мясопродуктов показана на рис. 20.6.

Микропроцессор централизованного контроля и регулирования контролирует и поддерживает постоянной температуру (4 °С) в камерах хранения буженины. В контур регулирования входят термопреобразователь сопротивления 1-1, установленный в камере и электромагнитный клапан 2-1, установленный на трубопроводе подачи хладагента.

Микропроцессор 14-1 контролирует и поддерживает постоянной температуру (2 °С) в тоннеле для охлаждения колбас. В контур регулирования входят термопреобразователь сопротивления 3-1 и электродвигатели вентиляторов в калорифере 1-й ступени *KM*1 и *KM*2, а также электродвигатели вентиляторов в калорифере 2-й ступени *KM*3 и *KM*4. Лампы *HL*1 ... *HL*4 сигнализируют о работе электродвигателей.

Сигнал «Размораживание» подается датчиками — реле температуры 4-1 и 4-2, а также сигнальным табло *HL*5. Машина централизованного контроля и регулирования через каждые 3 ч отключает на 15 мин соленоидные мембранные вентили 5-1 и 6-1 подачи рассола для размораживании калориферов.

Микропроцессор 14-1 контролирует и поддерживает постоянной температуру (–20 °С) в камере подморозки шпика. В контур регулирования входят термопреобразователь сопротивления *7-1* и соленоидный мембранный вентиль 10-1. Схемой предусмотрено открытие соленоидного вентиля 9-1 при работе и закрытие его при размораживании, открытие вентиля 11-1 через 20 мин после начала размораживания и закрытие его при работе, открытие вентиля 12-1 через 10 мин после начала размораживания и закрытие его при работе. При размораживании включается электрообогрев сливных труб, который через 60 мин отключается.

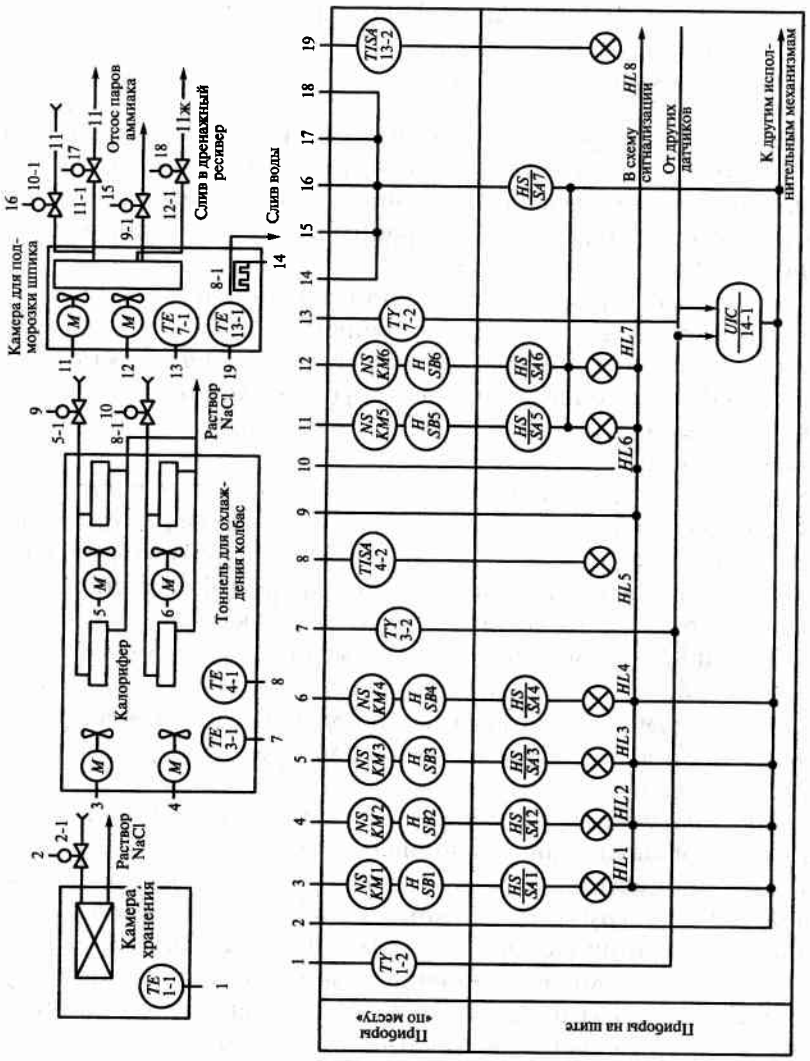


Рис. 20.6. Схема автоматизации холодильных камер

Микропроцессор централизованного контроля и регулирования также управляет отключением электродвигателей вентиляторов *KM*5 и *KM*6 при размораживании и включением при работе. Лампы *HL*6 и *HL*7 сигнализируют о работе электродвигателей. Сигналы о процессе оттайки подаются реле температуры 13-1 и 13-2 и сигнальным табло *HL*8.

Местное управление электродвигателями осуществляется соответствующими кнопочными выключателями *HSB*1 ... *HSB*6. Для перехода на дистанционное управление служат переключатели *SA*1 ... *SA*6.

Регулирование температурного режима и удаление инея с приборов охлаждения в камерах с положительной температурой осуществляются автоматически в соответствии с заданной программой.

Температурный режим в камерах с отрицательной температурой (за исключением камер замораживания мяса) регулируется автоматически, а иней с приборов охлаждения снимают вручную при работе в режиме «Размораживание».

Автоматизация размораживания мяса. Мясо из холодильной камеры, направляемое на промышленную переработку, размораживается воздухом, паровоздушной смесью или токами высокой частоты.

В настоящее время широко применяют размораживание мяса в полутушах методом воздушного душирования. По этому методу воздух, имеющий температуру 20 °С и относительную влажность 90 ... 95 %, направляется сверху вниз вдоль полутуш со скоростью от 2 м/с на уровне бедра до 1 м/с на уровне лопаток. Процесс размораживания заканчивается по достижении температуры в толще бедра 1 °С.

Динамическая характеристика камеры размораживания позволяет реализовать позиционный закон регулирования, в результате чего появляется возможность удовлетворить технологические требования к системе автоматизации и использовать средства автоматизации невысокой стоимости.

Схемой автоматизации процесса размораживания мяса (рис. 20.7) предусматриваются автоматическое регулирование температуры воздуха в камере размораживания, управление электродвигателями вентиляторов, блокировка работы электродвигателей вентиляторов. Кроме того, предусматривается программное управление технологическим процессом как по времени, так и по температуре мяса в толще бедра. Система предусматривает также ручное управление процессом.

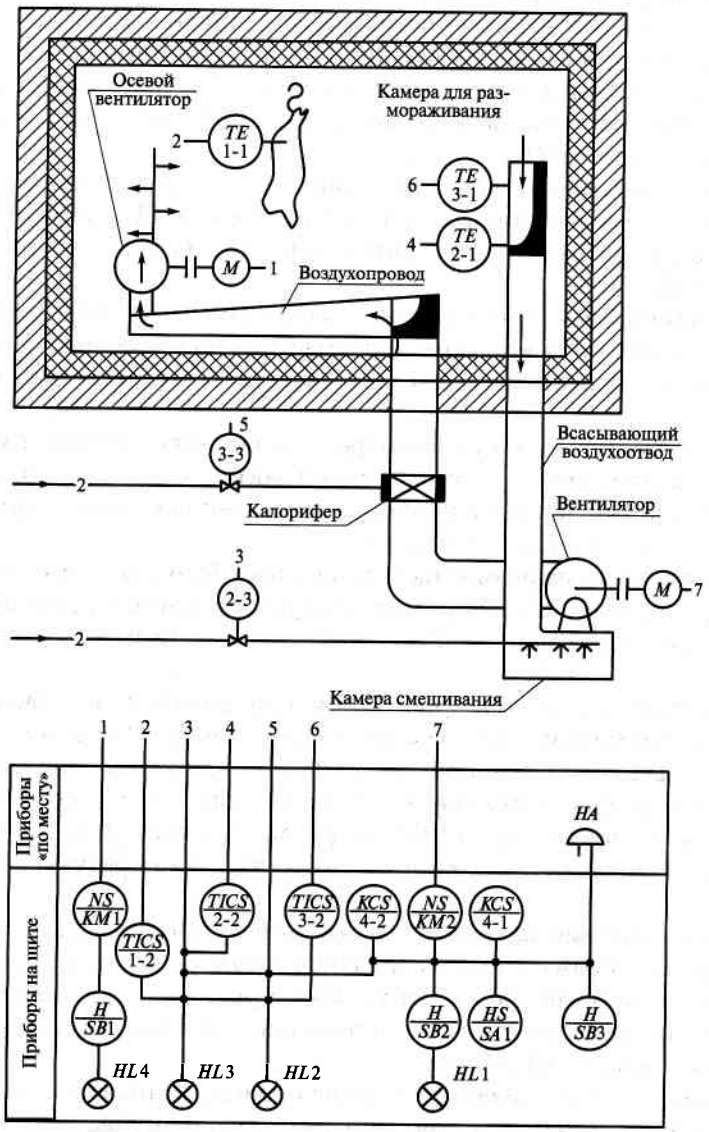


Рис. 20.7. Схема автоматизации процесса размораживания мяса в полутушах

После загрузки камеры оператор включает электродвигатель осевого вентилятора обдува полутуш горячим воздухом, поступающим по воздухопроводу (вентиляторы, не показанные на схеме, также включаются).

С помощью ключа управления *SA*1 оператор устанавливает режим «по времени» или «по температуре». Затем кнопкой *SB*3 он включает звонок *HA* вблизи электродвигателя вентилятора и реле времени 4-1; через заданное время звонок *HA* выключается и включается электродвигатель вентилятора.

Заданная температура в камере поддерживается с помощью термометра сопротивления 3-1 и вторичного прибора 3-2, который позволяет управлять исполнительным механизмом 3-3 с клапаном, установленным на паропроводе подачи пара в калорифер. О положении клапана сигнализирует лампа *HL*2.

Температура воздуха в камере регулируется по двухпозиционному закону: при падении температуры воздуха в камере ниже заданной клапан подачи пара в калорифер открывается, при достижении заданной температуры клапан закрывается.

Влажность воздуха в камере регулируется по психрометрической разности между температурами сухого 3-1 и смоченного 2-1 термометров сопротивления, установленных в непосредственной близости к входу всасывающего воздухопровода.

Термометр сопротивления 2-1 подключен к регулирующему прибору 2-2, который в случае уменьшения влажности от заданной (температура смоченного термометра увеличивается и психрометрическая разность уменьшается) включает исполнительный механизм и открывает клапан 2-3, смонтированный на линии подачи пара в камеру смешивания. О положении клапана сигнализирует лампа *HL*3.

При ведении процесса «по времени» необходимая длительность размораживания устанавливается на реле времени 4-2. По истечении заданного времени реле подает сигнал исполнительным механизмам 2-3 и 3-3, которые закрывают паровые клапаны и прекращают подачу пара в камеру смешивания и в калорифер.

При ведении процесса размораживания «по температуре» игольчатую термопару 1-1 помещают в толщу бедра и с помощью вторичного прибора (потенциометра) 1-2, имеющего контактное устройство, контролируют температуру в полутуше. После достижения заданной температуры контактное устройство вторичного прибора дает сигнал исполнительным механизмам 2-3 и 3-3, прекращающим подачу пара.

20.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Автоматизация термической обработки. Термические отделения современных мясоперерабатывающих заводов оснащены высокопроизводительным оборудованием для тепловой обработки колбасных изделий. На большинстве предприятий используют универсальные термокамеры, в которых осуществляется полный цикл термической обработки колбасных изделий.

Автоматизация термической обработки вареных колбас состоит из подсушки, обжарки и варки. Подсушка ведется только по времени, а обжарку и варку можно вести по температуре внутри батона и по времени. Наиболее удобно процесс термообработки колбас вести по температуре внутри батона, а сосисок и сарделек — по времени. Схема автоматизации, приведенная на рис. 20.8, предусматривает контроль за давлением пара, поступающего на увлажнение, запись, автоматическое регулирование температуры и влажности, дистанционное управление заслонками и сигнализацию о протекании процесса варки и об его окончании, автоматическую блокировку.

Давление пара, поступающего на увлажнение в камеру, а также в калорифер для обогрева, контролируется манометрами 1-1 и 2-1. Температура в камере в процессе подсушки, обжарки и варки контролируется, записывается и регулируется автоматическим психрометром 3-2 в комплекте с первичным преобразователем 3-1, установленным в камере. По разности температур смоченного и сухого термометров преобразователя определяется влажность паровоздушной среды в камере. При отклонении температуры и влажности от заданных значений позиционное регулирующее устройство моста подает сигнал на замыкание цепи питания трех электрических исполнительных механизмов: 3-3, установленного на паропроводе подачи пара в калорифер; 3-4, установленного на паропроводе подачи пара в увлажнитель, и 3-5 запорного клапана.

Кроме того, автоматическое регулирование температуры в камере осуществляется по температуре внутри батона потенциометром 7-2 с регулирующим трехпозиционным устройством, в контур регулирования которого входят игольчатая термопара 7-1, вставляемая внутрь колбасного батона, и исполнительные механизмы 3-3, 3-4 и 3-5.

Процесс термической обработки можно вести по времени. С этой целью используют блоки-реле 4-1 (для подсушки), 5-1 (для варки) и 6-1 (для обжарки).

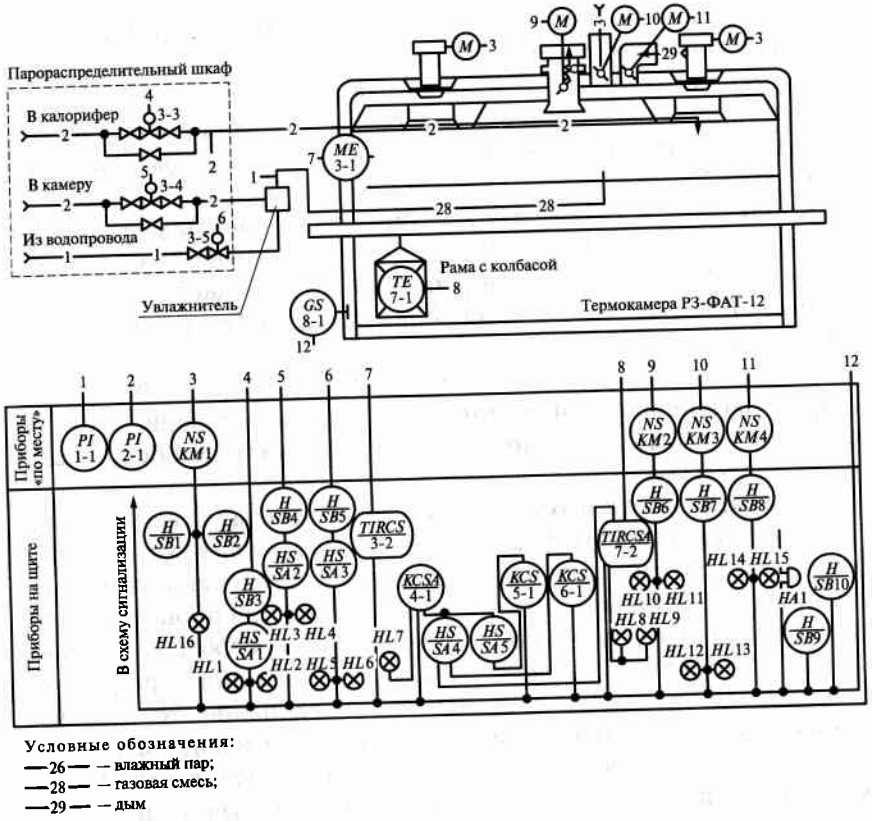


Рис. 20.8. Схема автоматизации технологического процесса в термокамере

Со щита управления предусмотрено дистанционное управление электродвигателями заслонок выброса газовой смеси из термокамеры, подачи наружного воздуха и подачи дыма в термокамеру с помощью кнопок *SB*6, *SB*7 и *SB*8. Лампы *HL*10 ... *HL*15 сигнализируют о работе электродвигателей.

Схемой автоматизации предусмотрена световая сигнализация варки — табло *HL*8 и окончания процесса — табло *HL*9. Световое табло *HL*7 сигнализирует об окончании процесса подсушки (по времени).

Дистанционное управление механизмами 3-3, 3-4 и 3-5 осуществляется кнопочными станциями *SB*3, *SB*4, *SB*5. Лампы *HL*1 ... *HL*6 сигнализируют об их работе.

В схему введена автоматическая блокировка, предусматривающая прекращение подачи пара в термокамеру при открытии дверей; эту функцию выполняет конечный выключатель 8-1. Исполнительные механизмы 3-3, 3-4 и 3-5 перекрывают трубопроводы подачи пара в калорифер и камеру увлажнения, а также воды в увлажнитель.

Кнопки *SB*1 и *SB*2 служат для управления электродвигателями подъема заслонок, а лампа *HL*16 — для подачи сигналов об их работе. Звуковой сигнал об окончании процесса подает звонок *HA*1. Кнопка *SB*9 служит для опробования звукового сигнала, а кнопка *SB*10 — для его снятия.

Автоматизация процесса термической обработки колбас способствует повышению производительности труда, улучшению качества продукции и созданию благоприятных условий труда обслуживающему персоналу.

Автоматизация коптильной камеры. Коптильную камеру перед загрузкой прогревают. Сначала продукт подсушивают в течение заданного времени, а затем температуру в коптильной камере доводят до значения, необходимого для проведения процесса копчения. Камера может работать в режимах горячего (50 °С) и холодного (20 °С) копчения. Продолжительность копчения определяется видом продукта. Температурный режим поддерживается дымовоздушной смесью, нагреваемой в калориферах, и холодной водой.

Комплекс приборов коптильной камеры обеспечивает автоматический контроль всех производственных параметров и программное управление технологическим процессом.

Схема автоматизации коптильной камеры, приведенная на рис. 20.9, предусматривает контроль разрежения в камере, контроль и регулирование давления пара и воды в трубопроводах, плотности дыма в камере, температуры дымовоздушной смеси, программное управление циклом горячего и холодного копчений, местное и дистанционное управление электродвигателями.

Разрежение в коптильной камере контролируется вакуумметром 4-1, давление пара — манометром 5-1, а его регулирование осуществляется регулятором прямого действия 8-1, установленным на трубопроводе подачи пара в калорифер. Давление воды в трубопроводе контролируется манометром 6-1, а регулирование осуществляется регулятором прямого действия 9-1, установленным на трубопроводе подачи воды в калорифер.

Концентрация дыма в коптильной камере определяется фотоэлектрическим прибором 7-4 со станцией управления в комплекте с датчиком 7-1, нормирующим преобразователем 7-2, электропнев-

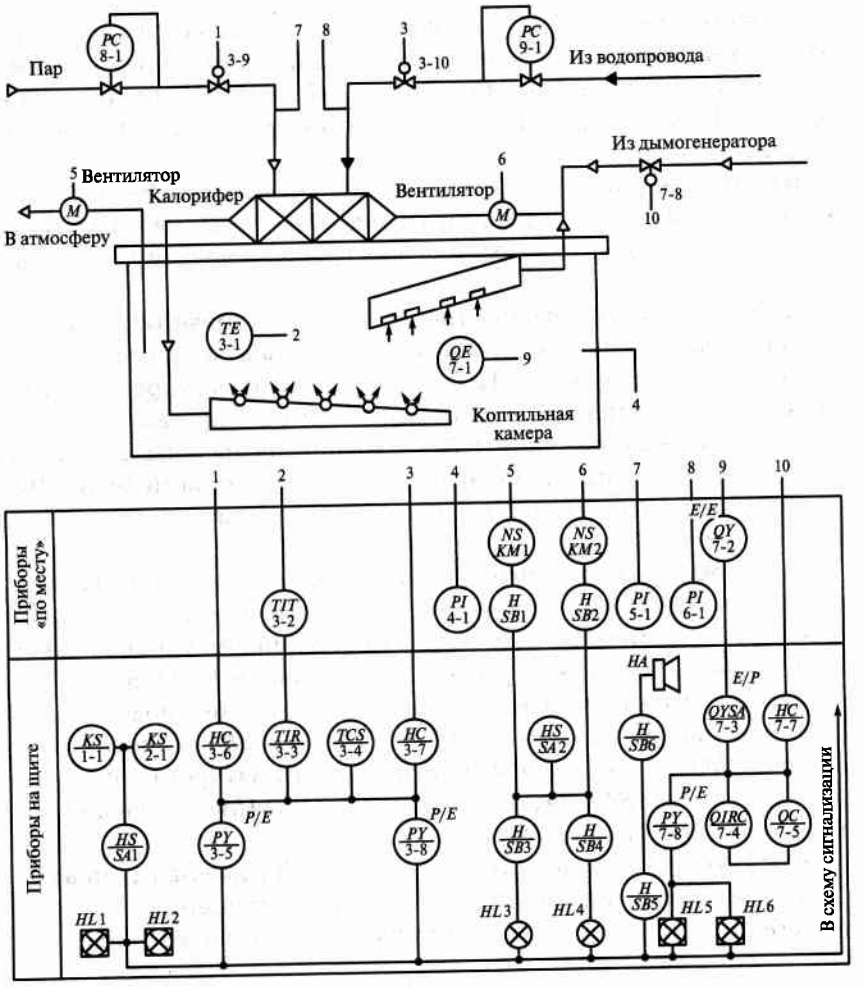


Рис. 20.9. Схема автоматизации камеры коптильной

матическим преобразователем 7-3 с сигнализацией. Сигналы с помощью преобразователя 7-6 подаются на световые табло *HL*5 и *HL*6. Плотность дыма в коптильной камере регулируется устройством 7-5.

В контур регулирования входят все перечисленные устройства контроля, за исключением преобразователя 7-6 и регулирующего клапана с мембранным приводом. Байпасная панель 7-7 служит для дистанционного управления приводом 7-8.

Температура дымовоздушной смеси контролируется манометрическим термометром 3-2 с термобаллоном, установленным в камере. Прибор 3-2 передает пневматический сигнал вторичному прибору 3-3. Температура регулируется позиционным пневматическим регулятором 3-4.

В контур регулирования входят байпасные панели 3-6 и 3-7, преобразователи 3-5, 3-8 и регулирующие клапаны 3-9 и 3-10 с мембранным приводом, установленные на трубопроводе подачи воды и пара.

Программное управление циклом горячего копчения осуществляется командными приборами 1-1 и 2-1 управляющими исполнительными механизмами 3-9 и 3-10. Переключатель управления *SA*1 служит для подключения приборов 1-1 или 2-1 при выборе цикла копчения. Байпасные панели 3-6 и 3-7 предназначены для дистанционного управления исполнительными механизмами 3-9 и 3-10.

Световые табло *HL*1 и *HL*2 сигнализируют о подключении приборов 1-1 или 2-1.

Местное управление электродвигателями вентилятора выброса отработанной дымовоздушной смеси и вентилятора подачи дыма и рециркуляционной смеси производится кнопками управления *SB*1 и *SB*2, а дистанционное управление — кнопками *HB*3 и *SB*4.

Лампы *HL*3 и *HL*4 сигнализируют о работе электродвигателей. Опробование сигнала производится кнопкой *SB*5, а снятие его — кнопкой *SB*6. Работа электродвигателей вентиляторов блокируется переключателем *SA*2. Звуковой сигнал сирены *HA* оповещает о предельном значении параметра.

В результате автоматизации коптильной камеры улучшаются санитарные условия в производственных помещениях, снижается себестоимость продукции и повышается производительность труда.

Автоматизация ротационной печи с электрическим обогревом. Несмотря на различие конструкций агрегатов для запекания мясопродуктов и видов термообработки, общность главных назначений печей и термоагрегатов (получение теплоты и ее передача) приводит к тому, что ряд узлов систем автоматического регулирования этих объектов служит для выполнения одинаковых функций. В производстве запеченных мясопродуктов — буженины, карбоната, шейки, мясных хлебов и паштета — широкое распространение получили ротационные печи с газовым и электрическим обогревом и термоагрегаты непрерывного действия. Ротационные печи удобны тем, что занимают небольшую производственную площадь, не требуют больших затрат на монтаж и обслуживание и в то же время пригодны для запекания любых мясопродуктов. Термоагрегаты непрерывного действия целесообразно использовать на мясокомбинатах большой мощности.

Схема автоматизации ротационной печи с электрическим обогревом приведена на рис. 20.10. Основа схемы — система автоматического регулирования температуры, которая предусматривает: автоматическое управление подогревом рабочей камеры и сигнализацию о начале загрузки мясопродуктов; контроль, регистрацию и регулирование температуры в процессе запекания мясопродуктов (шесть режимов в зависимости от вида мясопродуктов); сигна-

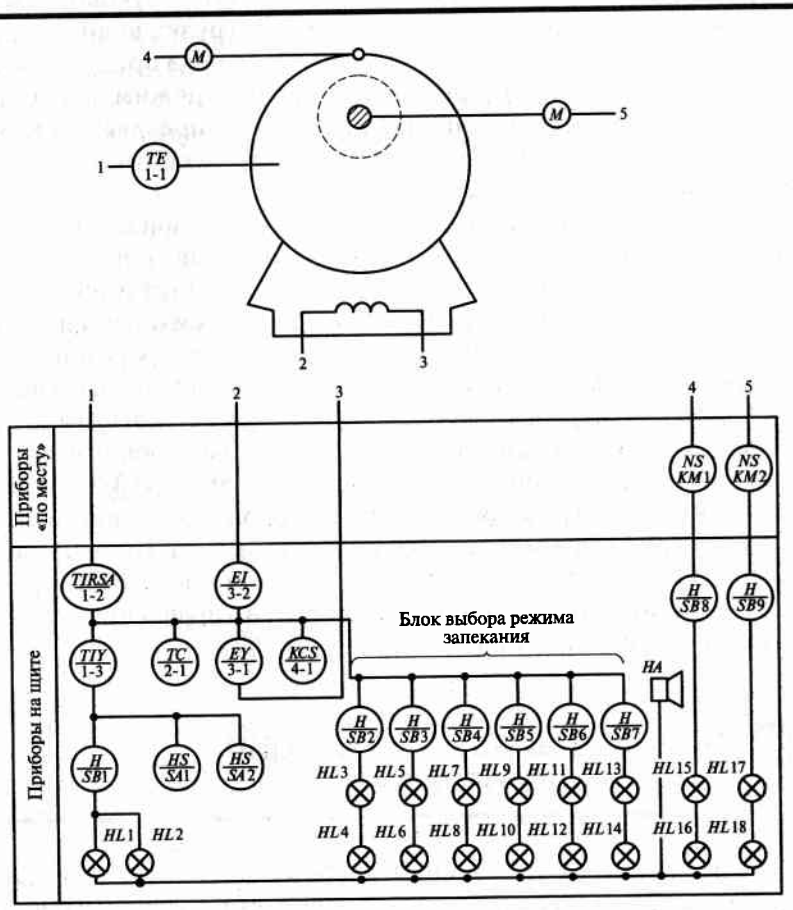


Рис. 20.10. Схема автоматизации ротационной печи с электрическим обогревом

лизацию о ведении и об окончании технологического процесса. Температура в печи контролируется и регулируется с помощью термоэлектрического преобразователя 1-1, малогабаритного самопишущего потенциометра 1-2, измерительного блока 1-3, регулирующего устройства 2-1.

Оператор ключом *SA*2 включает щит управления и кнопкой *SB*9 — электродвигатель ротора печи. Кнопкой *SB*1 он включает подогрев печи, при этом загорается сигнальная лампа *HL*1. Кнопкой *SB*8 «Пуск» открывается заслонка, кнопкой *SB*8 «Стоп» останавливается. При достижении температуры в печи 180 °С срабатывает контакт (установленный на эту температуру) потенциометра 1-2, загорается сигнальная лампа *HL*2 и включается звуковой сигнал сирены *HA*. Это соответствует команде «Загрузка печи». Оператор загружает печь, а затем в зависимости от вида продукта одной из кнопок блока «Выбор режима» включает режим запекания. Включается командный прибор 4-1, который управляет режимом запекания времени. Одновременно загорается соответствующая сигнальная лампа.

Температура запекания регулируется по следующей схеме: сигнал от термопреобразователя 1-1 поступает на потенциометр 1-2, затем в измерительный блок 1-3, в котором сравнивается с сигналом встроенного задатчика. Сигнал сравнения усиливается, преобразуется в сигнал постоянного тока и поступает в регулирующий блок 2-1, позволяющий формировать П- и ПИ-законы регулирования. Сигнал из регулирующего блока поступает на магнитный усилитель 3-1, который управляет включением электронагревателей печи. Расход электроэнергии измеряется ваттметром 3-2. По окончании процесса запекания подаются световой и звуковой сигналы. Схемой предусматривается в случае необходимости дистанционное и ручное управление температурным режимом в печи. Выбор режима управления осуществляют ключом *SA1*, а управление в ручном режиме — кнопками ручного управления *SB*2...*SB*7.

20.6. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТОПРИГОТОВЛЕНИЯ

Процесс тестоприготовления является одним из основных и наиболее продолжительным этапом, во многом предопределяющим качество хлеба. К основным операциям, качество выполнения которых значительно влияет на технологические свойства теста, относят дозирование сырья и полуфабрикатов, их смешивание и замес, а также брожение. Все тестоприготовительные агрегаты, эксплуатируемые в настоящее время, в зависимости от применяемой технологической схемы и конструкции оборудования подразделяются на агрегаты непрерывного и порционного (периодического) действия.

Процесс непрерывного приготовления теста характеризуется жестко фиксированной последовательностью технологических операций, исключающей возможность их повторения в целях исправления дефектов продукта. При непрерывном замесе корректировка влажности теста путем регулировки дозатора одного из компонентов, как в тестомесильных машинах дискретного действия, невозможна. Указанные специфические особенности непрерывного тестоприготовления влияют на показатели замеса. Стабилизация качественных показателей теста при непрерывном тестоприготовлении может быть достигнута совершенствованием технических характеристик и эксплуатационной стабильностью оборудования, позволяющим полностью автоматизировать процесс.

В процессе непрерывного замеса можно выделить три источника ошибок, приводящих к отклонению качественных показателей теста: погрешность работы дозирующего оборудования, колебания качества муки, поступающей в производство, несоблюдение условий проведения замеса. Компоненты, подаваемые в смеситель, дозируются весовыми дозаторами непрерывного действия. Погрешности дозирования изменяют соотношение компонентов, предусмотренное рецептурой, и вызывают изменение качественных показателей теста.

Мука, поступающая на хлебозавод в течение 1 сут с одного мелькомбината, по своим хлебопекарным свойствам в основном достаточно однородна. Однако в отдельных случаях даже при доставке муки за сутки наблюдаются значительные колебания в ее хлебопекарных свойствах. В общем случае хлебопекарные свойства муки изменяются в течение 3...5 сут.

К условиям проведения замеса теста можно отнести такие факторы, как колебания температуры и влажности окружающей среды, концентрация и влажность компонентов теста, частота вращения рабочих органов, продолжительность замеса и степень механической обработки теста в машине и ряд других характеристик тестомесильного оборудования.

Входными (управляющими) переменными замеса теста являются расходы компонентов (муки, опары, соли, сахара, жира), подаваемых соответствующими дозаторами. Выходными (управляемыми)

переменными могут быть выход теста, влажность, вязкость, температура, кислотность теста и др. Это наиболее важные показатели процесса, рекомендуемые технологическими инструкциями.

Специфика интенсивного замеса теста заключается в зависимости ряда показателей процесса от степени механической обработки теста, которая характеризуется удельным расходом энергии и продолжительностью замеса. Удельный расход энергии может быть определен при интегрировании мощности, потребляемой электродвигателем тестомесильной машины в процессе замеса, отнесенной к массе обрабатываемого теста.

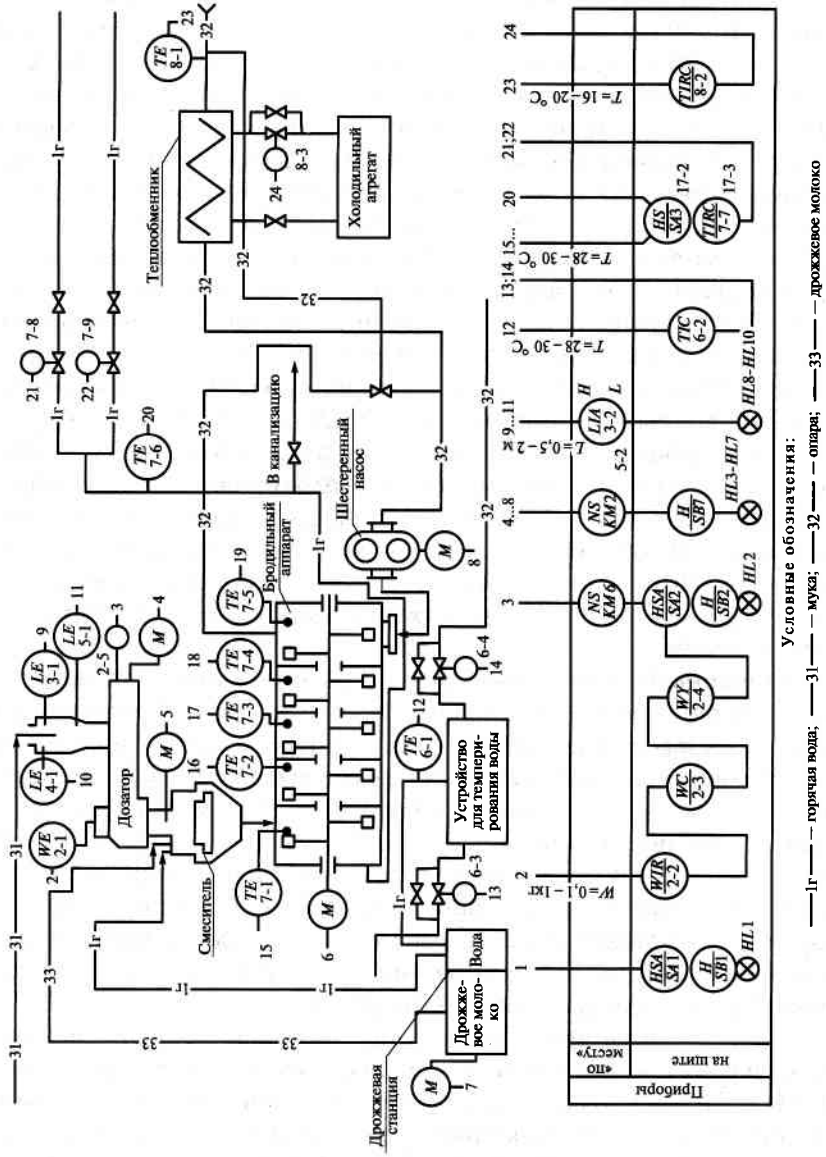
Агрегат (рис. 20.11) производительностью 650 ... 1 250 кг/ч предназначен для выработки массовых сортов хлеба из пшеничной муки I, II и высшего сортов. Опара (I фаза) приготовляется непрерывным способом (рис. 20.11, *а*). Мука (30 ... 35 % общего количества) на замес опары подается автоматическим дозатором в смеситель непрерывного действия, где непрерывно смешивается с дрожжевым молоком и водой. Вода и дрожжевое молоко дозируются двухкомпонентной дрожжевой станцией. Поддержание заданной температуры воды обеспечивается темперирующим устройством I путем смешивания холодной и горячей воды (вентили 6-3, 6-4). Из смесителя смесь самотеком поступает в установку для брожения, где, пройдя через отверстия в поперечных перегородках корытообразной емкости, выбраживается в течение 3,5 ч. Приготовленная опара влажностью 65 ... 68 % шестеренным насосом перекачивается через теплообменный аппарат к шестикомпонентной дозировочной станции. В теплообменном аппарате жидкую опару охлаждают в целях компенсации нагрева теста, возникающего при интенсивной механической обработке его в процессе замеса.

Тесто (II фаза) замешивается в тестомесильной машине непрерывного действия РЗ-ХТО (рис. 20.11, *б*) в раздельных рабочих камерах. В камере предварительного смешивания происходит смешивание исходных компонентов. Мука в камеру подается автоматическим весовым дозатором непрерывного действия. Жидкая опара дозируется шестикомпонентной дозировочной станцией, имеющей две секции для опары. Другие секции дозировочной станции обеспечивают подачу растворов сахара, соли и растопленного жира. Шестая секция является резервной и может быть использована при приготовлении теста из ржаной или ржано-пшеничной муки. Расход заданного компонента обеспечивается установкой задания каждому каналу станции. Интенсивная механическая обработка теста происходит в рабочей камере пластификатора тестомесильной машины.

Система автоматизации обеспечивает выполнение следующих функций: регулирование расходов компонентов, подаваемых дозаторами 2-3; регулирование продолжительности брожения опары путем изменения степени заполнения рабочей емкости установки для брожения; регулирование температуры жидкой опары в процессе ее брожения изменением подачи холодной или горячей воды в рубашку установки регулятором 18-2 (рис. 20.11, *а*) регулирование степени интенсивной механической обработки теста при замесе в тестомесильной машине изменением частоты вращения месильных органов пластификатора *5* (рис. 20.11, *б*); световую и звуковую сигнализацию об отклонениях от заданного режима работы оборудования агрегата; контроль и сигнализацию наличия и уровня компонентов в расходных емкостях и дозаторах (3-2 ... 5-2, 9-2 ... 11-2 на рис. 20.11, *а*, *б*); контроль потребляемой мощности при замесе и косвенно качественных показателей теста (5-2); контроль температуры теста (3-2); ручной и автоматический режим управления (*SA1*, *SA2*) механизмами агрегата; автоматическую блокировку, отключающую механизмы при возникновении аварийных режимов. На щите управления смонтированы средства измерения, регулирования, управления и сигнализации, обеспечивающие ввод задания, оперативную сигнализацию о нарушениях режима и управления механизмами агрегата.

Безопарный (однофазный) способ приготовления теста характеризуется внесением всех предусмотренных по рецептуре компонентов одновременно для получения, определенной порции теста. В ***системе автоматизации порционного замеса теста*** (рис. 20.12) агрегат для порционного приготовления теста по экспрессной технологии с использованием концентрированных молочнокислых заквасок (МКЗ) включает тестомесильную машину периодического действия ТПИ-1 с интенсивной механической обработкой теста, порционный автоматический дозатор муки с циферблатным указателем, комплекс дозаторов объемного действия с отдельным электроприводом на каждый жидкий ингредиент.

Использование высококислотной, самоконсервируемой закваски и интенсивного замеса обеспечивает получение высококачественных хлебобулочных изделий при значительном снижении затрат сухих веществ муки при брожении и сокращении продолжительности тестоведения. Мука из подготовительного отделения с помощью питающих шнеков загружается в силос. Одновременно из подготовительного отделения жидкие компоненты насосами перекачиваются в сборники для хранения. В тестомесильную машину подаются мука из силоса питающим шнеком и



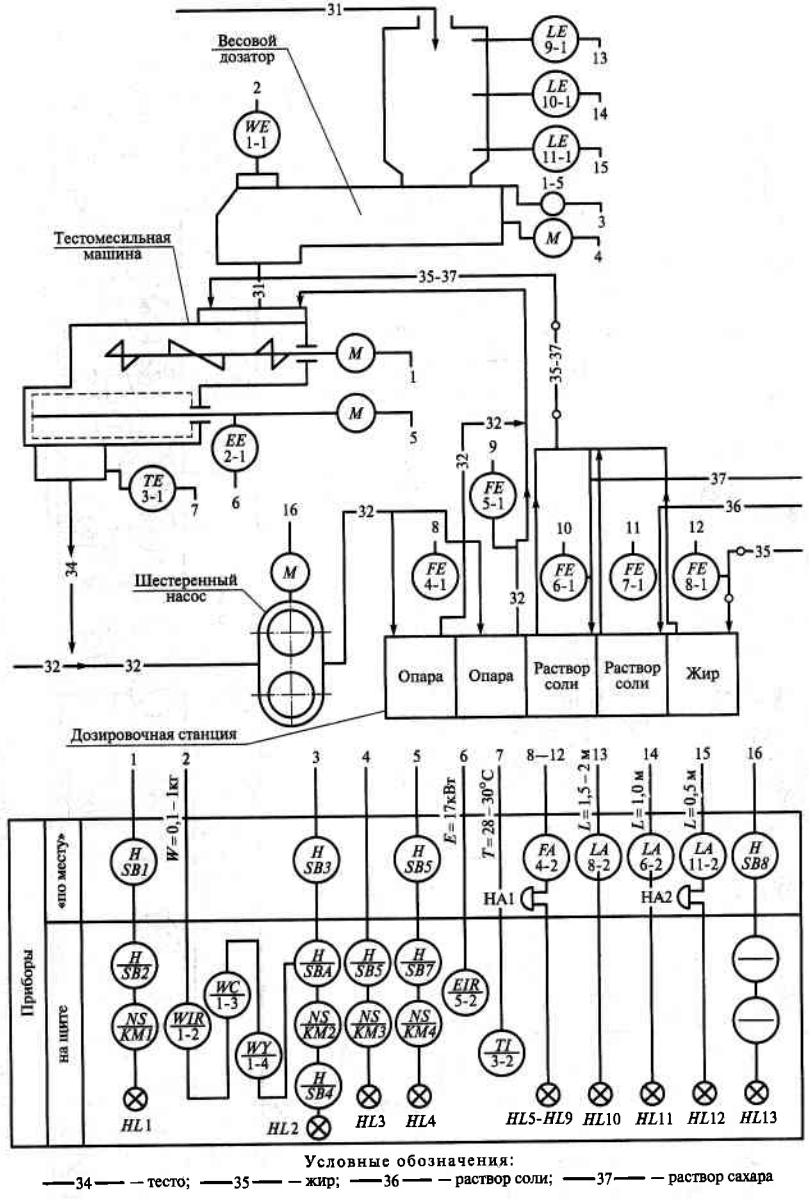


Рис. 20.11. Схема автоматизации тестоприготовительного агрегата
а — приготовление опары; *б* — замес теста

РЗ-ХТО непрерывного действия:

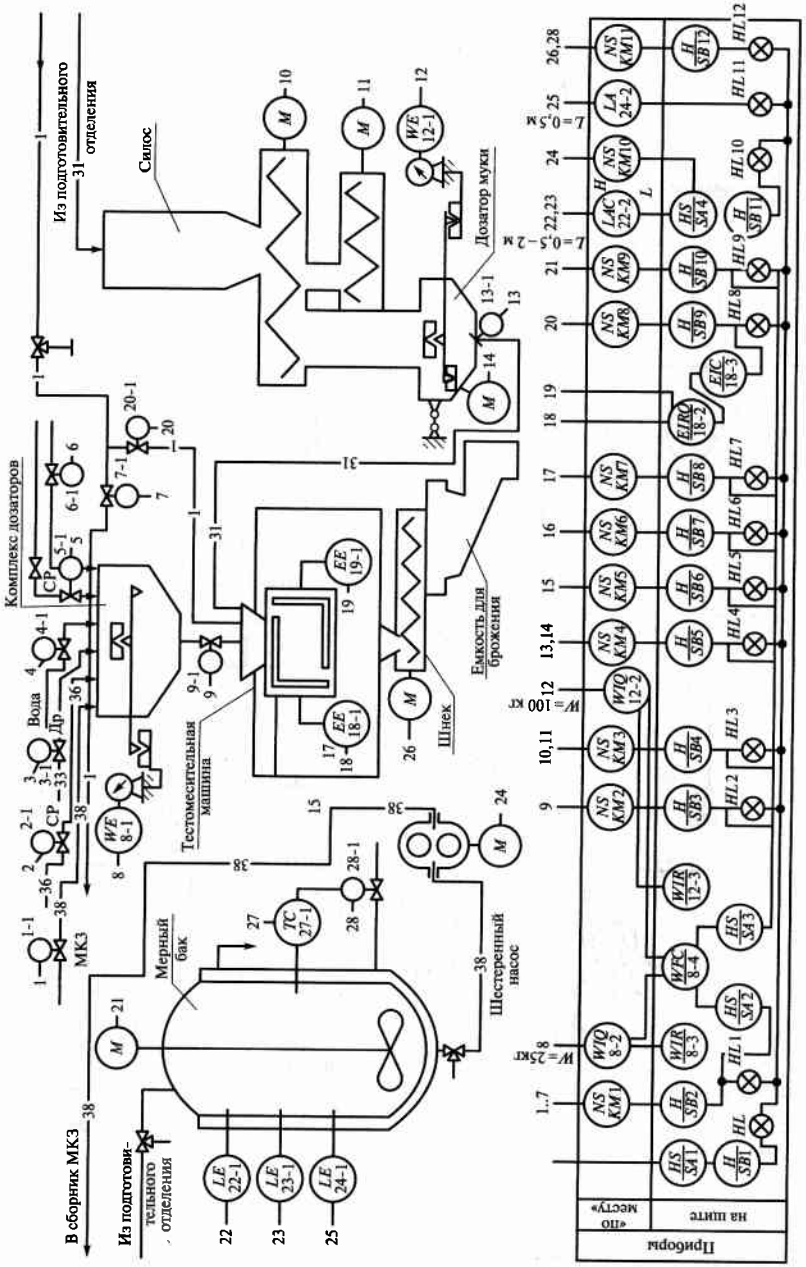


Рис. 20.12. Схема автоматизации порционного замеса теста

дозатором и вода из сборника при включении клапана 20-1. Молочнокислая закваска приготовляется в месильной машине. После брожения ее перекачивают в мерный бак, а из бака шестеренным насосом в сборник МКЗ. В аппарат для брожения, помимо закваски, добавляют такое же (50 %) количество питательной смеси из муки и воды. Закваска из мерного бака попадает через весовой дозатор в тестомесильную машину, куда также дозируют растворы дрожжей, соли, сахара, муки и другие компоненты по рецептуре.

Мука и жидкие компоненты дозируются соответствующими дозаторами. В тестомесильной машине периодического действия происходит интенсивная механическая обработка теста. Полученное тесто после замеса поступает в нагнетатель-экструдер, которым подается посредством питающего шнека в емкость для кратковременного брожения.

Система автоматизации обеспечивает выполнение следующих функций: управление подачей муки и жидких компонентов в соответствующие сборники (вентили 1-1 ... 7-1, 9-1, 13-1); управление последовательностью включения агрегатов и механизмов; контроль наличия компонентов в сборниках; контроль качественных показателей теста по величине энергозатрат (18-1, 19-1); контроль температуры жидкого жира, воды и МКЗ; автоматическое дозирование компонентов теста в соответствии с заданной рецептурой (1-7, 8-12); автоматическое регулирование степени интенсивной механической обработки теста (18-3); автоматическое регулирование температуры жидких компонентов.

20.7. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫПЕЧКИ ХЛЕБА

Выпечка хлеба протекает под действием теплоты и влаги и является завершающим этапом производственного цикла приготовления хлеба. Внутри тестовой заготовки, а также на ее поверхности возникает сложный комплекс физических, коллоидных, микробиологических и биохимических процессов, в результате которых она превращается в готовый продукт.

Процессы, протекающие в тестовой заготовке в период выпечки, носят, как правило, нестационарный характер. Сам объект автоматизации — процесс выпечки — представляет собой нелинейный объект с распределенными, параметрами. Скорость протека-

ния процессов в тестовой заготовке зависит от скорости изменения температуры в соответствующем слое. Тестовая заготовка в пекарной камере проходит различные этапы гидротермической обработки, включающие операции увлажнения, теплообмена излучением, конвекцией и теплопроводностью.

Основными качественными показателями хлеба, определяемыми кинетикой тепло- и массообмена в пекарной камере, считают объем и форму хлеба, толщину, окраску и глянцевитость корки, а также аромат и вкус. К основным факторам, влияющим на объем и форму хлеба, относят параметры процесса гидротермической обработки хлеба в зоне увлажнения: температуру и влажность среды в пекарной камере, а также структурно-механические свойства теста и продолжительность выпечки.

Выпечка хлеба осуществляется на современных печах, представляющих собой комплекс теплотехнических, транспортно-механических устройств, снабженных также средствами автоматического регулирования основных параметров процесса. В хлебопекарной промышленности широко используются хлебопекарные печи, работающие на газовом и жидком топливе с рециркуляцией продуктов сгорания. Такие печи обладают малой тепловой инерцией и малым энергопотреблением.

Система автоматизации печного агрегата (рис. 20.13) реализует следующие функции: измерение температуры в основных зонах печи (в зоне увлажнения 1-2), в первой 2-2 и второй 3-2 зонах пекарной камеры с помощью милливольтметров 1-2, 2-2, 3-2 в комплекте с хромель-копелевыми термоэлектрическими преобразователями 1-1, 2-1, 3-1; двухпозиционное регулирование температуры среды в пекарной камере 5-2; автоматическую блокировку превышения температуры смеси топочных и рециркуляционных газов; контроль наличия пламени датчиком 8-1 совместно с автоматом контроля пламени 8-2; контроль и блокировку давления воздуха в вентиляторе горелки 9-2; автоматический розжиг печи 10-1; контроль разрежения в топке вакуумметром 7-2; регулирование давления газа в газопроводе регулятором давления газа 11-1 прямого действия; автоматическое управление прерывистым движением конвейера печи с помощью магнитного пускателя *КМ*1 привода конвейера и реле времени 4-3; ручной запуск и аварийный останов конвейера с помощью кнопочной станции, установленной на щите управления *В*1; обеспечение безопасности; световую сигнализацию режима работы вентилятора *HL*7, рециркуляционного дымососа *HL*8, конвейера *HL*1; световую и звуковую сигнализацию аварийного режима (*НА*1 и *HL*5).

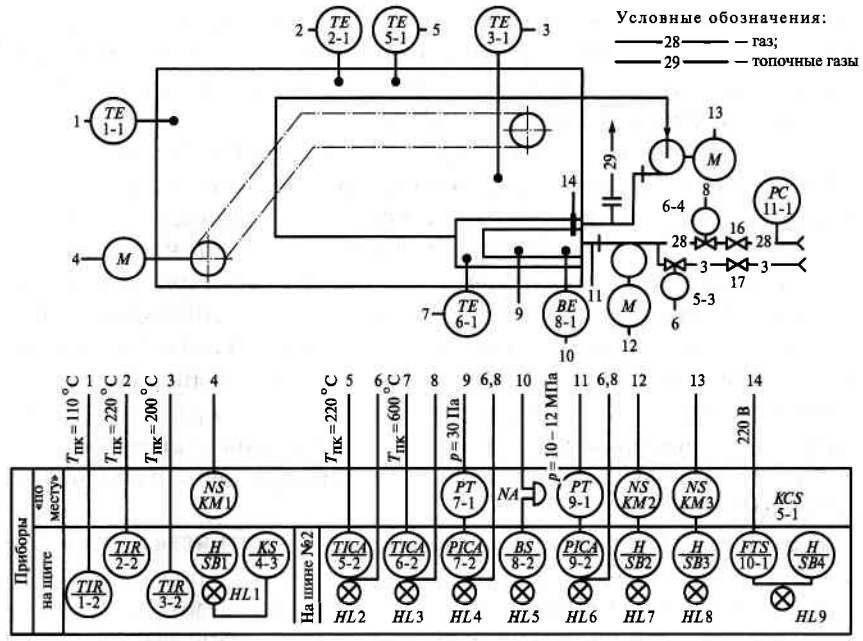


Рис. 20.13. Схема автоматизации агрегата выпечки хлеба

При работе системы автоматического управления тепловым режимом пекарной камеры, если температура среды в пекарной камере (термоэлектрический преобразователь 5-1) меньше заданной, клапаны 5-3 и 6-4 открыты, в горелку поступает больше газа, что приводит к появлению «большого факела». Одновременно релейная схема автоматизации обеспечивает с помощью исполнительного механизма увеличение подачи воздуха в топку. При достижении в пекарной камере заданной температуры или превышении ее релейная схема обеспечивает закрытие клапана 5-3 и прекращение подачи воздуха в топку.

При этом открыт только клапан 6-4, расход газа в топку снижается, что соответствует режиму «Малый факел». Предварительная настройка вентилей 16 и 17 обеспечивает расчетный расход газа через клапаны 5-3 и 6-4. Работа в режиме «Малый факел» приводит к постепенному снижению температуры среды в пекарной камере. Когда температура среды становится меньше заданной, срабатывание релейной схемы приведет к открытию клапана 5-3 и горелка перейдет в режим работы «Большой факел». Применение регули-

рующего милливольтметра в сочетании с релейной схемой обеспечивает двухпозиционное автоматическое регулирование температурного режима печи. Открытие клапанов 5-3 и 6-4 сопровождается включением сигнальных ламп *HL2* и *HL3*.

Для обеспечения требуемой надежности и безопасности работы печи предусмотрены следующие виды блокировки и защиты: для защиты каналов печи от быстрого прогорания (температура более 600 °С) автоматическая блокировка превышения температуры смеси топочных и рециркуляционных газов; при увеличении температуры смеси газов более 600 °С регулирующий милливольтметр 6-2, отключающий горелку путем закрытия клапанов 5-3 и 6-4; автоматическое выключение горелки при повышении температуры продуктов сгорания в камере смешения более 600 °С, при уменьшении разрежения в камере сгорания ниже 10 кПа, при отрыве пламени или его проскоке в горелку, при отсутствии давления в вентиляторе горелки.

Система автоматики безопасности предусматривает автоматический розжиг печи в такой последовательности: продувка газоходов в печи перед пуском в течение 1 ... 2 мин; включение подачи топлива; воспламенение топлива с помощью электродов зажигания 14, высокое напряжение (10 тыс. ... 15 тыс. В) на которые подается от трансформатора зажигания 12-2; прогрев топки на режиме «Малый факел» в течение 1 ... 2 мин; отключение горелки при отсутствии пламени в течение 15 с после подачи топлива.

20.8. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА КАРАМЕЛИ

Производство карамели обеспечивается технологической схемой получения карамельной массы и линией производства карамели.

Для ***получения карамельной массы*** широко используется двухступенчатая технологическая схема, включающая стадии приготовления и уваривания сиропа. В схеме автоматизации уваривания карамельной массы (рис. 20.14) для приготовления карамельного сиропа очищенный от ферропримесей сахар-песок поступает через дозатор в смеситель. В этот же смеситель из рецептурных сборников поступают патока, инвертный сироп и водопроводная вода. Патока предварительно подогревается до температуры 70 °С. В смесителе, снабженном паровой рубашкой, происходит перемешивание компонентов и частичное растворение сахара-песка. Концентрация сухих веществ в сиропе 84 ... 88 %. Для более интенсивного растворения компонентов непосредственно в смеситель вводят пар постоянного давления. При непрерывном перемешивании сироп прогревается до температуры 130 ... 150 °С. Приготовленный таким образом сироп поступает на дальнейшее уваривание в змеевик вакуум-аппарата Из змеевика увариваемый полуфабрикат подается в вакуум-камеру, где заканчивается приготовление карамельной массы путем подачи вакуум-насосом вторичного пара из конденсатора смешения.

Схема автоматизации решает следующие основные задачи: обеспечение заданного состава карамельной массы; приготовление сахарного сиропа в количестве, необходимом для карамельного производства.

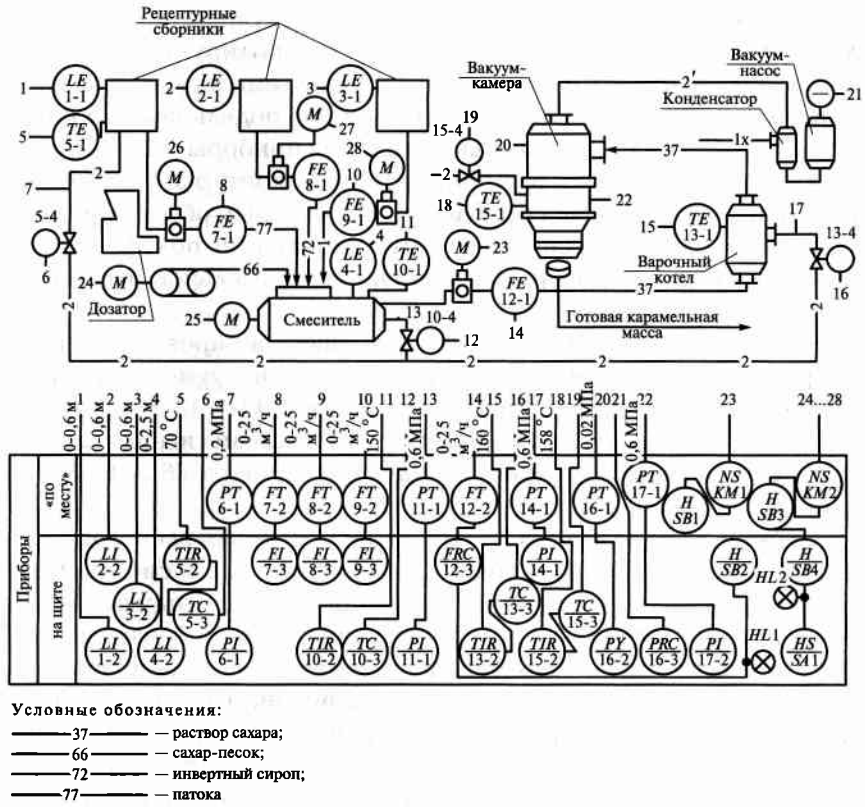


Рис. 20.14. Схема автоматизации уваривания карамельной массы

Уровень патоки, инвертного сиропа, воды и смеси необходимых для приготовления сиропа компонентов контролируется в соответствующих сборниках и смесителе с помощью емкостных уровнемеров 1-1... 4-1, передающих информацию на подключенные к ним аналоговые показывающие одношкальные приборы 1-2... 4-2.

Температуру патоки в сборнике патоки (контур *5*) регулируют изменением подачи пара в рубашку. Аналогичным образом регулируют температуру смеси в смесителе *V* (контур *10*), полуфабриката в варочном котле (контур *13*) и уваренной карамельной массы в вакуум-камере (контур *15*).

Давление греющего пара, поступающего в паровые рубашки сборник патоки, смесителя, варочного котла и вакуум-камеры, контролируют с помощью датчиков давления 6-1, 11-1, 14-1 и 17-1, подключенных через нормирующие преобразователи сигналов к соответствующим вторичным показывающим приборам 6-2, 11-2, 14-2 и 17-2.

Схемой автоматизации предусмотрен контроль расходов патоки, инвертного сиропа и воды, поступающих в смеситель. В качестве датчиков расхода 7-1... 9-1 используются индукционные расходомеры, сигналы от которых через блоки преобразования *FT* 7-2... 9-2 поступают на соответствующие показывающие приборы 7-3... 9-3. Для автоматического регулирования расхода приготовленного в смесителе карамельного сиропа предназначен индукционный расходомер 12-1, соединенный через блок преобразования сигналов 12-2 с регулятором 12-3, воздействующим на электропривод.

В схеме автоматизации уваривания карамельной массы предусмотрен дистанционный и местный режимы работы электродвигателей транспортеров и аппаратов линии. Для этого по месту и на щите управления размещены кнопки и ключи выбора режима.

На схеме автоматизации ***линии производства карамели*** (рис. 20.15) приведены стадии получения и обработки карамельной массы, приготовления начинок (тянульная машина), разделки карамельной массы (вытягивающая машина) и ее формования (штампующая машина), охлаждения готовых изделий. Схемой предусмотрено регулирование уровней продукта в разных сборниках, а также поддержание в заданных диапазонах температуры и давления в основных точках процесса.

Давление греющего пара в вакуум-аппарате регулируется системой САР, состоящей из манометра 5-1 и регулятора 5-2, воздействующего на исполнительный механизм 5-3 клапана подачи пара. Разрежение в вакуум-аппарате регулируют изменением режима работы мокровоздушного насоса. С этой целью сигнал вакуумметра 7-1 подается на регулятор 7-2, который воздействует на устройство 7-3 подачи холодной воды. Данная САР сблокирована с электроприводом 7-7 выгрузки карамельной массы. Подобная блокировка необходима потому, что в процессе выгрузки вакуум-аппарат сообщается с атмосферой и возникают резкие изменения разрежения.

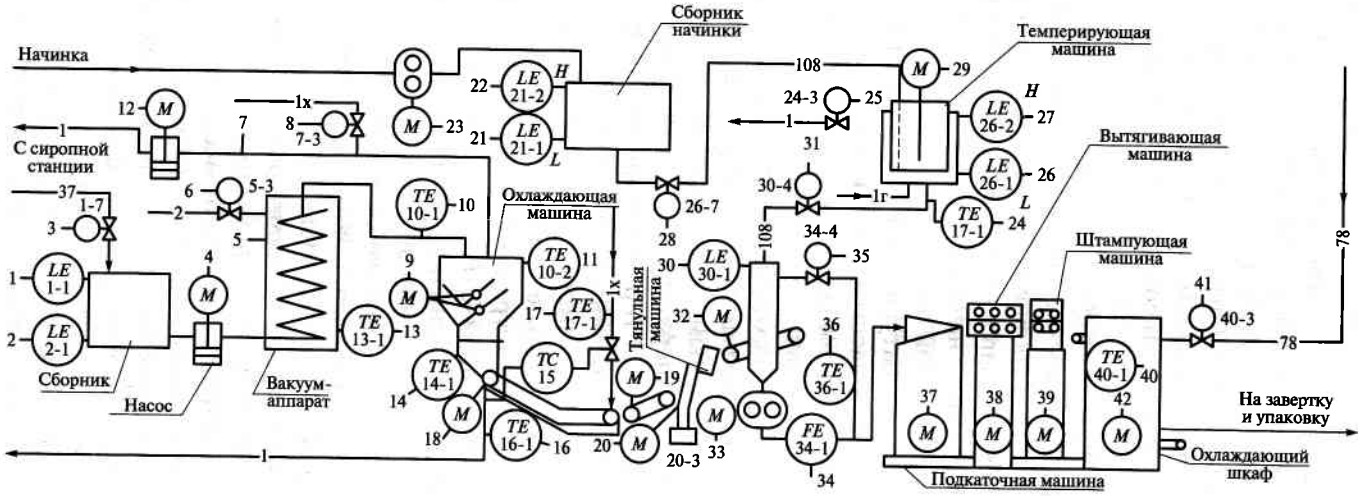
Уровень в сборнике карамельного сиропа регулируется с помощью датчиков 1-1 и 1-2 электронного кондуктометрического сигнализатора уровня 1-3, который управляет исполнительным механизмом 1-7 клапана подачи сиропа. Аналогично регулируются уровни в сборнике начинки, в темперирующей машине и в сборнике перед подкаточной машиной (соответственно по контурам *21*, *26* и *30*).

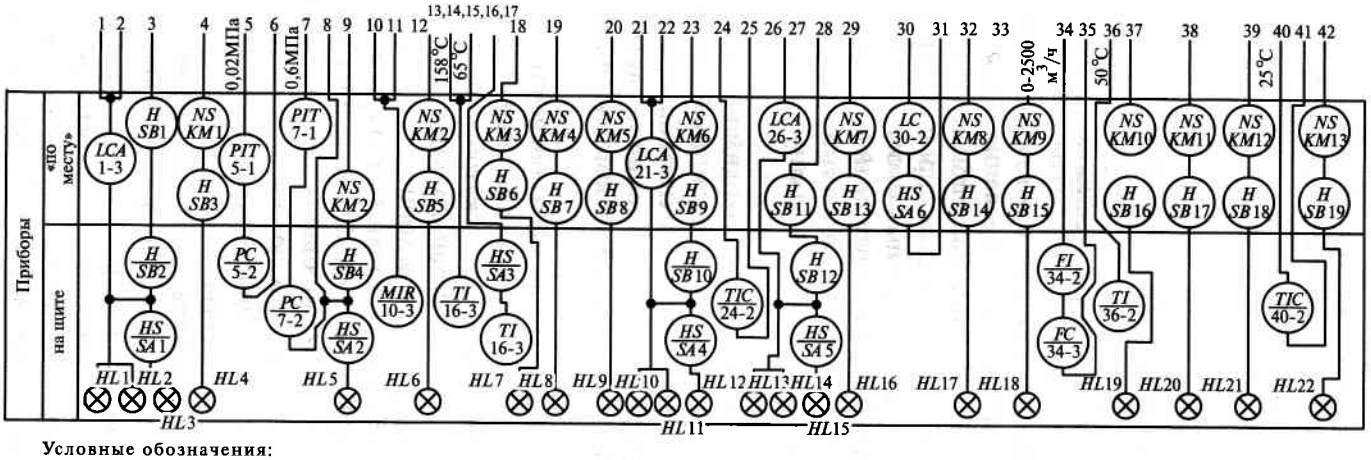
Температура перекачиваемого насосом сиропа и готовой карамельной массы контролируется термоэлектрическими преобразователями температуры 13-1 и 14-1, подключенными к многоточечному вторичному показывающему прибору 13-2. Температура выходящей и входящей воды в охлаждающей машине *V* контролируется медными термопреобразователями сопротивления 16-1 и 17-1, соединенными через переключатель 16-2 с автоматическим мостом 16-3. Температура начинки на входе в подкаточную машину контролируется термоэлектрическим преобразователем температуры 36-1, соединенным с автоматическим потенциометром 36-2. Стабилизация температуры карамельной массы в охлаждающей машине обеспечивается регулятором прямого действия 15.

Температура начинки в темперирующей машине регулируется позиционной САР, которая состоит из датчика 24-1, регулятора 24-2 и электромагнитного клапана 24-3 на протоке воды через рубашку. Аналогично регулируется температура в охлаждающем шкафу, в котором в качестве хладагента используется рассол.

Для автоматического регулирования расхода начинки, подаваемой в подкаточную машину, предусмотрен электромагнитный расходомер 34-1 с регулятором 34-3 и исполнительный механизм 34-4 регулирующего органа на перепускном трубопроводе. Влажность уваренной карамельной массы измеряется косвенным путем по температуре ее кипения, определяемой датчиком 10-1, сигнал с которого поступает на вторичный показывающий и самопишуший прибор 10-3, отградуированный непосредственно в процентах влажности карамельной массы.

Схемой автоматизации поточной линии карамельного производства предусмотрен автоматический и операторный запуск электро-





Условные обозначения:

———1х——— — холодная вода;
———1г——— — горячая вода;
———37——— — раствор сахара;
———78——— — рассол;
———108——— — начинка

Рис. 20.15. Схема автоматизации поточной линии карамельного производства

двигателей и операторный запуск электродвигателей машин и аппаратов линии. Для этого по месту и на щите управления установлены кнопки и ключи выбора режима.

20.9. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВНЫХ ГЛАЗИРОВАННЫХ КОНФЕТ

Технология отливных глазированных конфет в поточной линии предусматривает процессы варки, отливки и глазирования. ***Процесс варки*** происходит после смешивания основных компонентов приготовления конфет — фруктового пюре, молочного сиропа, патоки и сахарного сиропа, которые поступают в заданных количествах из промежуточных сборников (рис. 20.16) в рецептурный смеситель откуда смесь перекачивается в змеевиковый варочный аппарат. После уваривания смесь направляется в помадосбивальную, а затем в темперирующую машины.

При автоматизации варочного отделения необходимо обеспечить качественное дозирование компонентов смеси, требуемые параметры варки температурные режимы в варочным аппарате, помадосбивальной и темперирующей машинах. Кроме того, должно быть предусмотрено регулирование уровней в промежуточных сборниках компонентов смеси.

Автоматическое дозирование компонентов смеси обеспечивается путем стабилизации расходов компонентов из промежуточных сборников в смеситель. Фруктовое пюре из промежуточного сборника отбирается насосом, приводимым в действие электродвигателем, и через трубопровод, в котором установлен датчик электромагнитного расходомера 18-1, поступает в смеситель. Сигнал датчика подается на вторичный прибор 18-2 и далее на регулятор 18-3, который посредством испольнительного механизма 18-4 изменяет положение РО на линии перепуска фруктового пюре в промежуточный сборник. Аналогично дозируются молочный сироп, патока и сахарный сироп (соответственно по контурам 21, 24 и 27).

Во всех промышленных сборниках предусмотрено автоматическое регулирование уровня. В первом промежуточном сборнике датчики уровня 1-1 и 1-2 подают информацию на электронный кондуктометрический сигнализатор уровня 1-3, который управляет электродвигателем насоса подачи фруктового пюре. Аналогично регулируется уровень и в трех остальных промежуточных сборниках (соответственно

по контурам 4, 7 и 10). В змеевиковом варочном аппарате давление греющего пара изменяется регулятором 32-1 и управляющим испольнительным механизмом 32-3 клапана подачи пара в аппарат.

Температура воды в рубашке помадосбивальной машины регулируется позиционной САР, которая состоит из датчика 37-1, показывающего вторичного прибора 37-2, регулятора 37-3 и электропривода 37-4 клапана на трубопроводе холодной воды. Аналогично регулируется температура воды в рубашке темперирующей машины (соответственно по контуру 40).

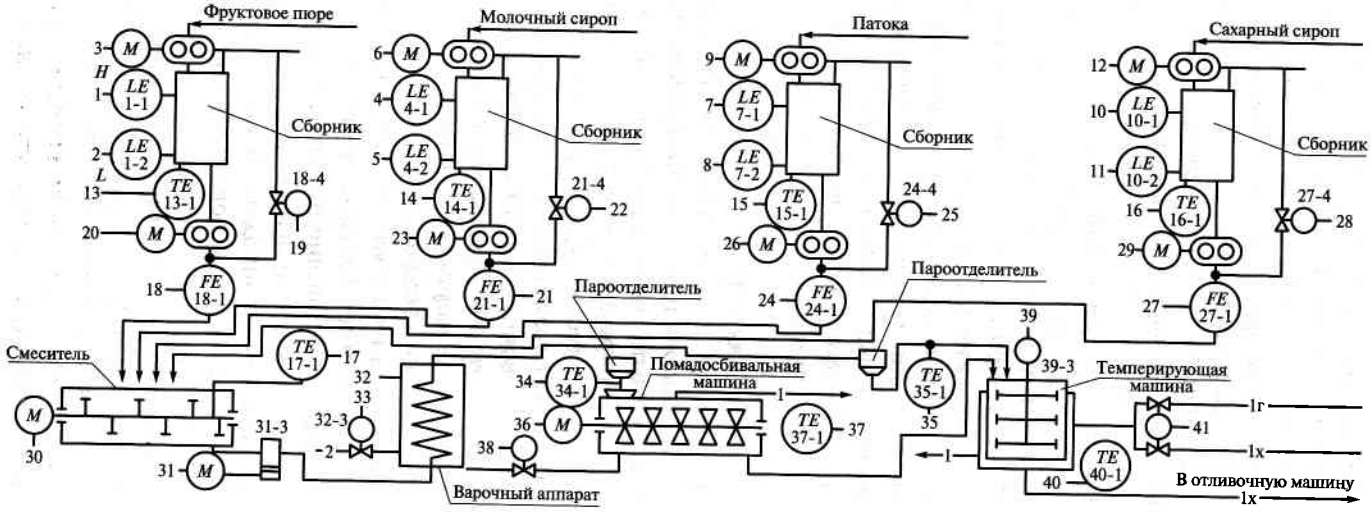
Температура в сборниках контролируется датчиками 13-1 ... 16-1, в смесителе — датчиком 17-1, соединенными через переключатель *SA5* с вторичным показывающим прибором 13-3. К тому же осуществляется автоматический контроль влажности уваренной конфетной массы по температуре ее кипения. Для этого в пароотделителях установлены датчики 34-1 и 35-1, соединенные через переключатель *SA7* с показывающим и сигнализирующим прибором *MIA* 34-3, проградуированным в процентах влажности.

Схемой автоматизации варочного отделения предусмотрены также запуск и останов электродвигателей машин и аппаратов отделения. Для перехода с автоматического управления на ручное предназначены ключи выбора режима.

Технологическая схема ***процессов отливки и глазирования конфет*** в поточной линии приведена на рис. 20.17. Конфетная масса из темперирующей машины подается насосом в отливочную машину. Корпуса конфет из установки ускоренной выстойки, где они обдуваются холодным воздухом из воздухоотделителя, поступают в глазировочную машину, затем в охлаждающий шкаф, хладоносителем в котором является рассол, а из него готовые конфеты направляются на завертку и упаковку.

Основной задачей автоматизации этих процессов является стабилизация температурных режимов, уровня в отливочной машине и управление электродвигателями. Уровень конфетной массы в отливочной машине измеряется датчиком емкостного уровнемера 1-1, подключенным к сигнализатору уровня 1-2, воздействующему на электропривод насоса подачи конфетной массы.

Автоматическое регулирование температуры холодного воздуха, поступающего в установку выстойки корпусов конфет, осуществляется показывающим, самопишущим прибором 9-2 с позиционным регулятором, управляющим электромагнитным клапаном 9-3 на линии подачи рассола в воздухоохладитель. Аналогично обеспечивается регулирование температуры воздуха в охладительном шкафу (соответственно по контурам 14 и 15).



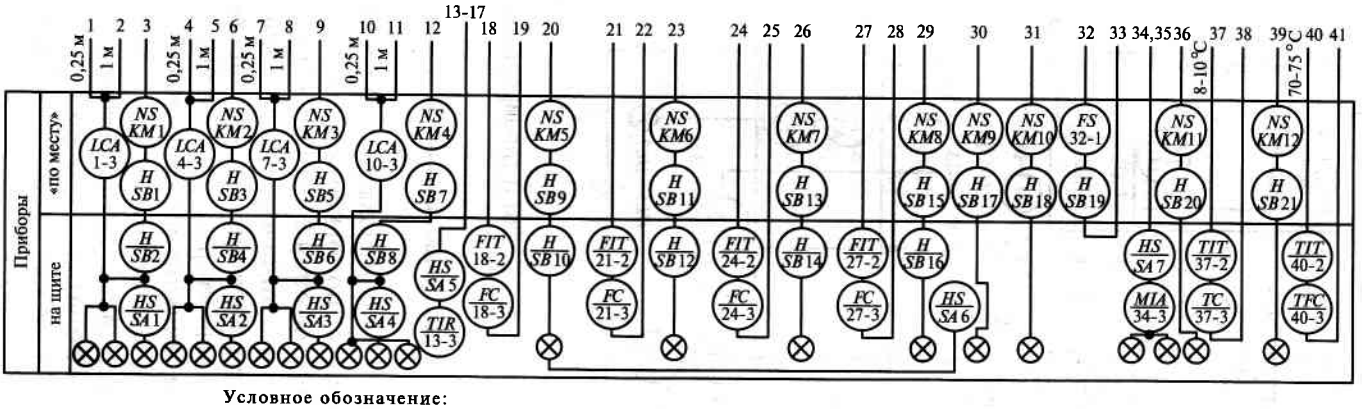


Рис. 20.16. Схема автоматизации вырочного отделения производства отливных глазированных конфет

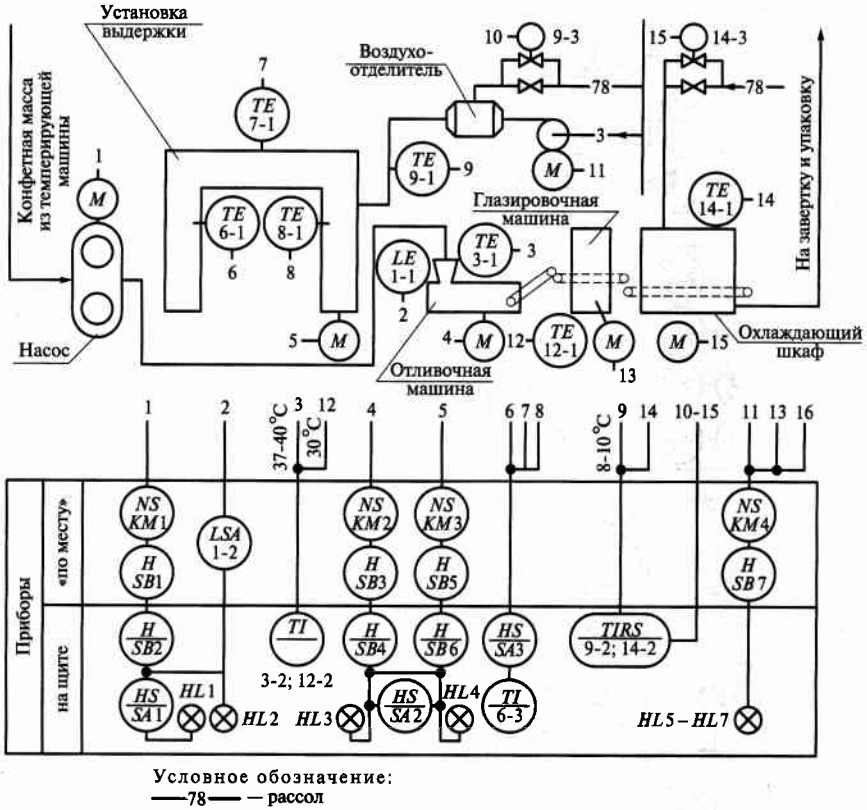


Рис. 20.17. Схема автоматизации процессов отливки и глазирования конфет

Схемой автоматизации предусмотрен контроль температуры в отливочной и глазировочной машинах с помощью соответствующих термопреобразователей сопротивления 3-1 и 12-1, соединенных с соответствующими показывающими вторичными приборами 3-2 и 12-2. Температура контролируется также в установке ускоренной выстойки корпусов конфет термопреобразователями сопротивления 6-1 ... 8-1, соединенными через переключатель *SA*3 с вторичным показывающим прибором 6-3. Схема автоматизации обеспечивает также управление электродвигателями машин и аппаратов. Для перехода с автоматического режима управления на ручное установлены ключи выбора режима *SA*1 и *SA*2.

20.10. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПИВНОГО СУСЛА

После замочки, ращения, сушки, очистки, полирования и дробления ячменя в заторно-варочном отделении пивоваренного завода производится пивное сусло.

На рис. 20.18 показана схема автоматизации заторно-варочного отделения пивоваренного завода с четырехпосудным варочным порядком. Процесс производства пивного сусла предусматривает проведение в заторных котлах I и II по заданной оператором программе варки совокупности операций: белковую паузу — смешивание солода с водой, нагрев в пределах температуры 50 ... 52 °С и выдержка 25 мин; мальтозную паузу — нагрев массы — 60 ... 62 °С и выдержка 30 мин; декстринную паузу — нагрев массы — 70 ... 72 °С и выдержка 45 мин.

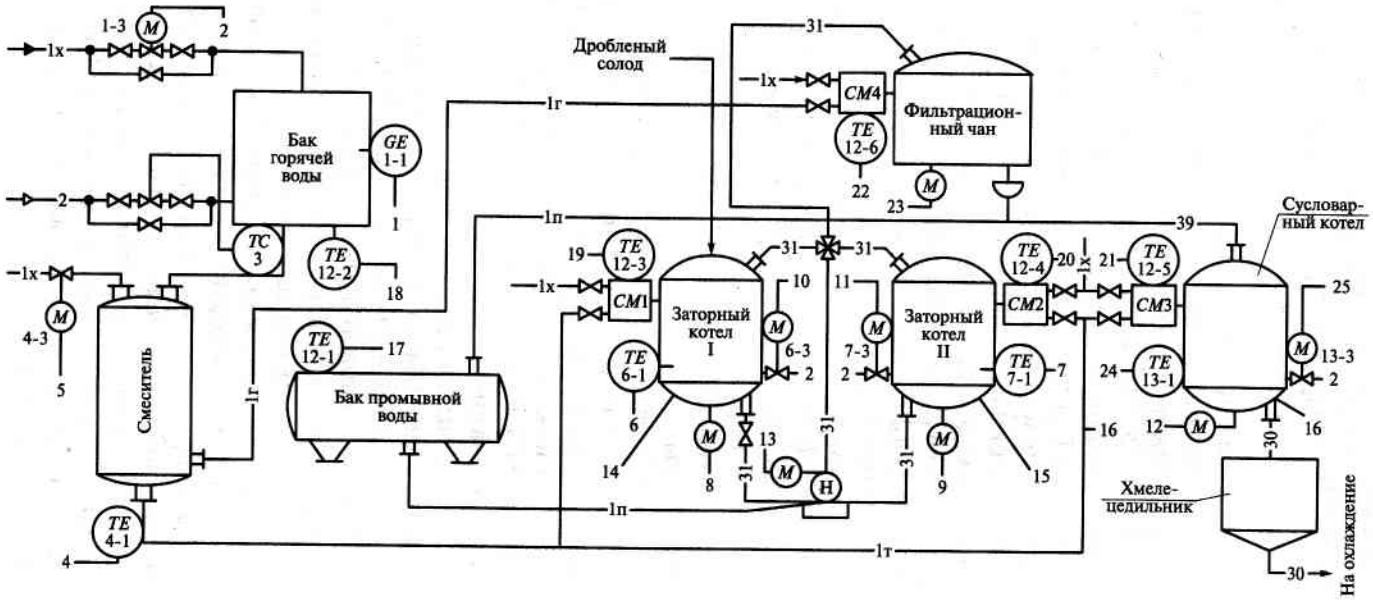
В заторный котел I поступают вода из предсмесителя ПСМ1 и дробленый солод, которые тщательно перемешиваются мешалкой, приводимой в действие электродвигателем.

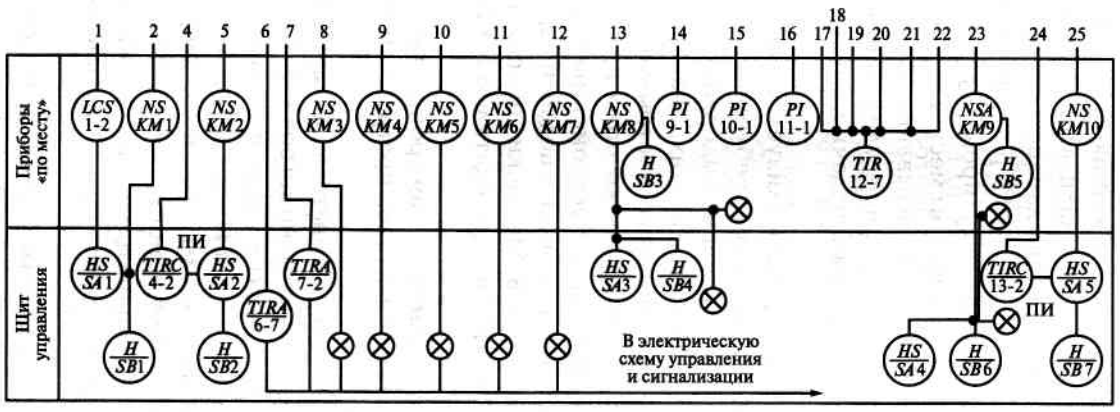
После перемешивания включается схема автоматического управления, реализующая по установленной программе требуемые паузы.

Затор между котлами I и II перекачивается насосом с электроприводом. Далее процесс производства предусматривает: нагрев массы до 76 °С и выдержку 10 мин, фильтрацию — разделение на твердую и жидкую фракции; охмеление — кипячение жидкой фракции с хмелем; декантацию — отделение взвешенных частиц, сепарирование.

Теплая вода, подготовляемая в смесителе, в который поступают горячая вода из бака горячей воды и холодная вода, подается в предсмесители СМ1 — заторного котла II, СМ2 — заторного котла II, СМ3 — сусловарного котла. В предсмеситель СМ4 фильтрационного чана поступает горячая вода с выхода из смесителя. Горячая вода подается в смеситель из бака горячей воды, в котором осуществляется подогрев паром поступающей холодной воды.

По окончании заданной оператором программы варки после ее последней (декстринной) паузы и выдержки затор перекачивается в фильтрационный чан, где разделяется на сусло и дробилку. Сусло из чана поступает в сусловарочный котел, обогреваемый паром, а из него подается в хмелецедильник и далее на охлаждение. Заторные котлы I и II, фильтрационный чан и сусловарный котел снабжены мешалками.





Условные обозначения:
- 1т — вода теплая;
- 1г — вода горячая;
- 1п — вода промывная;
- 30 — сусло;
- 31 — затор

Рис. 20.18. Схема автоматизации заторно-варочного отделения

При автоматизации производства пивного сусла необходимо обеспечить требуемые температурные режимы, временные выдержки на отдельных этапах технологического процесса, перекачки в соответствии с программой варки, задаваемой оператором.

Уровень воды в баке горячей воды измеряется датчиком 1-1, сигнал от которого поступает на электронный сигнализатор уровня 1-2, управляющий подачей горячей воды в бак клапаном с электроприводом 1-3. Температура в баке регулируется регулятором прямого действия 3 со статическим законом регулирования и манометрическим датчиком. Теплая вода готовится в смесителе. Сигнал от датчика температуры 4-1 поступает на показывающий и самопишущий регулятор 4-2 с изодромным законом регулирования, управляющий клапаном с электроприводом 4-3 подачи холодной воды в смеситель.

Программа варки, задаваемая оператором, реализуется электрической схемой управления. Она обеспечивает требуемые температуры на отдельных паузах и соответствующие выдержки времени, включение и выключение мешалок в аппаратах. Значения температур в заторных котлах I и II измеряются соответствующими датчиками температуры 6-1 и 7-1 (сигналы от которых поступают на показывающие и самопишущие мосты с устройством сигнализации 6-2 и 7-2). Электрическая схема управляет подачей пара через клапаны с электроприводами 6-3 и 7-3. Мешалки аппаратов включаются от соответствующих магнитных пускателей *КМ*3, *КМ*4, *КМ*7.

Насос перекачки Н приводится в действие электроприводом включаемым оператором в соответствии с заданной программой со щита (функциональная цепочка 13).

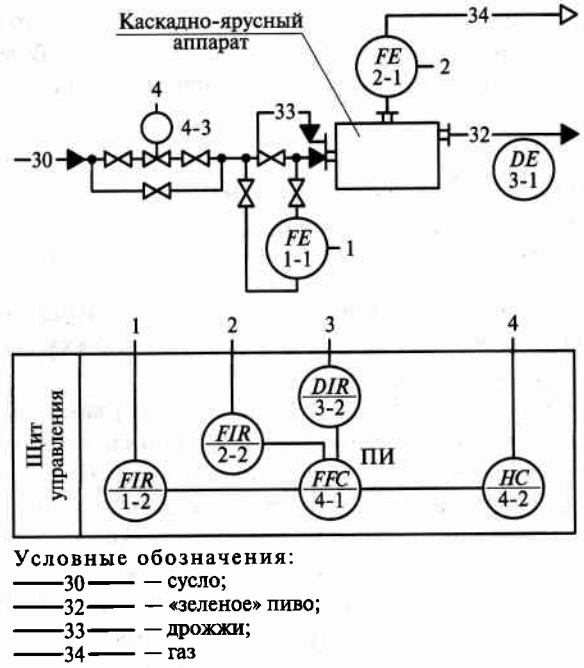
Давление пара в паровых рубашках подогревателей аппаратов контролируется с помощью показывающих манометров 9-1, 10-1, 11-1 размещенными по месту, температуры в баках промывной воды и горячей воды, предсмесителях *СМ*1 ... *СМ*4 — осуществляется датчиками температуры соответственно 12-1 ... 12-6 подключенными к многоточечному показывающему самопишущему мосту 12-7, установленному по месту. Электропривод мешалки фильтрационного чана включается оператором со щита (функциональная цепочка *23*).

Температура в сусловарочном котле, измеряемая датчиком 13-1, регулируется показывающим и самопишущим регулятором 13-2 с изодромным законом регулирования, управляющим электроприводом 13-3 клапана подачи пара в паровую рубашку котла.

20.11. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО СБРАЖИВАНИЯ ПИВНОГО СУСЛА

В процессе непрерывного сбраживания пивного сусла, протекающего в каскадно-ярусном аппарате, получается «зеленое» пиво. При сбраживании в аппарат вместе с дрожжами подается сусло. Образующийся диоксид углерода (CO_2) должен поддерживаться в некотором соотношении с поступающим суслом. Это соотношение должно корректироваться в зависимости от плотности выходящего зеленого пива. Таким образом, при автоматизации процесса непрерывного сбраживания должно быть реализовано соотношение расходов диоксида углерода и сусла с коррекцией по плотности «зеленого» пива.

Схема автоматизации процесса приведена на рис. 20.19. Расходы сусла и диоксида углерода измеряются ротаметрами 1-1 и



Условные обозначения:
——30—— — сусло;
——32—— — «зеленое» пиво;
——33—— — дрожжи;
——34—— — газ

Рис. 20.19. Схема автоматизации процесса сбраживания пивного сусла

2-2 с пневматическими дистанционными передачами, сигналы от которых поступают на вторичные показывающие и самопишущие приборы 1-2 и 2-2, установленные на щите. Плотность «зеленого» пива измеряется датчиком плотности 3-1, в качестве вторичного показывающего и самопишущего прибора используется прибор 3-2.

С выходов вторичных показывающих и самопишущих приборов пневматические сигналы подаются на изодромный блок 4-1 регулирования соотношения двух параметров с коррекцией по третьему параметру. Задающей величиной соотношения является расход диоксида углерода, регулируемой — расход сусла. Пневматические сигналы их текущих значений подаются в задающую и измерительную камеры блока регулирования соотношения. Корректирующий сигнал по плотности «зеленого» пива подается в корректирующую камеру блока регулирования соотношения. Выходное регулирующее воздействие через байпасную панель дистанционного управления 4-2 поступает на регулирующий клапан 4-3, изменяя подачу сусла на сбраживание таким образом, чтобы обеспечивать поддержание заданного соотношения.

Схема регулирования процесса сбраживания может быть применена при автоматизации процессов непрерывного брожения полусладких вин, виноградного сусла и других продуктов.

20.12. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КВАСА

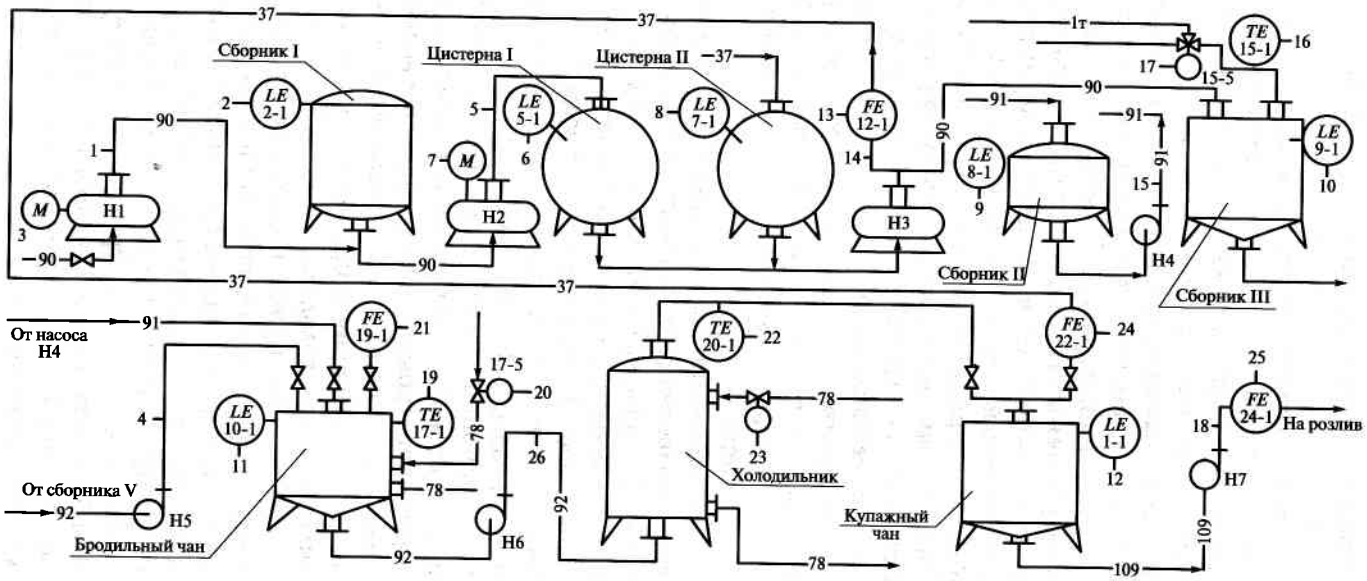
Квас готовят из солода, ржаной муки, сахара и мяты. Получаемое квасное сусло сбраживается комбинированной культурой квасных дрожжей и молочнокислых бактерий.

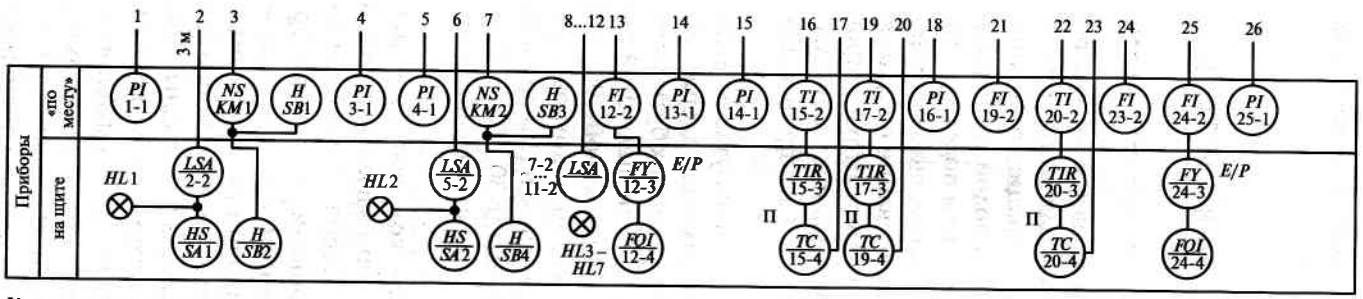
В процессе приготовления кваса (рис. 20.20) хлебный экстракт подается насосом Н1 в сборник I, откуда насосом Н2 перекачивается в цистерну I и далее насосом Н3 в сборник III, где разводится теплой водой. Теплая вода получается смешиванием горячей и холодной воды. Разведенный экстракт перекачивается насосом Н5 в бродильный чан. В этот же чан подаются насосом Н3 часть сахарного сиропа и насосом Н4 закваска из сборника II. В бродильном чане происходит процесс брожения. По окончании его сусло из бродильного чана перекачивается насосом Н6 в холодильник. Охлажденное сусло поступает в чан для купажирования кваса, куда добавляется оставшееся количество сахарного сиропа из цистерны сахарного сиропа II. Готовый квас откачивается насосом Н7 на розлив.

Схемой автоматизации производства кваса решаются задачи автоматического дозирования компонентов и обеспечения заданных температурных режимов, контроль расходов сырья, а также управление, блокировка и сигнализация работы оборудования. Компоненты автоматически дозируются объемным методом путем заполнения ими промежуточных емкостей: для экстракта — сборника и цистерны, для закваски — сборника. Так, необходимый уровень заполнения сборника экстрактом достигается применением САР, включающей датчик верхнего уровня 2-1, электронный сигнализатор уровня 2-2, магнитный пускатель *КМ*1, электродвигатель насоса Н1. Достижение экстрактом в сборнике верхнего уровня сигнализируется световым табло *HL*1. Работа насоса Н1 контролируется по показанию манометра 1-1. Посредством ключа выбора режима *SA*1 осуществляется перевод схемы с автоматического на ручной режим работы, а управление электродвигателем — кнопкой управления *В*2 либо *В*1. Аналогично происходит работа контура регулирования уровня в цистерне экстрактора.

Регулирование температурных режимов предусмотрено в сборниках разведенного экстракта, бродильном чане и холодильнике сусла. Температура в сборнике разведенного экстракта определяется температурой воды, получаемой смешиванием горячей и холодной воды. Температура теплой воды измеряется показывающим манометрическим термометром 15-2 с пневматической дистанционной передачей. Пневматический сигнал поступает на показывающий и самопишущий прибор с задатчиком 15-3, установленный на щите, а от него — на пневматический пропорциональный регулятор температуры 15-4. Регулирующее воздействие передается на мембранный клапан 15-5, изменяющий подачу горячей воды. Аналогичной САР производится регулирование температуры в бродильном чане и холодильнике.

Количество сиропа, подаваемого в бродильный и купажный чаны, контролируется шестеренными счетчиками жидкости 19-1 и 22-1. Расходы экстракта и кваса на розлив контролируются индукционными расходомерами 12-1 и 24-1, подключенными к соответствующим вторичным показывающим приборам 12-2 и 24-2 (по месту), а также через электропневматические преобразователи 12-3 и 24-3 к соответствующим показывающим и интегрирующим приборам 12-4 и 24-4 (на щите), определяющим общее количество расходуемых жидкостей.





Условные обозначения:

———1т——— — теплая вода;
———37——— — раствор сахара;
———78——— — рассол;
———90——— — экстракт кваса;
———91——— — закваска;
———92——— — экстракт кваса разведенный;
———109——— — квас

Рис. 20.20. Схема автоматизации приготовления кваса

Работа насосов Н2... Н7 контролируется посредством показывающих манометров 3-1, 4-1, 13-1, 14-1, 16-1 и 25-1.

20.13. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ МОЙКИ ТАРЫ В БУТЫЛКОМОЕЧНОЙ МАШИНЕ

Задачей мойки, например стеклянной тары, является очистка поверхности стекла от грязи, пыли и микрофлоры. Для этого в бутылкомоечной машине выполняется следующие операции: предварительная обмывка бутылок отработанной теплой водой температурой 30... 35 °С для удаления крупных частиц грязи и подогрева бутылок; отмачивание бутылок в концентрированном щелочном растворе (1... 1,5 %) температурой 60... 65 °С; шприцевание под давлением и ополаскивание под душем бутылок щелочным раствором при температуре 60... 65 °С; шприцевание под давлением и ополаскивание под душем бутылок теплой водой (30... 35 °С); шприцевание и ополаскивание бутылок холодной водой.

Главными условиями высококачественной мойки бутылок являются строгое соблюдение температурного режима и поддержание оптимальной концентрации моющего раствора в ваннах бутыломоечной машины. В бутылкомоечной машине 1%-ный щелочной раствор готовится путем смешивания концентрированной 30%-ной щелочи NaOH с водой. Далее щелочной раствор подогревается (60... 65) °С и направляется в соответствующие ванны на мойку. Теплую воду получают подогреванием холодной воды до 30... 35 °С. После мойки щелочной раствор очищается и возвращается в расходный бак.

При автоматизации процесса мойки в бутылкомоечной машине необходимо поддержание температурных режимов и концентрации щелочного раствора в заданном диапазоне. Схема автоматизации мойки (рис. 20.21) предусматривает регулирование уровня в сборнике концентрированный 30%-ной щелочи NaOH регулятором прямого действия *LC*1 с пропорциональным законом регулирования. Уровень 1%-ного щелочного раствора регулируется изменением подачи концентрированного щелочного раствора в расходный бак. В качестве датчика использован погружной датчик с термокомпенсацией 2-1, сигнал от которого поступает на высокоомный преобразователь 2-2. Далее сигнал подается на позиционный регулятор 2-3, импульсный элемент 2-4 и электромагнитный клапан 2-5. В качестве импульсного элемента может быть использован, например,

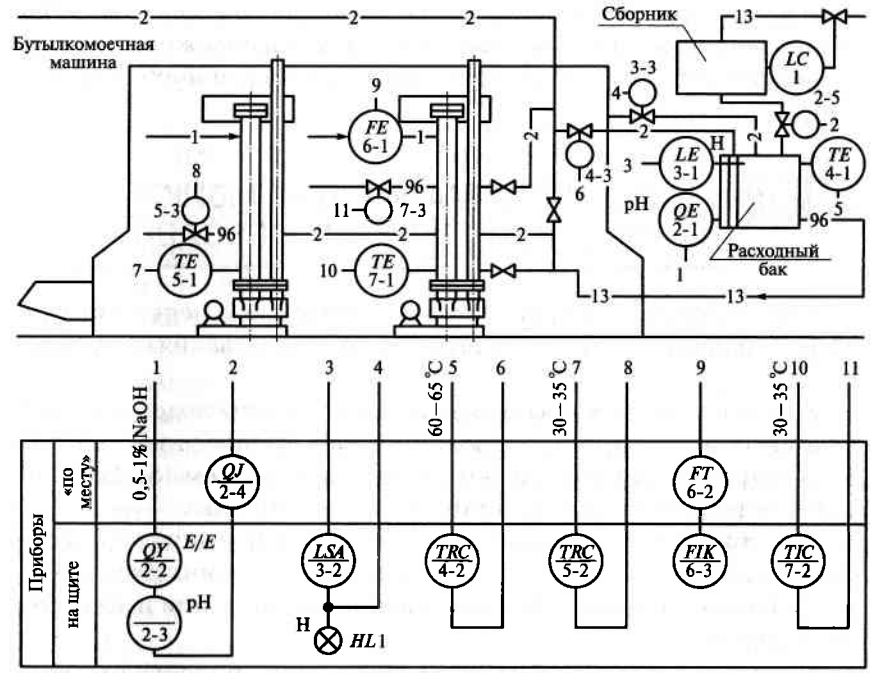


Рис. 20.21. Схема автоматизации мойки в бутылкомоечной машине

командный электропневматический прибор, устанавливающий дозу подаваемой щелочи продолжительностью ее слива и обеспечивающий выдержку времени, необходимую для растворения дозы, поступившей в расходный бак в целях компенсации инерционности процесса растворения (т. е. инерционности объекта регулирования).

Уровень в расходном баке контролируется датчиком уровня 3-1, сигнал которого поступает на электронный сигнализатор уровня 3-2, осуществляющий позиционное управление электромагнитным клапаном 3-3 на линии подачи воды в бак. Температура раствора щелочи в расходном баке измеряется термопреобразователем сопротивления 4-1, сигнал с которого поступает на показывающий и регулирующий прибор 4-2, расположенный на щите, который управляет электрическим исполнительным механизмом 4-3 клапана подачи пара на подогрев щелочного раствора. Аналогично регулируется температура теплой воды для предварительной обмывки и ополаскивания бутылок.

Схемой автоматизации также предусмотрен контроль расхода воды в бутылкомоечной машине. С этой целью на трубопроводе по-

дачи воды установлен электромагнитный расходомер 6-1, сигнал от которого через измерительный блок 6-2, расположенный по месту, поступает на вторичный показывающий и самопишущий прибор 6-3.

20.14. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ МОЙКИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

Качество молочных продуктов в значительной мере зависит от эффективности мойки технологического оборудования и трубопроводов.

Мойка и дезинфекция оборудования и трубопроводов — один из основных элементов производственного процесса на пищевых предприятиях, на который затрачивается в среднем 15...25 % времени, отведенного на полный технологический цикл.

Высокое качество циркуляционной мойки и дезинфекции оборудования при минимальных затратах труда, химикатов, воды и пара возможно только при комплексной механизации и автоматизации процесса.

Пищевые продукты образуют с контактируемой поверхностью отложения, для удаления которых применяют соответствующие моющие растворы. Так, для удаления отложений с поверхности резервуаров и трубопроводов, состоящих из жира и белка, применяют в основном растворы кальцинированной и каустической соды, а также синтетические моющие средства типа «Вимол», РМП, РМК и РОМ.

Отложения, образующиеся на поверхности теплообменных аппаратов, удаляют с помощью растворов каустической соды, а также растворов кислот (азотной и сульфаминовой). Для дезинфекции (стерилизации) используют растворы хлорной извести с содержанием активного хлора 150...200 мг/л или горячую воду температурой 90...95 °С. Для периодического снятия солевых отложений из фосфатов, карбонатов, силикатов кальция и магния применяют растворы упомянутых кислот. Циркуляционная мойка емкостей и трубопроводов обычно осуществляется в такой последовательности:

- ополаскивание холодной водой и вытеснение остатков пищевого продукта;
- ополаскивание теплой водой температурой 30...40 °С;
- циркуляция щелочного раствора температурой 65...70 °С с массовой долей моющего средства до 1 %;

- ополаскивание теплой водой, стерилизация (дезинфекция) раствором хлорной извести, ополаскивание холодной водой.

При мойке теплообменных аппаратов (пластинчатых пастеризационно-охладительных установок и вакуум-выпарных установок) после циркуляции щелочного раствора каустической соды (1,2 %) и ополаскивания водой следует циркуляция кислотного раствора (1 %) и ополаскивание водой при температуре растворов соответственно 75...80 и 65...70 °С.

Для мойки вакуум-выпарных установок раствор каустической соды должен иметь концентрацию соды до 2 % и температуру 70...80 °С, раствор кислоты — соответственно до 2 % и 65...70 °С.

Собственно система циркуляционной мойки оборудования и трубопроводов включает объект мойки, автоматизированную установку для циркуляционной мойки (моющую станцию), трубопроводы и арматуру, соединяющие объект мойки с установкой. Для эффективной мойки емкостного оборудования (емкостей) последние оснащаются моющими головками, обеспечивающими равномерный распыл моющих средств по внутренней поверхности объекта мойки и достаточное гидродинамическое воздействие. Моечные устройства, выполняющие ополаскивание и мойку, подключают к нагнетательному трубопроводу моющей станции. Отработанные растворы и вода удаляются через сливной патрубок, который подсоединен к сливному трубопроводу.

Автоматическая система управления установками для циркуляционной мойки должна обеспечить заданные временные режимы и технологические параметры процесса мойки. С этой целью предусматривают:

- регулирование заданных температуры нагрева моющих растворов и воды, концентрации моющих растворов, уровня моющих растворов и воды в баках;
- управление переключением от одной операции мойки к другой через заданный интервал времени с применением дистанционно управляемых клапанов; сигнализацию раздела сред «вода — моющий раствор» в целях управления направлением потоков и др.

Система циркуляционной мойки трубопроводов и оборудования состоит из двух емкостей для концентрированного моющего и дезинфицирующего растворов, центробежного насоса, инжектора для подсасывания и смешивания концентрированного моющего раствора с водой, нагревателя, гидростенда, объекта мойки (систе-

ма трубопроводов), пульсатора и дросселей для задания расходов моющего и дезинфицирующего растворов.

Пульсатор представляет собой цилиндр с поршнем, который перемещается исполнительным механизмом, работающим от гидростенда. Мойка трубопроводов и оборудования проводится по программе с учетом загрязнений и типа оборудования. Программное управление осуществляется с помощью устройства 8-1, которое дает сигнал на открытие исполнительного механизма 3-2 подачи холодной воды. Магнитный пускатель *КМ*1 включает электродвигатель, и насос начинает подавать холодную воду в контур мойки. Одновременно с насосом магнитный пускатель подключает электродвигатель гидростенда, включающий исполнительный механизм пульсатора. Промывка холодной водой длится 2...3 мин.

Уровень моющего и дезинфицирующего растворов в баках на заданном значении поддерживается регуляторами уровня прямого действия 5-7 и 6-1. Сигнализация о наполнении емкостей осуществляется сигнализатором 7-3 и лампой *HL*3, причем предусмотрена деблокировка исполнительных механизмов: подачи моющего раствора 2-2 и дезинфицирующего раствора 4-2. Программное устройство вырабатывает сигнал на открытие исполнительного механизма 2-2 и включение прибора 1-3, регулирующего температуру воды после нагревателя, далее срабатывает исполнительный механизм 1-4, подающий пар в нагреватель. Моющий раствор нагревается до 60 °С, его концентрация контролируется прибором 9-2. При отклонении концентрации моющего раствора от заданного значения загорается лампа *HL*5. После мойки системы трубопроводов моющим раствором программное устройство выдает сигнал на исполнительные механизмы 2-2 для закрытия и 1-4 для прекращения подачи пара в нагреватель. Трубопроводы ополаскивают холодной водой, затем автоматически открывается исполнительный механизм 4-2 и в инжектор подается дезинфицирующий раствор. После дезинфекции исполнительный механизм 4-2 закрывается и трубопроводы ополаскивают холодной водой. Пульсатор работает в течение всего процесса мойки, по окончании мойки он отключается вместе с электродвигателем насоса и исполнительным механизмом 3-2. Давление в маслопроводе гидростенда и на линиях подвода пара и холодной воды гидростенда контролируется манометрами 10-1, 11-1, 12-1, 13-1, 14-1 и 15-1. Для перехода системы мойки с автоматического на дистанционное управление применяют переключатели воздушных линий *SA*1, *SA*2, *SA*3. В дистанционном режиме исполнительными механизмами управляют с помощью байпасных панелей дистанционного управления 2-1, 3-1 и 4-1.

На средних и малых предприятиях используют децентрализованные автоматизированные моющие установки.

Децентрализованные автоматизированные установки мойки включают в себя собственно локальные установки мойки ЛУМ для группы технологического оборудования участка и центральную станцию, где осуществляется приготовление и хранение рабочих моющих растворов и воды ЦСП. ЛУМ размещаются в непосредственной близости от технологических объектов мойки и обеспечивают прием для мойки необходимого количества рабочих моющих средств, нагрев их до заданных температур и управление последовательностью и длительностью режимов по заданным программам.

Использование децентрализованных систем на не крупных предприятиях более экономично, так как они позволяют снизить расходы моющих средств, пара и воды по сравнению с централизованными системами, хотя используемое на них оборудование несколько дороже.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В соответствии с вашей специальностью найдите на схемах автоматизации приборы, обеспечивающие местный контроль, функциональные цепочки дистанционного контроля, регулирования, операторского управления. **2.** Почему в некоторых случаях используется звуковая сигнализация? **3.** Какие основные параметры контролируют и регулируют при тепловой обработке молока? **4.** Расскажите о контурах регулирования при производстве мягкого творога. **5.** Какие факторы затрудняют автоматизацию технологических процессов в мясной промышленности? **6.** Какие параметры контролируются и регулируются в коптильной камере? **7.** Как происходит регулирование степени интенсивности механической обработки теста при замесе? **8.** Как достигается нужное сочетание компонентов при замесе теста? **9.** Какой наиболее опасный фактор существует при выпечке хлеба и как он ликвидируется? **10.** Как регулируются расходы патоки, инвертного сиропа и воды при производстве карамели? **11.** Как регулируется температура в помадосбивальной машине? **12.** Какими датчиками измеряется температура в заторных котлах при производстве пивного сусла? **13.** Как контролируются расходы сиропа, экстракта и готового кваса?

Список литературы

Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в пищевой промышленности / [Л. А. Широков, В. И. Михайлов, Р. З. Фельдман и др.] ; под ред. Л. А. Широкова. — М. : Агропромиздат, 1986.

Автоматика и автоматизация пищевых производств / [М. М. Благовещенская, Н. О. Воронина, А. В. Казаков и др.]. — М. : Агропромиздат, 1991.

Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие / [Б. Д. Кошарский, Т. Х. Безновская, В. А. Бек и др.] ; под ред. Б. Д. Кошарского. — Л. : Машиностроение, 1976.

Барласов Б. З. Наладка приборов и средств автоматизации / Б. З. Барласов, В. И. Ильин. — М. : Высш. шк., 1975.

Бородин И. Ф., Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. — М. : Колос, 2004.

Брусиловский Л. П. Приборы технологического контроля в молочной промышленности : справочник / Л. П. Брусиловский, А. Я. Вайнберг. — М. : Агропромиздат, 1990.

Брусиловский Л. П. АСУТП цельномолочных и молочноконсервных производств / Л. П. Брусиловский, А. Я. Вайнберг. — М. : Колос, 1993.

Воробьева Н. И. Основы автоматизации технологических процессов в мясной и молочной промышленности / Н. И. Воробьева. — М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1983.

Евдокимова Г. М. Автоматизация производственных процессов в мясной и молочной промышленности / Г. М. Евдокимова, Л. И. Селевцов. — М. : Колос, 2000.

Кулаков М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств / М. В. Кулаков. — М. : Машиностроение, 1974.

Митин В. В. Автоматика и автоматизация производственных процессов мясной и молочной промышленности / В. В. Митин, В. И. Усков, Н. Н. Смирнов. — М. : Агропромиздат, 1987.

Петров И. К. Приборы и средства автоматизации для пищевой промышленности : справочник / И. К. Петров, М. М. Солошенко, В. А. Царьков. — М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981.

Промышленные приборы и средства автоматизации : справочник / [В. Я. Баранов, Т. Х. Безновская, В. А. Бек и др.] ; под общ. ред. В. В. Черенкова. — Л. : Машиностроение, 1987.

Пронько В. В. Технологические измерения и КИП в пищевой промышленности / В. В. Пронько. — М. : Агропромиздат, 1990.

Соловцов В. К. Контрольно-измерительные приборы / В. К. Соловьев. — М. : Высш. шк., 1969.

Справочник по автоматизации котельных / Л. М. Файерштейн, Л. С. Эттинген, Г. Г. Гохбойм ; под ред. Л. М. Файерштейна. — М. : Энергоатомиздат, 1985.

Фаликов В. С. Автоматизация тепловых пунктов : справочное пособие / В. С. Фаликов, В. П. Витальев. — М. : Энергоатомиздат, 1989.

Харьковский Б. И. Приборы автоматического контроля и регулирования (устройство и ремонт) / Б. И. Харьковский. — М. : Высш. шк., 1989.

Оглавление

Введение ... 3

Раздел I
Контрольно-измерительные приборы

Глава 1. Основы метрологии и характеристики измерительных приборов ... 7
1.1. Основные понятия. Методы измерений ... 7
1.2. Метрологические характеристики измерительных приборов ... 8
1.3. Отсчетные устройства, характеристики шкал ... 10
1.4. Структурные схемы измерительных систем и приборов ... 11

Глава 2. Измерительные схемы приборов и системы дистанционной передачи показаний ... 14
2.1. Измерительные схемы приборов ... 14
2.2. Государственная система промышленных приборов и средств информации ... 18
2.3. Системы дистанционной передачи показаний ... 20

Глава 3. Показывающие и регистрирующие измерительные приборы ... 26
3.1. Общая характеристика измерительных приборов ... 26
3.2. Приборы для измерения электрического сопротивления ... 29
3.3. Приборы для измерения электрического напряжения постоянного тока ... 32
3.4. Приборы для измерения силы постоянного тока (миллиамперметры) ... 34
3.5. Показывающий прибор пневматической ветви ГСП типа ПВ ... 35

Глава 4. Приборы для контроля давления (вакуума) ... 38
4.1. Общие сведения ... 38
4.2. Жидкостные приборы ... 39
4.3. Приборы с упругими чувствительными элементами (дифференционные) ... 42

Глава 5. Приборы для контроля температуры ... 51
5.1. Общие сведения ... 51
5.2. Термометры расширения ... 52

5.3. Манометрические термометры ... 53
5.4. Термометры сопротивления ... 55
5.5. Термоэлектрические термометры (термопары) ... 57
5.6. Оптические пирометры ... 60

Глава 6. Приборы для контроля расхода массы и учета штучной продукции ... 62
6.1. Общие положения ... 62
6.2. Счетчики количества ... 63
6.3. Расходомеры ... 71
6.4. Весы и дозаторы ... 78
6.5. Счетчики для автоматического учета штучной продукции ... 81

Глава 7. Приборы для контроля уровня жидких и сыпучих тел ... 86
7.1. Классификация приборов для контроля уровня ... 86
7.2. Поплавковые приборы ... 86
7.3. Буйковые уровнемеры ... 89
7.4. Пьезометрические уровнемеры ... 90
7.5. Уровнемеры-дифманометры ... 91
7.6. Кондуктометрические уровнемеры ... 92
7.7. Емкостные приборы ... 93

Глава 8. Приборы для контроля свойств и состава вещества ... 99
8.1. Приборы для измерения концентрации состава жидкости ... 99
8.2. Приборы для анализа состава газов (газоанализаторы) ... 107
8.3. Приборы для измерения влажности воздуха ... 109
8.4. Приборы для измерения влажности пищевых продуктов ... 112
8.5. Приборы для измерения плотности жидких сред ... 115
8.6. Приборы для измерения вязкости (вискозиметры) ... 118

Раздел II
Основы теории автоматического управления

Глава 9. Общие сведения о процессах автоматического управления ... 123
9.1. Основные понятия автоматизации и структурная схема системы автоматического управления ... 123
9.2. Основные виды САУ ... 125
9.3. Принципы регулирования ... 127

Глава 10. Объекты автоматизации и их основные свойства ... 132
10.1. Общие сведения ... 132
10.2. Свойства объектов автоматизации ... 134

Глава 11. Системы автоматического регулирования ... 143
11.1. Назначение и виды САР ... 143
11.2. Системы регулирования прерывистого действия ... 143

11.3. Системы регулирования непрерывного действия и законы регулирования ... 145
11.4. Переходные процессы систем регулирования ... 149
11.5. Показатели качества процесса регулирования ... 151
11.6. Выбор автоматического регулятора и расчет параметров его настройки ... 153

Раздел III
Технические средства систем автоматического управления

Глава 12. Регулирующие устройства ... 159
12.1. Регулирующие приборы позиционного действия ... 159
12.2. Использование измерительных приборов в качестве регулирующих устройств ... 163
12.3. Регулирующие устройства прямого действия ... 168
12.4. Регулирующие устройства приборного типа ... 171
12.5. Межсистемные преобразователи сигналов ... 178

Глава 13. Микропроцессоры, ЭВМ и роботы в управлении технологическими процессами ... 184
13.1. Программируемые технические средства контроля и управления 184
13.2. Промышленные роботы ... 190

Глава 14. Исполнительные механизмы и рабочие органы ... 199
14.1. Исполнительные механизмы ... 199
14.2. Рабочие органы автоматических устройств ... 212
14.3. Сочленение исполнительного механизма с рабочими органами ... 216

Глава 15. Вспомогательные средства систем автоматизации ... 218
15.1. Электрические устройства автоматизации ... 218
15.2. Пневматические системы автоматизации ... 234

Раздел IV
Монтаж технических средств автоматизации

Глава 16. Монтаж первичных преобразователей (датчиков) и приборов, установленных «по месту» ... 239
16.1. Монтаж датчиков температуры ... 239
16.2. Монтаж приборов для измерения давления и разрежения. ... 240
16.3. Приборы для измерения расхода ... 243
16.4. Приборы для контроля уровня ... 247

Глава 17. Монтаж приборов на щитах и пультах управления ... 249
17.1. Устройство и конструкция щитов и пультов управления ... 249
17.2. Правила размещения и монтажа приборов на щитах и пультах управления ... 252

Раздел V
Схемы автоматизации технологических процессов пищевой промышленности

Глава 18. Правила выполнения схем автоматизации ... 259

Глава 19. Схемы автоматизации вспомогательных технологических процессов ... 271
19.1. Общая характеристика вспомогательных процессов ... 271
19.2. Автоматизация производства пара ... 272
19.3. Автоматизация очистки сточных вод ... 274
19.4. Автоматизация холодоснабжения ... 277
19.5. Автоматизация кондиционирования воздуха ... 282

Глава 20. Схемы автоматизации технологических процессов ... 288
20.1. Автоматизация пастеризации молока ... 288
20.2. Автоматизация производства кисломолочных напитков ... 292
20.3. Автоматизация производства творога ... 294
20.4. Автоматизация холодильной обработки мяса ... 299
20.5. Автоматизация производства колбасных изделий ... 304
20.6. Системы автоматизации тестоприготовления ... 310
20.7. Система автоматизации выпечки хлеба ... 317
20.8. Система автоматизации производства карамели ... 320
20.9. Система автоматизации производства отливных глазированных конфет ... 326
20.10. Автоматизация процесса производства пивного сусла ... 331
20.11. Автоматизация процесса непрерывного сбраживания пивного сусла ... 335
20.12. Система автоматизации приготовления кваса ... 336
20.13. Система автоматизации мойки тары в бутылкомоечной машине ... 340
20.14. Система автоматизации мойки оборудования и трубопроводов ... 342

Список литературы ... 346

Учебное издание

Селевцов Леонид Иванович,
Селевцов Александр Леонидович

Автоматизация технологических процессов

Учебник

3-е издание, стереотипное

Редактор *М. П. Малахов*
Технический редактор *Н. И. Горбачёва*
Компьютерная верстка: *Р. Ю. Волкова*
Корректоры *О. И. Лыкова, Т. Н. Чеснокова*

Изд. № 103112727. Подписано в печать 01.10.2013. Формат 60 × 90/16.
Гарнитура «Балтика». Печать офсетная. Бумага офс. № 1. Усл. печ. л. 22,0.
Тираж 1 000 экз. Заказ № 34836.

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.
Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16476 от 05.04.2013.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных издательством
электронных носителей в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат».
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. www.sarpk.ru