

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



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

*Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается*

ISBN 978-5-4468-0615-7

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

**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 последние 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.

# I

## РАЗДЕЛ

# 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

# 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  $x_A$  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) —  $x_n$ , которое никогда не совпадает с действительным значением  $x_A$ .

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

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

**Косвенные методы измерения** заключаются в определении искомой величины  $x_A$  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  $\pm 1$  °С или уровня с погрешностью  $\pm 10$  мм).

Для сравнения точности измерения различных физических величин вводится понятие относительной погрешности. **Относительная погрешность**  $\delta$ , % — это отношение абсолютной погрешности  $\Delta$  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**  $\gamma$ . 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  $x_{\text{imax}}$  и минимальным значением  $x_{\text{imin}}$ :

$$N = x_{\text{imax}} - x_{\text{imin}}.$$

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  $\Delta y$  к изменению входной величины  $\Delta x$  при условии, что последняя стремится к нулю:

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

Для стрелочного показывающего прибора выходной величиной  $\Delta y$  является перемещение стрелки по шкале, а входной  $\Delta x$  — изменение измеряемой величины  $x_A$ . Очевидно, чем больше  $s$ , тем более точно визуально можно отсчитывать показания прибора.

**Порог чувствительности.** Порогом чувствительности  $\Delta s$  называется минимальное изменение входной величины  $\Delta x$ , которое вызывает изменение выходной величины  $y$ , или максимальное изменение входной величины  $\Delta x$ , 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  $x_d$ , измеряемой от минимального значения до максимального по шкале прибора. Чем больше инерционность, тем больше продолжительность измерения прибором.

**Вариация.** Вариация  $V$  — это наибольшая разность показаний прибора при одном и том же значении измеряемой величины  $x_d$  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;

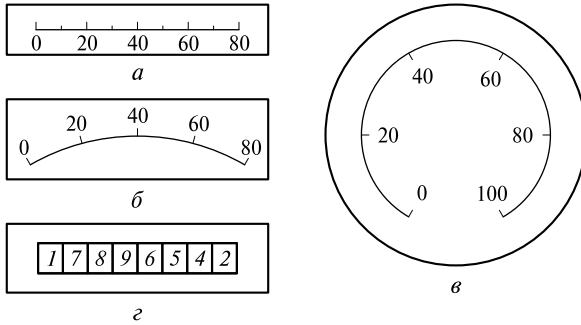


Рис. 1.1. Виды шкал:

*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  $x_d$  и преобразования ее в визуальную информацию, и состоит из двух элементов: датчика  $D$ , 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

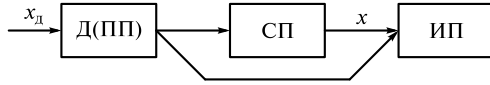


Рис. 1.2. Виды измерительной системы

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 уравнивания. На рис. 1.3, *а* показана структурная схема прибора прямого преобразования. В них измеряемая физическая величина  $x_n$ , 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-

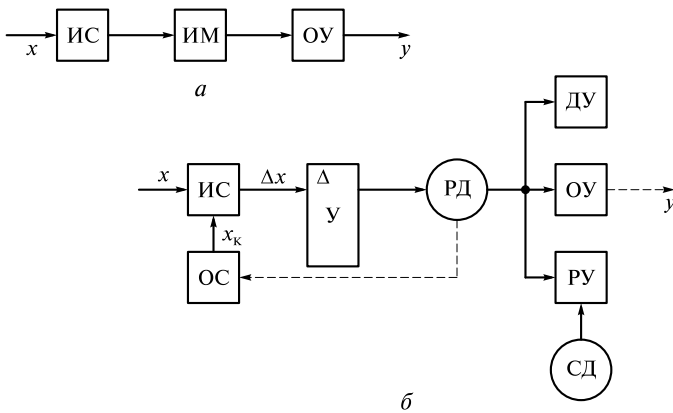


Рис. 1.3. Виды измерительных приборов:

*а* — прямого преобразования; *б* — следящего уравнивания

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

На рис. 1.3, б показана схема ИП следящего уравнивания. Входная величина  $x$  поступает в измерительную схему сравнения ИС, которая преобразует  $x$  в разностный сигнал  $\Delta x$ . 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  $x_k$ , противоположный по знаку величине  $\Delta x$ . Когда величины  $\Delta x$  и  $x_k$  станут равными по абсолютной величине, работа РД прекратится и на ОУ и РУ будет выведено значение измеряемой величины (с погрешностью прибора)  $x_n$ .

Приборы следящего уравнивания 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  $x_d$  и ее измеренным значением  $x_n$ ? **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  $x_d$  во входную  $X$  для измерительного прибора? **8.** Для чего используются в приборах следящего уравнивания реверсивный двигатель РД и синхронный СД?

# 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 сопротивлений 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

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

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 А и С 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  $U_{\text{пит}}$ , 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  $AC$ . Особенности 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  $R_p$ . 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  $R_x = R_p$ . Таким образом, по показаниям ОУ реохорда можно определить значение  $R_x$ .

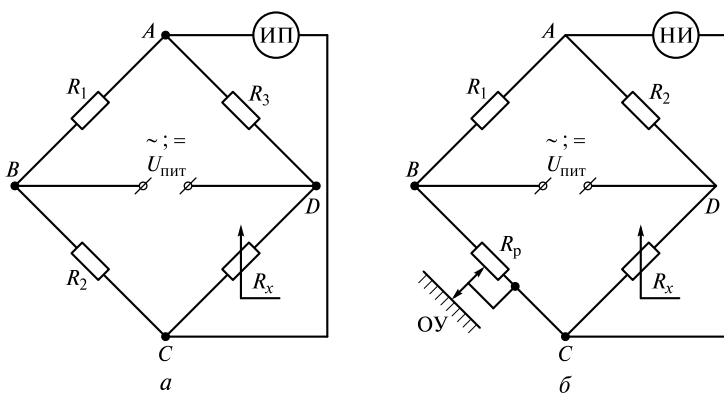


Рис. 2.1. Мостовые схемы:

а — мостовая неуравновешенная схема; б — мостовая уравновешенная схема

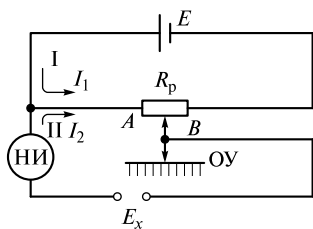


Рис. 2.2. Потенциометрическая измерительная схема

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  $R_p$  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-

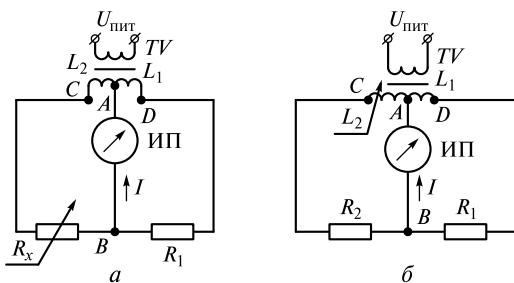


Рис. 2.3. Дифференциальные измерительные схемы:

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 преобразователи, логические устройства, запоминающие устройства, автоматические регуляторы, задатчики всех типов, а также управляющие 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.

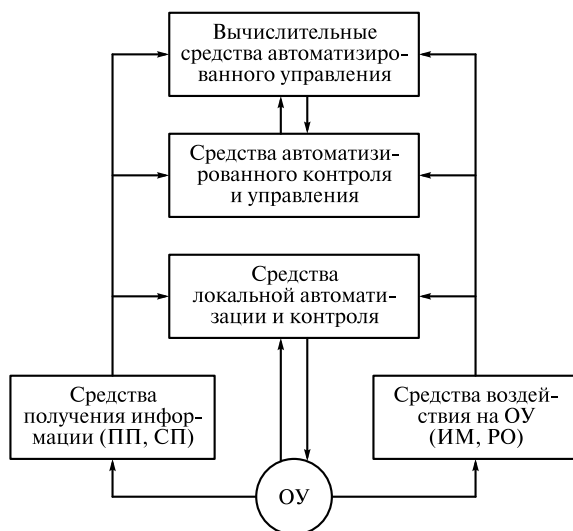


Рис. 2.4. Функциональная схема ГСП

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, преобразо-

ванных 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  $r_1, \dots, r_4$  — 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.

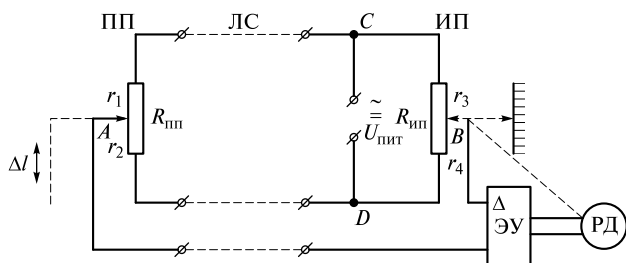


Рис. 2.5. Омическая система преобразования и передачи данных

**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  $\Delta l$ . 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  $L_4$ ,

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

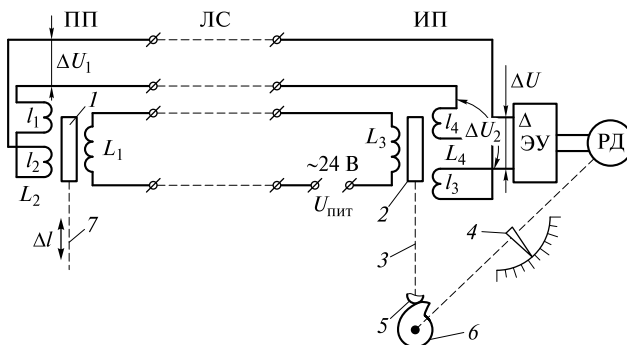


Рис. 2.6. Дифференциально-трансформаторная система преобразования и передачи данных

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  $\varphi_1$ . 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  $\varphi_2$ . 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  $\varphi_1$ . 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,

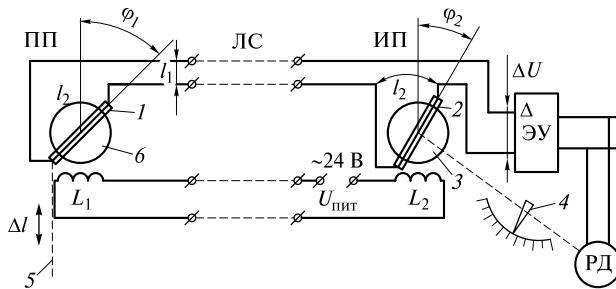


Рис. 2.7. Ферродинамическая система преобразования и передачи данных

перемещая стрелку 4 и поворачивая рамку 2 до тех пор, пока не восстановится равенство  $\phi_1 = \phi_2$ . 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  $p_c = 0,02 \dots 0,1$  МПа, а питанием служит сжатый воздух давлением  $p_{\text{п}} = 0,14$  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  $\Delta l$  тяги 1. В результате на ней

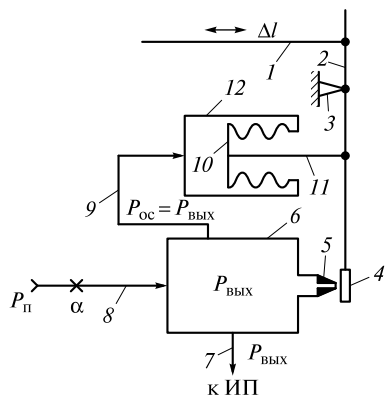


Рис. 2.8. Пневматическая система преобразования и передачи данных



возникает усилие  $F$ , действующее на рычаг 2. Например, при увеличении технологического параметра тяга перемещается вправо, что приводит к повороту рычага 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  $\alpha$ . Оно снижает давление до максимально возможного для полезного сигнала —  $1 \text{ кг/см}^2$ . При уменьшении сброса воздуха увеличивается давление в камере 6, которое в качестве выходного давления  $p_{\text{вых}}$  поступает по пневмоприводу 7 к измерительному прибору ИП. Одновременно в качестве сигнала обратной связи  $P_{\text{ос}}$  давление поступает по пневмоприводу 9 в камеру 12. В ней установлен сильфон 10. Под действием усилия давления  $P_{\text{ос}}$  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  $P_{\text{вых}}$ , 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, изменяющие 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 наиболее 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?