



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

В.И. Губанов

**БАЗОВЫЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОМД»**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*



Магнитогорск
2015

УДК 621.771:65.011.56(075)

Рецензенты:

Заместитель главного энергетика ОАО «Белметкомбинат»

С.А. Точилкин

Кандидат технических наук, доцент,
Филиал ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
Университет им. Г.И. Носова»
в г. Белорецке
В.Г. Рыжков

Губанов В.И.

Базовый конспект лекций по дисциплине «Основы автоматизации технологических процессов ОМД» [Электронный ресурс] : учебное пособие / Владимир Иванович Губанов ; ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (1,45 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

В конспекте лекций излагаются основы прикладной теории автоматического регулирования применительно к технологическим процессам в металлургии. Рассматриваются объекты регулирования, их свойства, характеристики, законы, показатели качества регулирования.

Конспект лекций предназначен для студентов всех форм обучения по профилю подготовки бакалавров 150400.62 «Обработка металлов и сплавов давлением».

УДК 621.771:65.011.56(075)

© Губанов В.И., 2015

© ФГБОУ ВПО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ	6
1.1. Основные определения и понятия	6
1.2. Элементы автоматических систем	7
1.3. Показатели качества процесса регулирования	8
1.4. Устойчивость линейных автоматических систем регулирования	8
ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	11
2.1. Объект управления	11
2.2. Управляемая величина	11
2.3. Классификация автоматических систем управления	13
2.4. Классификация автоматических систем регулирования по алгоритму функционирования	16
2.5. Структурные схемы автоматических систем (законы регулирования)	16
2.6. Описание работы автоматических систем	18
2.7. Элементы САУ	20
2.7.1. Электрические и электромеханические элементы	20
2.7.2. Резисторные угольные преобразователи	21
2.7.3. Тензорезисторные преобразователи	21
2.7.4. Индуктивные преобразователи	21
2.7.5. Сельсины	22
2.7.6. Индукционные преобразователи	23
2.7.7. Магнитоуправляемые (безъякорные) реле	24
2.7.8. Вибропреобразователи	25
2.7.9. Электромеханические исполнительные механизмы	26
2.7.10. Электромагнитные исполнительные механизмы	28
ГЛАВА 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ	30
3.1. Общие сведения о технических средствах автоматизации	30
3.2. Измерительные устройства для автоматизации прокатного производства	31
3.2.1. Измерители усилий	31
3.2.2. Измерители технологических нагрузок	35
3.2.3. Измерители показателей геометрии проката	38
3.2.4. Измерители температуры	39
3.3. Исполнительные устройства для автоматизации прокатного производства	41
3.3.1. Электроприводы исполнительных механизмов	41
3.3.2. Типовые динамические звенья	42
3.4. Настройка регуляторов	50
3.4.1. Типовые законы регулирования	50
3.4.2. Управляющие устройства (автоматические регуляторы)	54
3.5. Регулирующий микропроцессорный контроллер — РЕМИКОНТ	58
ГЛАВА 4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ СТАНА	62
4.1. АСУ ТП прокатного стана	63

4.2. Системы автоматического управления толстолистовым станом.....	64
4.3. Системы автоматического регулирования формы полосы	65
4.4. Регулирование толщины по возмущению	66
4.5. Системы автоматического регулирования натяжения.....	67
4.5.1. Регулирование натяжения перемещением валков	67
4.5.2. Регулирование натяжения изменением скоростей валков.....	68
4.5.3. Система управления прокатным станом 150	68
4.5.4. Программное обеспечение АСУТП стана 150	69
4.5.5. Назначение и функции системы управления стана 150	70
ГЛАВА 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАНАТОВ.....	71
5.1. Магнитный метод контроля.....	71
5.2. Счетчики для измерения длины прядей и канатов	71
5.3. Измерение длины каната методом магнитной метки.....	73
ГЛАВА 6. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРУБНЫХ АГРЕГАТОВ	75
6.1. Общие сведения об агрегатах для производства труб и их автоматизации....	75
6.2. Системы автоматического управления трубными агрегатами.....	76
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	78

ВВЕДЕНИЕ

Задачи управления металлургическими процессами и агрегатами

1. Управление доменным процессом
2. Управление конвертерным процессом
3. Управление методическими печами
4. Управление процессом горячей прокатки труб
5. Управление камерными печами

Управление доменным процессом

Практически все без исключения металлургические агрегаты представляют собой сложные нестационарные объекты регулирования, которые описываются уравнениями высоких порядков, имеют нелинейные зависимости между входными и выходными величинами. Сложные объекты управления, к которым относятся практически все металлургические агрегаты, можно подразделить на ряд элементарных звеньев, последовательное и параллельное соединение которых позволяет при рассмотрении этих объектов использовать положения теории автоматического управления.

Управление конвертерным процессом.

Основной технологической задачей конвертерной плавки являются продувка жидкого чугуна окислительным газом и получение стали заданного состава и температуры. При продувке чугуна такие элементы, как углерод, кремний, фосфор, марганец и другие, окисляются, продукты окисления переходят в шлак или в газовую фазу. Производство стали в конвертерах является циклическим процессом, причем каждый цикл состоит из нескольких технологических периодов: загрузки лома и руды, заливки чугуна, продувки, выпуска металла и шлака.

Управление методическими печами.

Методические печи используются для нагрева металла перед прокаткой на листовых и сортовых станах. Качество продукции и производительность станов во многом определяются работой нагревательных печей, причем в большинстве случаев ошибки, возникающие при нагреве металла, уже не могут быть исправлены на последующих переделах.

Управление процессом горячей прокатки труб.

Агрегат горячей прокатки труб можно рассматривать как технологическую цепь, состоящую из ряда звеньев, и поэтому качество получаемой трубы зависит от многих технологических факторов. Трубопрокатный агрегат как объект автоматического управления может быть представлен в виде отдельных звеньев, соединенных последовательно.

Управление камерными печами.

Камерные печи предназначены для нагрева или термообработки (колпаковые печи) металлических изделий. С точки зрения управления камерные печи являются агрегатами периодического действия с переменным во времени тепловым режимом.

ГЛАВА 1. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

1.1. Основные определения и понятия

Работа любой технологической установки, агрегата или технологического объекта характеризуется различными физическими величинами, например температурой, давлением, разрежением, расходом вещества и т. п. для обеспечения оптимального режима их работы эти физические величины должны с определенной точностью поддерживаться на заданном уровне или изменяться по определенному закону.

На рис. 1. представлен технологический объект — сушильный шкаф, в котором должна поддерживаться постоянная температура θ , которая измеряется измерительным прибором ИП в комплекте с термометром сопротивления R_T .

Так осуществляется ручное регулирование объектом — температуры сушильного шкафа. Принципиальная схема взаимодействия системы «объект—оператор» при ручном регулировании температуры сушильного шкафа представлена на рис. 2. Входом системы по регулируемому каналу является воздействие человека-оператора Ч-О на движок автотрансформатора АТ. Выходом системы является значение θ температуры в сушильном шкафу.

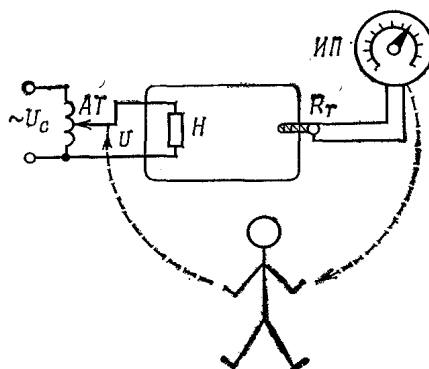


Рис.1. Схема ручного регулирования температуры

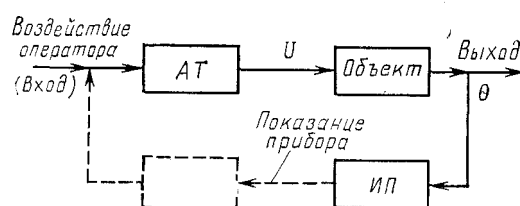


Рис.2. Структурная схема системы, представленной на рис.1

На рис. 3. показан переход от ручного регулирования температуры сушильного шкафа (см. рис. 1.1) к автоматическому ее регулированию.

На рис. 4. в общем виде изображена функциональная структурная схема автоматической системы регулирования (АСР) по рис. 3.

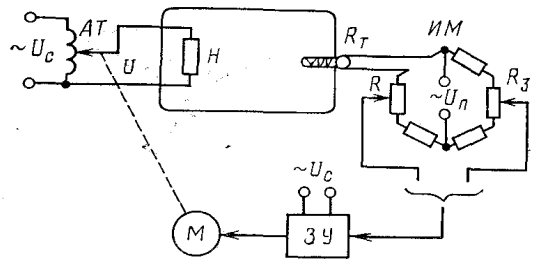


Рис.3. Схема автоматической системы регулирования

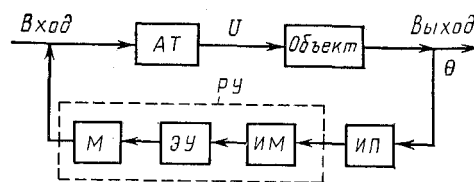


Рис. 4. Структурная схема АСР

Сравнивая схемы (рис. 2 и 4), видим, что в автоматической системе регулирования температуры в сушильном шкафу функции управления вместо человека-оператора осуществляет регулирующее устройство РУ, состоящее из измерительного моста ИМ, электронного усилителя ЭУ и электродвигателя М.

Комплекс технических средств (устройств), присоединяемых к регулируемому объекту и обеспечивающих автоматическое поддержание заданного значения его регулируемой величины или автоматическое изменение ее по заданному закону, называют **автоматическим регулятором** [2].

1.2. Элементы автоматических систем

Элементы автоматических систем по функциональному назначению, принципу действия и устройству имеют большое разнообразие. Так, по функциональному назначению при разработке автоматических систем регулирования наиболее широко применяются следующие элементы.

Первичные измерительные преобразователи (датчики).

Нормирующие преобразователи.

Функциональные преобразователи.

Усилители значения сигнала и (или) его мощности.

Стабилизаторы.

Элементы сравнения.

Задающие элементы.

Регулирующие органы.

Исполнительные механизмы.

Объект регулирования.

По физическому принципу действия элементы классифицируются на следующие виды:

электрические, магнитные и радиоволновые; оптические; механические; гидравлические;

комбинированные: электромеханические, электрогидравлические и т.п. [2].

1.3. Показатели качества процесса регулирования

Качество процесса регулирования системы, как правило, оценивают по ее переходной функции (рис. 5.). Основными показателями качества являются время регулирования, перерегулирование, колебательность и установившаяся ошибка.

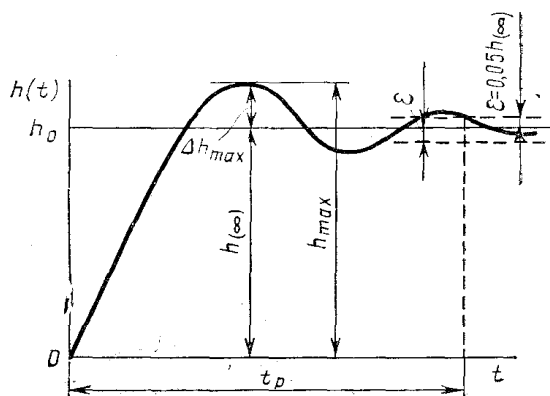


Рис.5. Переходная функция системы с перерегулированием

Рассмотрим основные показатели качества регулирования.

Время регулирования. Перерегулирование. Колебательность [2].

1.4. Устойчивость линейных автоматических систем регулирования

Как указывалось выше, основным назначением АСР является поддержание заданного постоянного значения регулируемого параметра или изменение его по определенному закону. Если после окончания переходного процесса система снова приходит в первоначальное или другое равновесное состояние, то такую систему называют устойчивой.

Если при тех же условиях в системе или возникают колебания со все возрастающей амплитудой, или происходит монотонное увеличение отклонения регулируемой величины от ее заданного равновесного значения, то систему называют неустойчивой.

На рис. 6, а изображен шар, находящийся внутри сферической поверхности. При отсутствии внешних сил шар устанавливается в положение I и его сила тяжести P уравнивается силой реакции сферической поверхности. Если при воздействии внешних сил шар перемещается в положение II, то его сила тяжести разлагается на две составляющие. Составляющая P_1 уравнивается радиальной силой реакции, а тангенциально неустойчивое составляющая P_2 ничем не компенсируется и стремится вернуть шар в исходное равновесное состояние.

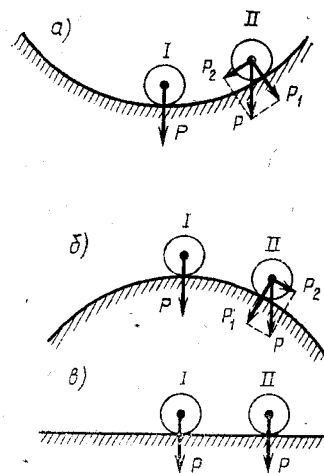


Рис.6. Устойчивое (а), неустойчивое (б) и нейтрально-устойчивое (в) положения шара на поверхности.

Поведение АСР при наличии в ней возмущающих и управляющих воздействий описывается уравнением процесса автоматического регулирования. Решение этого уравнения состоит из двух составляющих:

$$x_{\text{вых}} = x_{0\text{вых}} + x_{\text{вых}}(t), \quad (1.1)$$

где $x_{0\text{вых}}$ —вынужденная составляющая изменения выходной величины;

$x_{\text{вых}}(t)$ - переходная составляющая изменения выходной величины, изменяющаяся времени в течение переходного процесса.

Необходимо также, чтобы переходная составляющая $x_{\text{вых}}(t)$ с течением времени стремилась к нулю и при воздействии на систему возмущающих воздействий $f(t)$, так как только в этом случае вызванное возмущающими воздействиями отклонение регулируемой величины $x_{\text{вых}}$ от заданного значения с течением времени становится равным нулю и равновесное состояние системы восстанавливается.

Переходная составляющая изменения выходной величины является общим решением однородного дифференциального уравнения, которое характеризует собственные динамические свойства системы. Однородное дифференциальное уравнение получается из полного дифференциального уравнения системы при значении выходного сигнала и всех его производных, равными нулю:

$$a_n d^n x_{\text{вых}}/dt^n + a_{n-1} d^{n-1} x_{\text{вых}}/dt^{n-1} + \dots + a_1 dx_{\text{вых}}/dt + a_0 x_{\text{вых}} = 0. \quad (1.2)$$

Характеристическое уравнение однородного дифференциального уравнения (1.2) системы имеет вид

$$A(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0 = 0. \quad (1.3)$$

Характеристическое уравнение (2.83) соединения (или системы) можно получить, приравняв нулю знаменатель его (ее) передаточной функции. Определив все корни характеристического уравнения, общее решение однородного дифференциального уравнения можно найти по известной формуле

$$x_{\text{вых}}(t) = C_1 e^{p_1 t} + C_2 e^{p_2 t} + \dots + C_{n-i} e^{p_{n-i} t} + e^{p_i t} (A_1 + A_2 t + A_3 t^2 + \dots + A_i t^{i-1}), \quad (1.4)$$

где $C_1, C_2, A_1, A_2, \dots, A_i$ — постоянные интегрирования, которые находятся из начальных условий.

Корни в общем случае могут быть нулевыми, вещественными, комплексными, сопряженными.

Из изложенного выше следует, что корни характеристического уравнения в полной мере определяют устойчивость АСР.

Линейная АСР устойчива, если все вещественные корни и вещественные части комплексных корней характеристического уравнения отрицательны.

Следовательно, линейные системы, имеющие мнимые сопряженные или нулевые корни являются нейтрально-устойчивыми.

Таким образом, чтобы определить, устойчива или неустойчива система, достаточно найти корни ее характеристического уравнения.

Следовательно, необходимым условием устойчивости системы является требование, заключающееся в том, чтобы все коэффициенты ее характеристического уравнения были положительными. Это условие является необходимым, но не достаточным. Необходимые и достаточные условия устойчивости системы определяются с помощью критерия устойчивости Рауса, критерия Михайлова и амплитудно-фазового критерия Найквиста [2]

ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

2.1. Объект управления

Любая система управления (ручного, автоматического или автоматизированного) в обязательном порядке содержит четыре элемента (или четыре множества элементов), объединенных в замкнутый контур передачи воздействий (см. рис. 7.):

- объект управления,
- управляющая часть,
- датчик (датчики),
- исполнительное устройство (устройства).

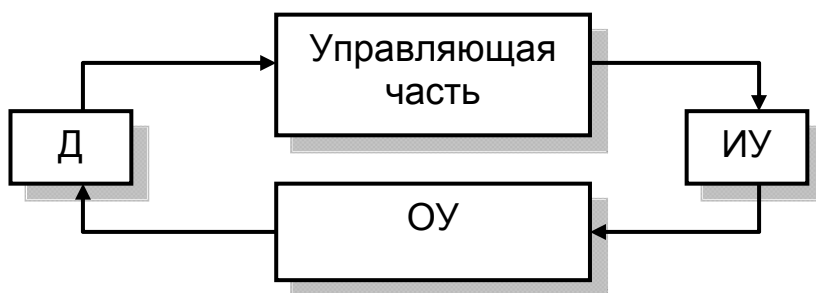


Рис. 7. Система управления

Датчик (Д) – устройство или комплекс устройств, преобразующих измеряемый параметр технологического процесса в вид, удобный для дальнейшей передачи и использования. Как правило, технологические параметры неудобно или невозможно контролировать (наблюдать, выводить на пульт оператора и т.д.) напрямую без дополнительных технических средств. Например, температуру нельзя наблюдать визуально, контроль температуры тела возможен только в сравнении со степенью нагретости какого-либо другого тела. Чтобы контроль параметров стал возможен, используют разного рода датчики, которые преобразуют измеряемые параметры в показания на шкале прибора (показывающие датчики, например, ртутный термометр), в разность потенциалов (например, термопары) в сопротивление (термометры сопротивления), в давление (пневматические датчики).

Датчик измеряет технологический параметр, преобразует его в другой вид энергии и передает управляющей части.

Управляющая часть реализует алгоритмы управления. В автоматических системах управления этой частью является регулятор, для систем ручного управления – человек-оператор. В управляющей части генерируются управляющие воздействия на объект управления (например, решения на включение/выключение рубильника, изменения напряжения). Для реализации управляющих воздействий служат **исполнительные устройства (ИУ)** [3]

2.2. Управляемая величина

Работа датчиков и исполнительных устройств в отличие от управляющей части заключается лишь в преобразовании энергии, изменения информации в них практически не происходит. Поэтому при анализе и синтезе систем управления чаще

эти части СУ опускают, считая их коэффициенты усиления равными «1». Наиболее часто в ТАУ при расчетах пользуются общей схемой одноконтурной АСР (см. рис.8).

На схеме приняты обозначения: x - задающее воздействие (задание), $e = x - y$ - ошибка регулирования, u - управляющее воздействие, f - возмущающее воздействие.

Элемент  называется сумматором. Его действие заключается в суммировании поступающих к нему сигналов. Если какой-либо сектор сумматора зачернен, то сигнал, поступающий в данный сектор, берется со знаком «минус». Поэтому в данной схеме ошибка e определяется как разность между x и y .

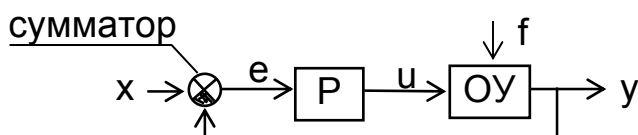


Рис.8. Схема одноконтурной АСР

Определения:

Задающее воздействие (то же, что входное воздействие x) - воздействие на систему, определяющее требуемый закон изменения регулируемой величины).

Управляющее воздействие (u) - воздействие управляющего устройства на объект управления.

Управляющее устройство (УУ) - устройство, осуществляющее воздействие на объект управления с целью обеспечения требуемого режима работы.

Возмущающее воздействие (f) - воздействие, стремящееся нарушить требуемую функциональную связь между задающим воздействием и регулируемой величиной.

Ошибка управления ($e = x - y$) - разность между предписанным (x) и действительным (y) значениями регулируемой величины.

Регулятор (Р) - комплекс устройств, присоединяемых к регулируемому объекту и обеспечивающих автоматическое поддержание заданного значения его регулируемой величины или автоматическое изменение ее по определенному закону.

Автоматическая система регулирования (АСР) - автоматическая система с замкнутой цепью воздействия, в котором управление (u) вырабатывается в результате сравнения истинного значения y с заданным значением x .

Дополнительная связь в структурной схеме АСР, направленная от выхода к входу рассматриваемого участка цепи воздействий, называется обратной связью (ОС). Обратная связь может быть отрицательной или положительной.

Принцип функционирования одноконтурной АСР: регулятор производит постоянное сравнение текущего значения регулируемой величины y с заданным значением x , определяя ошибку $e = x - y$. Если текущее значение равно заданному, то регулятор не изменяет управляющее воздействие (АСР работает в установившемся режиме), в противном случае управляющее воздействие на объект u изменяется в соответствии с величиной ошибки. Чем больше ошибка регулирования (и дольше она наблюдается), тем больше изменение управляющего воздействия.

Данная схема справедлива как для автоматического, так и для ручного управления. При ручном регулировании человек-оператор, наблюдая за показаниями датчиков, мысленно сравнивает их с заданными значениями, т.е.

определяет величину ошибки регулирования и, исходя из этого, решает, какие действия предпринимать [3].

2.3. Классификация автоматических систем управления

Одним из главных признаков классификации АСУ является метод управления, по которому АСУ подразделяются на два класса: системы, не приспособляющиеся к изменяющимся условиям работы объекта управления, и приспособляющиеся, или адаптивные, системы.

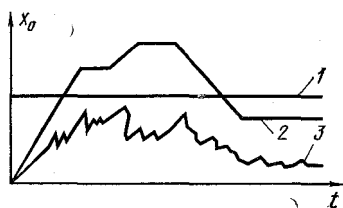


Рис.9. Примерное изменение во времени заданного значения регулируемой величины в не приспособляющейся АСУ: 1 — стабилизирующая; 2 — программная; 3 — следящая системы

Большинство АСУ и АР, действующих в настоящее время в металлургии, относится к не приспособляющимся системам.

стабилизирующая система — поддержание заданного значения расхода кислорода, вдуваемого в ванну в кислородном конвертере;

программная система - изменение температуры в камерной термической печи по определённому графику, необходимому для данного типа термообработки (подъем температуры с определенной скоростью, выдержка при постоянной температуре и т. д.);

следящая система — перемещение летучих ножниц в прокатном производстве со скоростью, равной скорости движения проката.

Приспосабливающиеся, или адаптивные, АСУ — это такие системы, в которых параметры управляющих воздействий или алгоритмы управления автоматически и целенаправленно изменяются для осуществления в каком-либо смысле наилучшего (оптимального) управления объектом.

Системы, изменяющие в процессе работы программу своих действий, называются системами с самонастройкой программы; особым случаем их являются *экстремальные системы*.

Настраиваемые АСУ реализуются с использованием УВМ (исключение могут составлять экстремальные системы) и поэтому их структурная схема соответствует рис. 9. для работы УВМ необходимо наличие аналитического описания (математических моделей) объекта управления и других элементов системы, а также алгоритмов адаптации и управления, по которым и рассчитываются характеристики системы, обеспечивающие оптимизацию работы объекта.

По характеру использования информации АСУ разделяются на *замкнутые* и *разомкнутые* системы (рис.10.)

На рис. 11. показана замкнутая система регулирования температуры в печи 1. Чувствительным элементом — датчиком температуры — служит термопара 2; информация о значении температуры в печи Q поступает на показывающий и регистрирующий прибор 9, а с него в регулятор 4, включающий в себя исполнительный механизм (сигнал Q может поступать в регулятор, минуя прибор 3). В регулятор 4 с задатчика поступает сигнал о заданном значении температуры Q_0 . Сравнивающий элемент регулятора определяет отклонение $\epsilon = Q_0 - Q$, и регулятор вырабатывает управляющее воздействие, обеспечивающее перемещение регулирующего органа (поворотной заслонки) 5, направленное на устранение отклонения. Если температура в печи становится выше заданной, то расход топлива уменьшается, если ниже заданной — увеличивается.

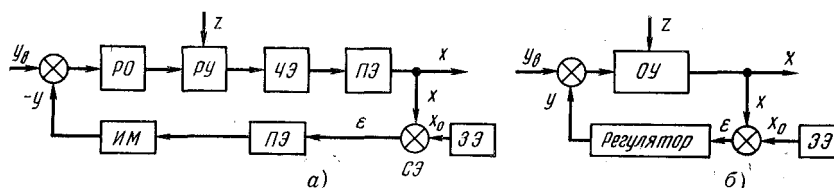


Рис. 10. Структурные схемы замкнутой системы с управлением по отклонению: а — развернутая; б — укрупненная.

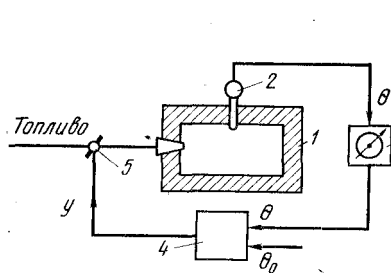


Рис. 11. Система регулирования температуры в печи

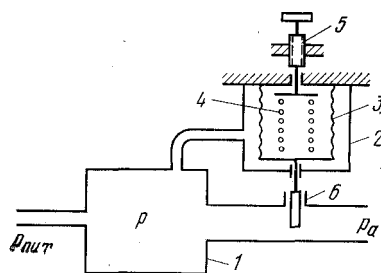


Рис. 12. Система регулирования давления в резервуаре

Система регулирования давления в резервуаре 1 показана на рис. 12.

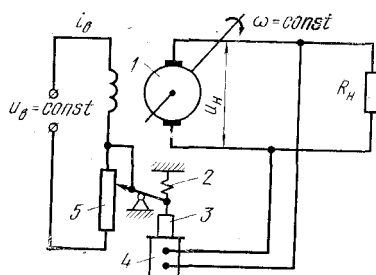


Рис. 13. Система регулирования напряжения генератора

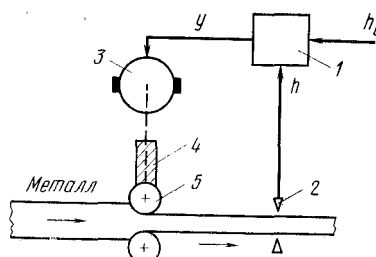


Рис. 14. Система регулирования толщины прокатываемого металла

На рис.13. приведена система регулирования напряжений генератора 1, якорь которого вращается с постоянной скоростью. Пример замкнутой системы регулирования в прокатном производстве приведен на рис. 14. Разомкнутые АСУ непосредственно не используют рабочую информацию об управляемых величинах,

а управление осуществляется на основании информации о входных величинах; при этом отсутствует обратная связь между выходными и входными величинами. Разомкнутые АСУ подразделяются на системы с *жесткой программой* и с *управлением по возмущению*. Примером систем с жесткой программой может служить система автоматического пуска и остановки комплекса машин, в которой должна выдерживаться определенная последовательность работы отдельных механизмов. Структурная схема такой системы показана на рис. 15.

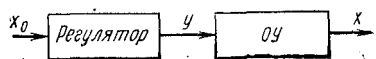


Рис.15. Структурная схема разомкнутой АСУ с жесткой программой.

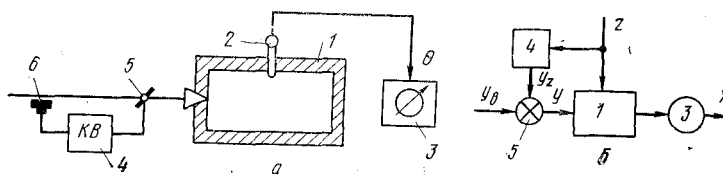


Рис. 16. Разомкнутая система с управлением по возмущению: а — регулирование температуры в печи; б — структурная схема

Рассмотрим систему управления температурой в нагревательной печи 1, отапливаемой газом (рис. 16), аналогичную по целям управления системе, приведенной на рис. 11. Структурная схема разомкнутой АСУ с управлением по возмущению показана на рис. 16, б.

Структурная схема такой системы с объектом управления ОУ, которую называют *комбинированной*, показана на рис. 17.

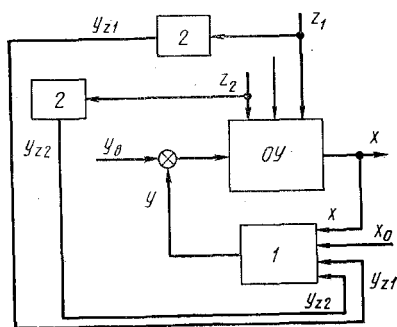


Рис. 17. Структурная схема комбинированной АСУ с управлением по возмущению и по отклонению

Другими примерами применения принципа управления по возмущению могут служить регулирование давления в резервуаре и толщины прокатываемого металла), аналогичные по целям управления системам рис. 12. и 14 [1].

2.4. Классификация автоматических систем регулирования по алгоритму функционирования

По характеру алгоритма функционирования АСР подразделяются на стабилизирующие, программные, следящие и оптимальные.

Стабилизирующей АСР называют систему, алгоритм функционирования которой содержит предписание поддерживать регулируемую величину на постоянном заданном значении. Примером стабилизирующей АСР может служить система регулирования температуры сушильного шкафа (см. рис. 3). При отклонении температуры в шкафу от заданного значения регулирующие устройства воздействуют на объект таким образом, чтобы ликвидировать это отклонение.

Программной АСР называют систему, алгоритм функционирования которой содержит предписание изменять регулируемую величину в соответствии с заранее заданной функцией.

Следящей АСР называют систему, алгоритм функционирования которой содержит предписание изменять регулируемую величину в зависимости от изменения по не известному заранее закону переменной величины на входе автоматической системы.

К *оптимальным системам* относят такие системы, которые автоматически выбирают и поддерживают оптимальное (экстремальное) значение регулируемой величины в объектах, когда заранее нельзя это значение для данных объектов предусмотреть.

Оптимальные автоматические системы регулирования часто называют *экстремальными или поисковыми* [1].

2.5. Структурные схемы автоматических систем (законы регулирования)

Различают алгоритмическую, функциональную и конструктивную структуры АСР.

Алгоритмической структурой АСР называют структуру, где каждая часть предназначена для выполнения определенного алгоритма преобразования ее входной величины, являющегося частью алгоритма функционирования АСР.

В *функциональной структуре АСР* каждая часть предназначена для выполнения определенной функции. Под функцией можно понимать как основные функции автоматического регулирующего устройства — получение информации, ее переработку, формирование закона регулирования и прочие, так и более частные — передача сигналов, сравнение сигналов, преобразование формы представления информации.

Структуру АСР, где каждая часть представляет собой самостоятельное конструктивное целое, *называют конструктивной структурой АСР*. Структуру АСР с той или иной степенью детализации можно представить графически. Графическое изображение структуры АСР называют *структурной схемой АСР* (см. рис. 4).

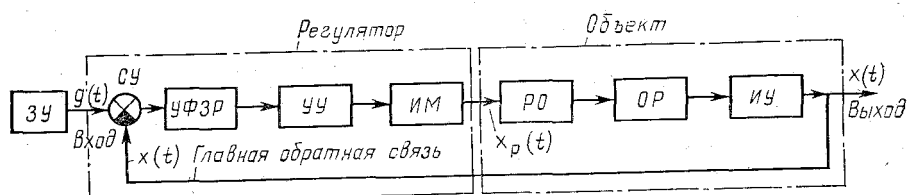


Рис. 18. Типовая структурная схема АСР

Поэтому типовая структурная схема АСР имеет вид, представленный на рис. 18.

Задающее устройство ЗУ оказывает воздействие $g(t)$ на вход системы. При этом величина задающего воздействия в соответствии с заданием может быть постоянной, если необходимо поддерживать постоянное заданное значение регулируемой величины x_0 , или изменяться по определенному закону, если в технологическом процессе по этому закону должна изменяться регулируемая величина.

В АСР регулируемая величина сравнивается с задающей величиной в суммирующем устройстве СУ. Зачерненный сектор в графическом изображении суммирующего устройства означает, что входящее в этот сектор воздействие подается с обратным знаком. Благодаря этому при значении регулируемой величины, равном заданному, на вход усилителя системы сигнал не поступает и система находится в равновесии. В случае неравенства значения сигнала заданному рассогласование (ошибка) $e = g(t) - x_0$ подается на вход усилителя системы, которая реагирует на это таким образом, чтобы рассогласование уменьшалось.

Обратную связь, направленную с выхода системы к ее входу, называют *главной обратной связью*.

Так как в АСР регулирующее воздействие образуется как результат отклонения регулируемой величины (выход системы) от ее заданного значения (вход системы), то главная обратная связь является всегда отрицательной (рис. 2.10).

Устройство формирования закона регулирования УФЭР вырабатывает вид (закон) воздействия на регулируемую величину с таким расчетом, чтобы как можно быстрее ее привести к заданному значению. Сигнал, формируемый УФЭР, как правило, по мощности недостаточен для непосредственного управления исполнительным механизмом, поэтому он усиливается усилительным устройством УУ. Исполнительный механизм ИМ через регулирующий орган в соответствии с выработанным законом регулирования воздействует на регулируемый объект, восстанавливая заданное значение регулируемой величины. В установившемся состоянии при заданном значении регулируемой величины $e = g(t) - x_0 = 0$.

Так, электродвигатель М в схеме на рис. 1.3, реализующий совместно с движком автотрансформатора АТ функции исполнительного механизма ИМ, и устройство формирования закона регулирования УФЭР изменяют напряжение, подаваемое на нагревательный элемент Н (регулирующий орган), но изменение этого напряжения (например, при изменении напряжения V сети) не воздействует непосредственно на движок и не вызывает вращения электродвигателя.

При проектировании автоматических систем регулирования выбор формирования закона регулирования в УФЭР осуществляется с учетом динамических свойств исполнительного механизма и коэффициента усиления УУ. В связи с этим регулирующее устройство (регулятор) в системе образуется из элементов УФЭР, УУ и ИМ

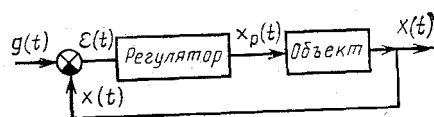


Рис. 19. Типовая структурная схема АСР по каналу задающего возмущающего действия

Входным воздействием на регулятор является рассогласование $e(t)$, а выходным—регулирующее воздействие $x_p(t)$ на объект. Задающее устройство

ЗУ на функциональных структурных схемах принято изображать. С учетом этого структурную схему рис. (18) при укрупнении элементов системы можно представить в виде, изображенном на рис. 19.

Структурную схему АСР, у которой за входную величину принято задающее воздействие (e), а за выходную величину — регулируемая величина $x(t)$, называют *структурной схемой системы по каналу задающего воздействия*.

Такую структурную схему АСР, у которой за входную величину принято возмущающее воздействие $f(t)$ а за выходную величину — регулируемая величина $x(t)$, называют *структурной схемой системы по каналу возмущающего воздействия*.

2.6. Описание работы автоматических систем

Рассмотрим, каким требованиям должен отвечать способ описания работы любой АСР независимо от физической природы ее элементов, принципа действия и назначения. Любую автоматическую систему как по каналу задающего воздействия (см. рис. 19),

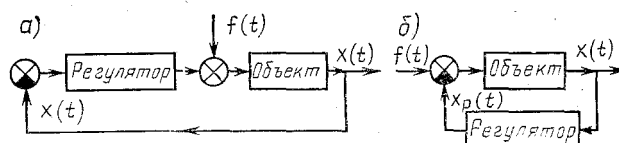


Рис. 20. Преобразование структурной схемы АСР по каналу возмущающего воздействия

так и по каналу возмущающего воздействия (рис. 20, б) можно представить в виде одного сложного элемента (устройства) соответственно с входной величиной $g(t)$ или $f(t)$ и выходной величиной $x(t)$ (рис. 21, а, б). Ранее установлено, что работа любого элемента определяется статическими и динамическими характеристиками.

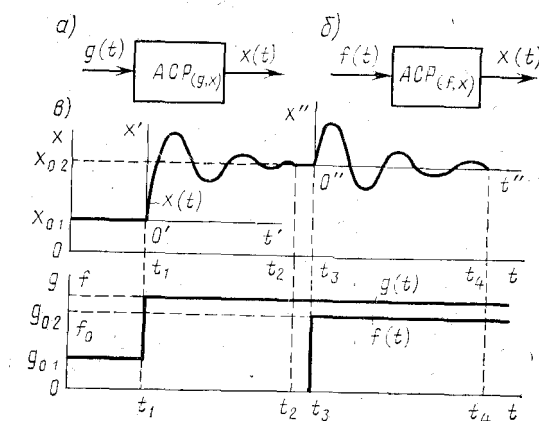


Рис. 21. Представление АСР эквивалентным звеном и переходные процессы в системе

Следовательно, работа автоматической системы регулирования по каналу задающего воздействия (обозначим ее $АСР(g,x)$) в установившихся режимах определяется статической характеристикой $x(t_{уст})=f(g_{уст})$. В установившемся состоянии значение регулируемой величины x_{01} (рис. 21, в) равно ее заданному значению и ошибка регулирования $e = g_{01} - x_{01} = 0$.

Если, например, человеком-оператором установлено в момент t_1 новое значение задающего воздействия, равное g_{02} , то через некоторое время $\Delta t = t_2 - t_1$ регулируемая величина принимает новое установившееся значение $x_{02} = g_{02}$ соответствующее новому заданию.

Таким образом, работа АСР независимо от ее физической природы, принципа действия и назначения полностью определяется ее дифференциальным уравнением. Дифференциальное уравнение системы определяет не только динамические, но и статические ее свойства, если принять ее дифференциальное уравнение значение времени равным бесконечности, что соответствует окончанию переходного процесса, а следовательно, и определяет зависимость между выходной и входной величинами в установившихся, т. е. статических, режимах.

Решение дифференциального уравнения системы позволяет судить о качестве ее функционирования.

На рис. 21, в приведено также изменение регулируемой величины при поступлении на объект возмущающего воздействия. Изменение регулируемой величины в этом случае определяется динамическими свойствами системы АСР ($f(x)$) по каналу возмущающего воздействия (рис. 20, б и 20, в).

Рассматривая графическое изображение решения этого дифференциального уравнения на участке можно сделать следующую оценку работы системы по каналу возмущающего воздействия.

1. При поступлении на объект возмущающего воздействия $f(t) = f_0$ в момент времени t_3 идеальной желаемой работой АСР была бы мгновенная компенсация этого возмущения, без отклонения регулируемой величины от оптимального заданного значения x_{02} .

2. Фактически АСР при своей работе полностью компенсирует возмущающее воздействие только через промежуток времени $\Delta t = t_4 - t_3$.

3. В течение этого времени в системе, как и в предыдущем случае, наблюдается переходный процесс со всеми отрицательными моментами.

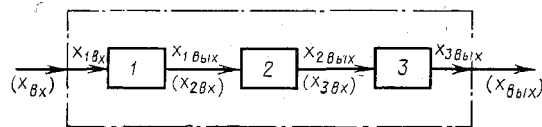


Рис. 22. Последовательное соединение звеньев

Если при решении дифференциального уравнения АСР будет установлено, что переходные процессы в системе не удовлетворяют заданным технологами требованиям к качеству регулирования, то следует изменить параметры настройки системы. Если при этом изменяется дифференциальное уравнение АСР, то следует найти его новое решение и вновь оценить качество регулирования при новых параметрах настройки. О показателях качества регулирования, оценивающих степень оптимальности работы АСР, подробно изложено ниже (2).

2.7. Элементы САУ

2.7.1. Электрические и электромеханические элементы

В автоматических системах регулирования широко применяются электрические и электромеханические элементы.

Контактные элементы. Контактные элементы служат для замыкания цепей в автоматических системах. Они часто применяются в качестве простейших датчиков в системах позиционного регулирования.

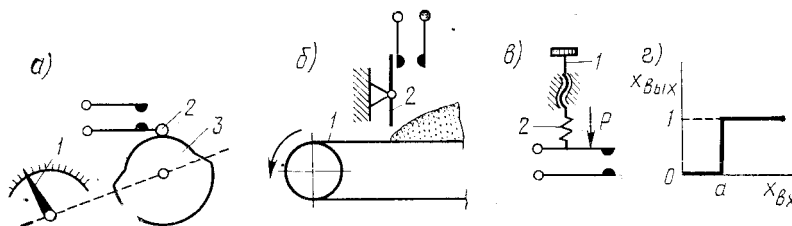


Рис. 23. Контактные элементы (а, б, в) и их статическая характеристика (г)

На рис. 23. приведены примеры контактных элементов.

Преобразователи активного сопротивления.

Преобразователи активного сопротивления (рис.24) служат для преобразования механических линейных или угловых перемещений в эквивалентные изменения сопротивления в электрической цепи.

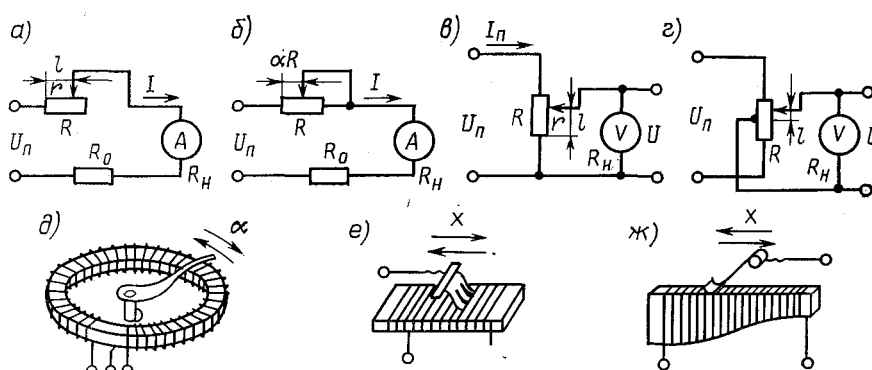


Рис. 24. Преобразователи активного сопротивления

2.7.2. Резисторные угольные преобразователи

Резисторные угольные преобразователи (Рис.25) служат для преобразования механического усилия или давления в эквивалентное значение активного электрического сопротивления. Они представляют собой набор угольных (или графитовых) дисков толщиной 1—3 мм, диаметром от 5 до 20 мм.

2.7.3. Тензорезисторные преобразователи

Тензорезисторные преобразователи (рис.26) служат для измерения возникающих механических напряжений в несущих стальных металлоконструкциях, станинах станков, прессов и т. п. Они представляют собой тензорезисторы, выполненные из тонкой проволоки, пленки или фольги.

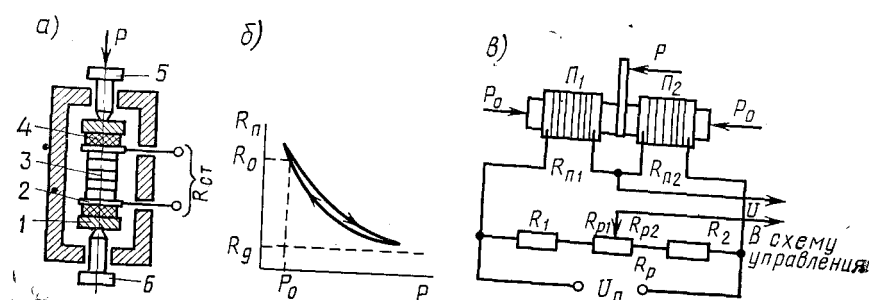


Рис. 25. Резисторный угольный преобразователь

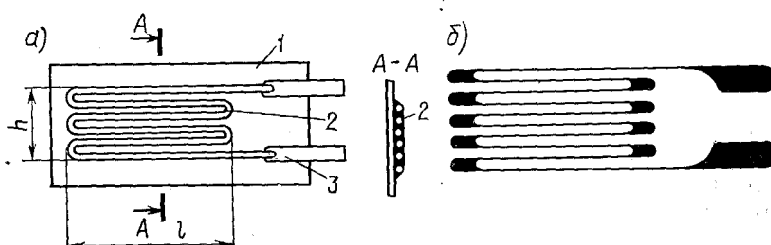


Рис. 26. Тензорезисторные преобразователи

2.7.4. Индуктивные преобразователи

Принцип действия индуктивных преобразователей различных конструкций показан на рис. 27, 28. Индуктивный преобразователь (рис. 27, а) с переменным воздушным зазором имеет обмотку 2, намотанную на сердечник 1 из электротехнической стали. Магнитный поток в сердечнике замыкается через якорь 3, который может перемещаться относительно сердечника, изменяя тем самым воздушный зазор б на пути магнитного потока преобразователя. Якорь 3 механически связан с деталью (на рис. 27,а не показана), перемещение x которой требуется измерить.

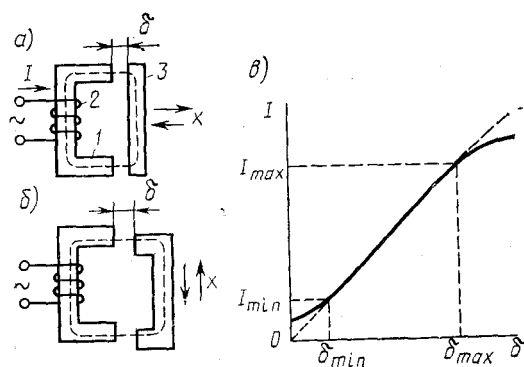


Рис. 27. Индуктивные преобразователи

2.7.5. Сельсины

Разновидностью вращающихся трансформаторов являются сельсины. Они имеют однофазную обмотку на статоре и трехфазную на роторе. Трехфазные обмотки расположены в пространстве относительно друг друга под углом 120° .

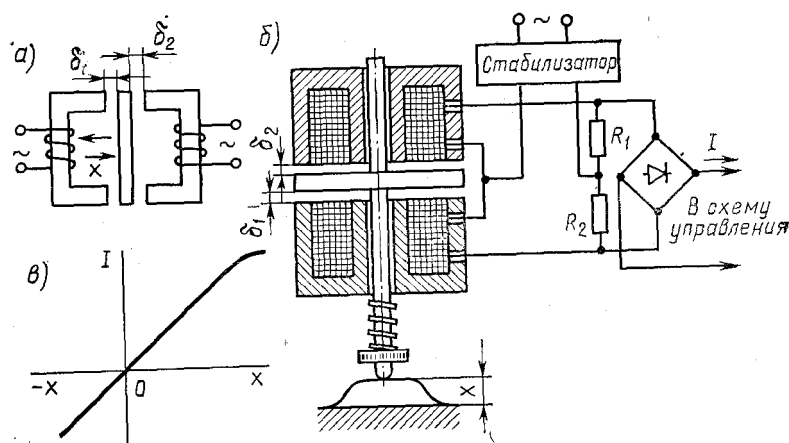


Рис. 28. Дифференциальный индуктивный преобразователь

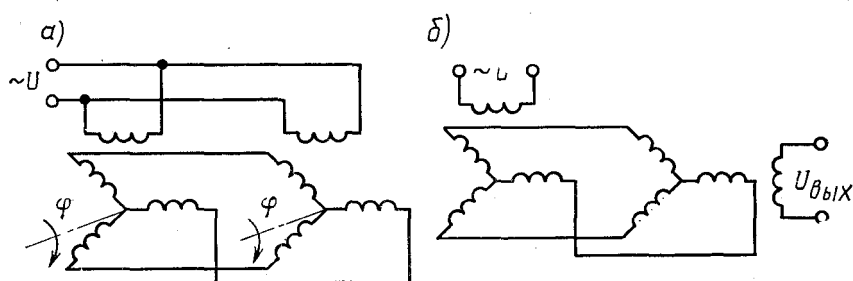


Рис. 29. Схемы включения сельсинов

Сельсины могут работать в режиме дистанционной передачи угла и в трансформаторном режиме. Схема включения сельсинов в режиме дистанционной передачи угла представлена на рис. 29, а. В этом режиме на передающей стороне устанавливается *сельсин-датчик*, а на приемной — *сельсин-приемник*.

Первичные обмотки сельсинов должны питаться от одной сети. Трехфазные обмотки соединяются между собой.

При повороте ротора сельсина-датчика на некоторый угол ϕ в трехфазных цепях возникает уравнивающий ток. Схема включения сельсинов в трансформаторном режиме представлена на рис. 29, 6. В трансформаторном режиме от сети питается только статорная обмотка сельсина-датчика. Выходной сигнал (напряжение переменного тока) $V_{\text{вых}}$ снимается со статорной обмотки сельсина-приемника.

2.7.6. Индукционные преобразователи

В индукционных преобразователях скорость преобразуется в эквивалентное значение ЭДС, определяемое зависимостью

$$E = -w(df/dt)$$

где w —количество витков катушки преобразователя; (df/dt) —скорость изменения магнитного потока, пропорциональная скорости. перемещения катушки преобразователя, Вб/с.

На рис. 30 представлены варианты индукционных преобразователей. В преобразователях (рис. 30 а, б) соответственно скорость поступательного перемещения, или частота вращения, катушки 1 преобразуется в ЭДС. В преобразователе (рис. 30, в) при вращении ферромагнитного сердечника 2 изменяется сопротивление магнитной цепи, а следовательно, и магнитный поток, пронизывающий неподвижную катушку 1. В результате этого в катушке наводится ЭДС, пропорциональная частоте вращения сердечника.

Преобразователь (рис. 30, а) служит для измерения механических колебаний. Преобразователи (рис.30, б, в) являются *Тахогенераторами*. Они используются для измерения скорости и частоты вращения различных механизмов.

Индукционные преобразователи тахогенераторного типа представляют собой малогабаритные электрические машины (генераторы). Тахогенераторы могут быть постоянного или переменного тока. В тахогенераторах напряжение $V(V)$ на выходе пропорционально угловой скорости его вращения: $V = K_t(\omega)$, где (ω) — коэффициент передачи тахогенератора, В*с/рад; (ω) — угловая скорость вращения ротора тахогенератора, рад/с.

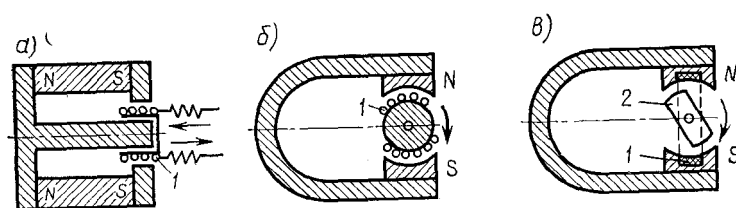


Рис. 30. Динамические индукционные преобразователи

Достоинства индукционных преобразователей — простота конструкции, надежность и высокая чувствительность. Недостатки — дополнительная погрешность преобразования в результате изменения магнитного поля со временем и с изменением температуры; изменения сопротивления обмотки от температуры; ограниченный частотный диапазон измеряемых величин.

2.7.7. Магнитоуправляемые (безъякорные) реле

Подвижный якорь является слабым звеном при работе реле. Поэтому для переключения маломощных цепей в схемах автоматики за последнее время широко применяются магнитоуправляемые (безъякорные) реле постоянного тока. Контакты этих реле замыкаются при воздействии на них непосредственно магнитных потоков. Из магнитоуправляемых реле наибольшее распространение находят ферриды и герконы.

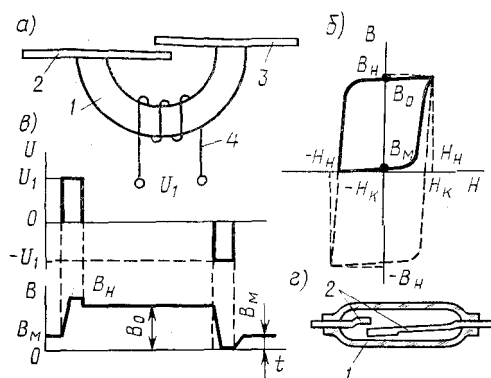


Рис. 31. Безъякорные реле

Устройство феррида представлено на рис.31, а. Феррид состоит из магнитопровода 1, рабочей обмотки 4 и контактных упругих пластин 2 и 3. Магнитопровод выполняется из феррита, контактные пластины — из пермаллоя. Контактные пластины имеют высокую магнитную проницаемость, хорошую электропроводность и достаточную механическую упругость. Концы пластин перекрывают друг друга и служат контактами. Контактные пластины являются частью магнитопровода феррида.

Зависимость магнитной индукции B от напряженности H магнитопровода

феррида (петля гистерезиса) представлена на рис. 31, б. В исходном положении контакты феррида разомкнуты, ток в рабочей обмотке отсутствует, напряженность в магнитопроводе $H=0$, значение остаточной индукции минимально ($B=B_m$).

При подаче на рабочую обмотку напряжения в виде кратковременного импульса определенной полярности ток обмотки создает в магнитопроводе напряженность поля H , индукция в магнитопроводе принимает значение B , соответствующее состоянию насыщения феррида.

После прохождения через обмотку импульса тока его значение снова равно нулю, напряженность поля магнитопровода также равна нулю, но остаточная индукция магнитопровода в соответствии с видом петли гистерезиса (рис. 31, б) равна B_0 . Остаточная индукция B_0 имеет несколько меньшее значение индукции насыщения B из-за неидеальности петли гистерезиса.

В результате намагничивания сердечника между контактными пластинами возникает тяговое усилие и через некоторое время $t_{ср}$ момента подачи на обмотку импульса (V_1) (рис. 31, в) контакты феррида замыкаются. В устойчивом замкнутом состоянии контакты феррида могут находиться практически неограниченное время.

При подаче на рабочую обмотку импульса напряжения — противоположной полярности в магнитопроводе создается напряженность — H , равная коэрцитивной

силе ферромагнетика магнитопровода, в результате чего происходит размагничивание магнитопровода и индукция принимает значение, равное нулю.

Изображенная на рис. 31, б петля гистерезиса является частным циклом предельной петли гистерезиса магнитопровода феррида.

В связи с этим следует иметь в виду, что значение амплитуды импульса напряжения — V_1 должно быть таким, чтобы размагничивание магнитопровода осуществлялось именно по частному циклу петли гистерезиса. Если амплитуда импульса — V_1 больше, то возможно перемагничивание феррида по предельному циклу петли гистерезиса. При этом в магнитопроводе возникает остаточная индукция — B_0 и контакты феррида остаются замкнутыми.

Герметизация контактов существенно повышает надежность работы контактов и реле в целом. В связи с этим в системах автоматизации широко применяются герконы (герметизированные контакты).

Геркон представляет собой (рис. 31, г) две упругие контактные пластины 2 из пермаллоя, впаянные в стеклянную ампулу 1. К наружным концам контактных пластин припаиваются провода цепей, в которых работают контакты геркона. Как и в ферриде, пластины выполняют одновременно роль участка магнитопровода и контактных пружин. Концы пластин, перекрывающие друг друга, покрыты тонким слоем серебра, золота или радия; они служат контактами геркона.

Если геркон поместить в магнитное поле, направленное вдоль контактных пластин, то в воздушном зазоре между пластинами возникает тяговое усилие. При его значении, превышающем механическое усилие упругих пластин, контакты геркона замыкаются.

Газонаполненные герконы заполнены инертным газом (азотом, аргоном и т. п.).

Покрытие контактов герконов слоем из благородных металлов, их работа в благоприятной среде позволяют снизить контактное давление, что обеспечивает малый износ контактов при большом числе их переключений. В связи с этим герконы допускают безотказную работу до 10^9 переключений. Отечественной промышленностью выпускаются герконы с замыкающими, размыкающими и переключающими контактами.

Сила тока, коммутируемого контактами герконов, не превышает 0,5 А; время срабатывания 50—2500 мс.

2.7.8. Вибропреобразователи

Вибропреобразователь представляет собой электромагнитное устройство, периодически переключающее свои контакты с частотой до 400—500 Гц. Вибропреобразователь (рис. 32.) состоит из поляризованного электромагнита 4 с обмоткой управления б, якоря 5 и упругих пластин с контактами 1, 2 и 3.

При подаче напряжения переменной полярности на обмотку управления якорь притягивается то к одному, то к другому полюсу электромагнита. В результате этого подвижный контакт 2 поочередно замыкается с неподвижными контактами 1 и 3.

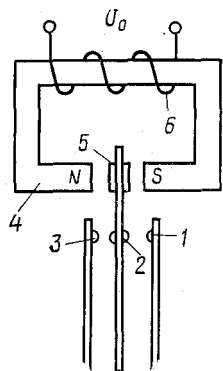


Рис. 32. Конструкция вибропреобразователя

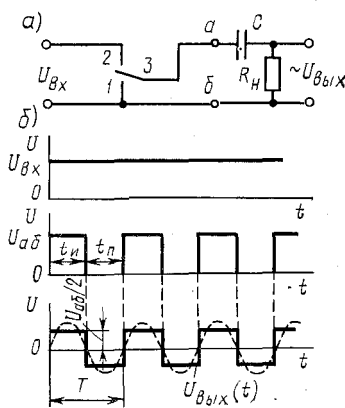


Рис. 33. Схема электромеханических модуляторов с вибропреобразователем (а) и характер изменения напряжений в схеме (б)

Напряжение V подается на вибропреобразователь от сети переменного тока или специального генератора синусоидальных колебаний. При работе вибропреобразователя возникают электромагнитные помехи, мешающие радиоприему и работе радио- и электроаппаратуры для устранения этих помех вибропреобразователь экранируют.

Вибропреобразователи широко применяют в схемах преобразования постоянного тока в переменный (модуляторах) и в схемах преобразования переменного тока в постоянный (демодуляторах). На рис. 1.40 представлены схема электромеханического модулятора с вибропреобразователем (на схемах показаны только контакты вибропреобразователя).

На вход схемы (рис. 32.) подается постоянное напряжение $V_{ВХ}$. При замыкании контактов 1—2 вибропреобразователя напряжение на гнездах а—б равно $V_{аб} = V_{ВХ}$. При замыкании контактов 2—3 напряжение на гнездах а—б равно нулю: $V_{аб} = 0$.

Таким образом, при работе вибропреобразователя напряжение на гнездах а—б имеет вид прямоугольных импульсов с периодом следования $T = t_i + t_n$, где t_i — время замкнутого состояния контактов 1—2 вибропреобразователя (ширина импульса), с; t_n — время разомкнутого состояния контактов 2—3 вибропреобразователя (ширина паузы), с.

Последовательность положительных импульсов $V_{аб}$ можно представить в виде суммы из постоянной составляющей $V_{аб}/2$ и переменной составляющей в виде симметричных прямоугольных колебаний напряжения относительно оси абсцисс с амплитудой $V_{аб}/2$. Если сумму этих напряжений пропустить через емкость C , то через нее пройдет только переменная составляющая.

Таким образом, на нагрузке R_H , а следовательно, и на выходе схемы (см. рис.33.) выходное напряжение $V_{ВЫХ}$ имеет вид симметричных прямоугольных колебаний с амплитудой $V_{аб}$ и периодом следования T .

2.7.9. Электромеханические исполнительные механизмы

В качестве электромеханических исполнительных механизмов в автоматических системах регулирования широкое применение находят

электрические двигатели постоянного тока и асинхронные электрические двигатели переменного тока.

Принцип действия и устройство этих электрических двигателей (электродвигателей) подробно изучаются в курсе «Электрические машины». В связи с этим здесь рассмотрены только особенности электродвигателей как элементов систем регулирования.

Электрические двигатели постоянного тока. Напряжение, подводимое к якорю электродвигателя постоянного тока, компенсируется противо-ЭДС, наводимой в обмотке якоря при его вращении в магнитном поле и падением напряжения в обмотке якоря:

$$V_{\text{я}} = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} R_{\text{я}} \quad (2.5)$$

где $E_{\text{я}}$ — противо-ЭДС электродвигателя, В; $I_{\text{я}}$ — ток якоря, А; $R_{\text{я}}$ — сопротивление якоря, Ом.

Значение противо-ЭДС пропорционально магнитному потоку и числу оборотов в секунду якоря двигателя:

$$E_{\text{я}} = k_e \Phi \Omega \quad (2.6)$$

где k_e — коэффициент пропорциональности, определяемый конструктивными особенностями двигателя; Φ — магнитный поток, создаваемый полюсами двигателя, Вб; Ω — угловая скорость якоря, рад/с.

В автоматических системах регулирования выходной величиной электромеханического исполнительного механизма является или частота вращения выходного вала, или угол его поворота.

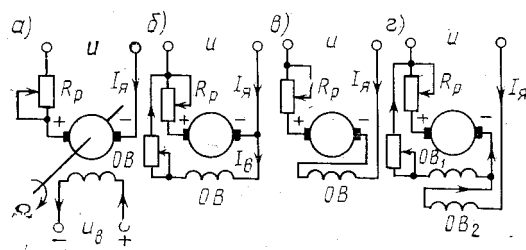


Рис. 34. Электродвигатели постоянного тока

С учетом этого, решая совместно (2.5) и (2.6), находим

$$\Omega = (V_{\text{я}} - I_{\text{я}} R_{\text{я}}) / (k_e \Phi) \quad (2.7)$$

Так как падение напряжения на обмотке якоря имеет небольшое значение по сравнению с напряжением, подводимым к двигателю, то выражение (2.7) можно представить в виде

$$\Omega \approx V_{\text{я}} / (k_e \Phi) \quad (2.8)$$

Из этого выражения видно, что скорость вращения электродвигателя может регулироваться или путем изменения значения напряжения $V_{\text{я}}$, подводимого к якорю двигателя (*якорное управление*) или путем изменения магнитного потока Φ , создаваемого полюсами электродвигателя (*полюсное управление*).

В электродвигателях постоянного тока магнитный поток создается постоянным током специальных обмоток возбуждения, располагаемых на полюсах статора двигателя. В маломощных электродвигателях магнитный поток может создаваться постоянными магнитами.

Обмотки возбуждения могут включаться по различным схемам питания. На рис. 34, а представлена схема электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Обмотка этого двигателя питается от независимого источника питания. Такие двигатели могут управляться как со стороны якоря, так и со стороны обмотки возбуждения.

Со стороны якоря управление может осуществляться как путем изменения подводимого напряжения V , так и путем изменения сопротивления R_p . Со стороны возбуждения регулирование скорости электродвигателя по схеме на рис. 34, а осуществляется путем изменения напряжения V_e (регулирующее воздействие) регулятором автоматической системы регулирования.

2.7.10. Электромагнитные исполнительные механизмы

К электромагнитным исполнительным механизмам относятся соленоидные механизмы и электромагнитные муфты. Соленоидный исполнительный механизм состоит из катушки с обмоткой 1 (рис. 35, а), внутри которой перемещается соленоид 2. При отсутствии тока в обмотке пружиной 3 соленоид отжимается в нижнее положение. При прохождении тока через обмотку соленоид втягивается внутрь катушки. Входным воздействием на исполнительный механизм является напряжение $V_{вх}$, а выходным — перемещение соленоида $l_{вых}$.

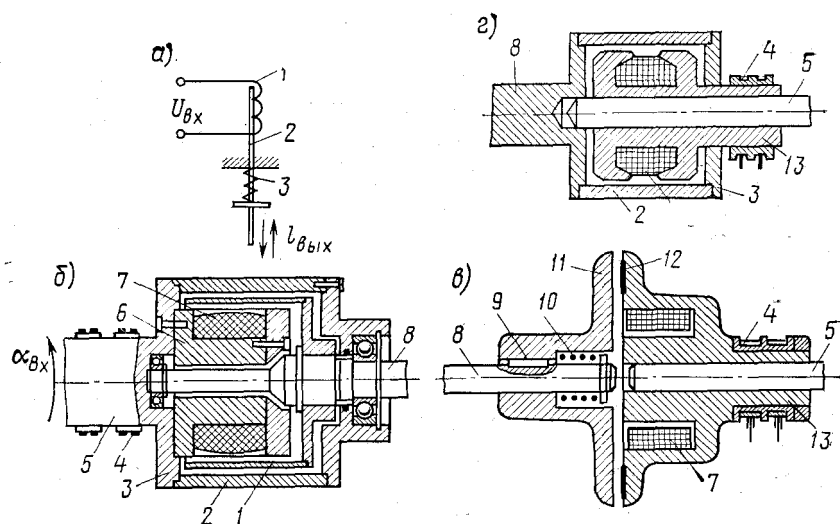


Рис. 35. Электромагнитные исполнительные механизмы

Перемещение соленоида используется для перемещения регулирующего органа, например клапана. Промышленность выпускает соленоидные исполнительные механизмы, конструктивно представляющие с регулирующими органами единое целое, например соленоидные вентили, клапаны и т. п.

Электромагнитные муфты бывают порошковые (ферромагнитные), фрикционные и скольжения (асинхронные).

Принцип действия *порошковой муфты* (рис. 35, б) основан на изменении вязкости ферромагнитной массы, заполняющей муфту. Муфта состоит из ведущей и ведомой полумуфт. Ведущая полумуфта, жестко закрепленная на ведущем валу 5 состоит из торцовых крышек 3 из немагнитного материала, стального цилиндра 2 и магнитопровода 6 с управляющей обмоткой 7. Напряжение к обмотке подводится через контактные кольца 4. Ведомая полумуфта имеет вид полого цилиндра 1, жестко закрепленного на ведомом валу 8. Внутренние полости между полумуфтами заполнены ферромагнитной массой в виде смеси порошка железа (размер зерен 2—8 мкм) и связующего вещества (тальк, графит, масло).

При подаче на обмотку напряжения под влиянием магнитного поля вязкость ферромагнитной массы изменяется тем больше, чем больше напряжение. При отключении напряжения ее вязкость небольшая, и при вращении ведущей полумуфты ведомая полумуфта не вращается. При подаче напряжения пропорционально возрастает вязкость массы и с некоторым скольжением ведомая муфта начинает вращаться. Скольжение тем меньше, чем больше напряжение.

При номинальном (полном рабочем) напряжении скольжение практически равно нулю. Таким образом, в порошковой муфте коэффициент передачи плавно изменяется от 0 до 1.

Во *фрикционной муфте* (рис. 35, в) ведомая полумуфта 11 посажена на ведомом валу 8 на скользящей шпонке 9. Ведомая полумуфта отжимается от ведущей полумуфты с помощью пружины 10. На торце ведущей полумуфты закреплена кольцевая фрикционная пластина 12. При подаче через контактные кольца 4 напряжения на обмотку 7 ведущей полумуфты под влиянием магнитного потока создается тяговое усилие и ведомая полумуфта притягивается к ведущей полумуфте 13. Фрикционная пластина обеспечивает вращение ведомой полумуфты без скольжения. Недостатком фрикционных полумуфт по сравнению с порошковой полумуфтой является невозможность регулирования коэффициента передачи скорости муфты.

В *муфтах скольжения* (рис. 35, г) передача момента вращения от ведущей к ведомой полумуфте осуществляется благодаря созданию вращающегося магнитного поля обмоткой, расположенной на ведущей полумуфте 13. При вращении ведущей полумуфты вращающееся магнитное поле индуцирует в стальном цилиндре 2 ведомой полумуфты ток, от взаимодействия которого с вращающимся магнитным полем возникает вращающий момент, увлекающий ведомую полумуфту 8 вслед за ведущей. Таким образом, принцип действия муфты скольжения аналогичен принципу действия асинхронного двигателя. Отличие состоит только в том, что вращающееся магнитное поле при подаче напряжения через контактные кольца на обмотку ведущей полумуфты создается за счет ее вращения. Чем больше напряжение на обмотке ведущей полумуфты, тем меньше скольжение. Поэтому, изменяя значение подводимого напряжения, можно изменять коэффициент передачи скорости муфты от 0 до 1.

Инерционность электромагнитных исполнительных механизмов определяется электромагнитной инерционностью (индуктивностью обмотки) и механической инерционностью массы подвижной части (соленоида, ведомой полумуфты). В системах с большой инерционностью порошковую муфту и муфту скольжения можно рассматривать как безынерционный элемент с линейной статической характеристикой фрикционную муфту можно рассматривать как релейный элемент, работающий по алгоритму «включено—выключено» (0 или 1).

ГЛАВА 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

3.1. Общие сведения о технических средствах автоматизации

Основу технических средств автоматизации образуют конструктивно целостные технические устройства, предназначенные для выполнения отдельных элементарных действий, или операций над сигналами, называемые элементами автоматики. Примерами элементов автоматики могут служить термopapa — элемент, преобразующий тепловой сигнал в э. д. с., электродвигатель — элемент, преобразующий электрическое напряжение в угловую скорость или угол поворота, электроннолучевая трубка — элемент, преобразующий электрический сигнал в видимое изображение.

Различают следующие основные операции над сигналами: преобразование физической природы, преобразование вида, усиление мощности, математические и логические операции, передача (перенос в пространстве), распределение (переключение, коммутация), хранение (перенос во времени), генерирование (формирование в функции времени).

Обработка информации осуществляется посредством математических и логических операций над сигналами, несущими эту информацию. Остальные операции над сигналами не изменяют связанной с этими сигналами информации.

Соединение элементов автоматики, предназначенное для получения, передачи, обработки, представления или использования информации называется устройством (прибором) автоматики.

К устройствам для получения первичной информации при автоматическом управлении относят измерительные, задающие и программные устройства.

Устройства для передачи информации включают каналы связи и аппаратуру телемеханики.

К устройствам для обработки информации относят функциональные преобразователи, предназначенные для реализации тех или иных функциональных зависимостей между сигналами, и вычислительные устройства, выполняющие одну математическую операцию или определенную последовательность математических операций над сигналами.

Устройства для предоставления информации в виде, удобном для восприятия человеком, включают приборы для индикации информации (сигнальные табло, мнемонические схемы, стрелочные, цифровые и электроннолучевые показывающие приборы). и для ее регистрации (самопишущие приборы, печатающие устройства, графопостроители).

К устройствам для использования информации относятся исполнительные устройства, непосредственно воздействующие на объект управления путем изменения показателей потока энергии или материала, поступающего в объект или выходящего из него.

Автоматически действующее соединение элементов, приборов и устройств автоматики образует автоматическое устройство, или, в более сложном случае, автоматическую систему.

Рассмотрение элементов, приборов и устройств автоматики как технических элементов автоматической системы приводит к технической структуре системы. Ее графическое изображение, отражающее конструкцию автоматической системы, называют принципиальной схемой системы.

В зависимости от рода энергии постороннего источника, используемой для формирования сигнала, технические средства автоматизации подразделяются на

электрические, гидравлические, пневматические и смешанные, например, электрогидравлические. Соответственным образом классифицируются и системы автоматического управления.

Технические средства автоматизации используют сигналы различной физической природы: электрические, гидравлические, пневматические, механические, акустические, оптические. По виду сигналов их подразделяют на аналоговые, в которых используются непрерывные сигналы, и дискретные.

При большом количестве информации и решении сложных задач для обработки информации применяют электронные вычислительные машины. По виду используемых сигналов вычислительные машины подразделяются на аналоговые (АВМ), использующие непрерывные сигналы и цифровые (ЭЦВМ или просто ЭВМ), в которых используются цифровые сигналы.

По назначению вычислительные машины подразделяются на универсальные, обеспечивающие решение широкого круга задач, и специализированные, предназначенные для решения задач определенного класса. Характерной особенностью цифровых ЭВМ является наличие в их составе устройств связи с объектом (УСО), обеспечивающих преобразование сигналов, поступающих от объекта управления, к виду, удобному для использования в ЭВМ, и обратно.

В нашей стране реализован единый подход к созданию и использованию технических средств автоматизации в рамках Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП). ГСП состоит из унифицированных элементов автоматики и их соединений, допускающих энергетическое, информационное и конструктивное сопряжение в устройства и приборы автоматики и автоматические системы.

Для упрощения проектирования и комплектации систем автоматики технические средства ГСП при разработке объединяются в комплексы элементов, устройств и приборов автоматики и автоматических агрегатов. В стране осуществляется выпуск технических средств автоматизации на основе микросхем.

Микросхемой, или интегральной схемой, называют соединение электронных элементов (транзисторов, диодов, резисторов и т. п.), изготовленное методами микроэлектронной технологии в виде неделимого изделия весьма малых размеров. Микросхема характеризуется степенью интеграции числом содержащихся в ней электронных элементов. Микросхемы с высокой степенью интеграции (более тысячи элементов), представляющие самостоятельные микроэлектронные устройства, называют большими интегральными схемами (БИС).

Микроэлектронное устройство для программной обработки информации, выполненное на одной или нескольких БИС, называется микропроцессором. Микропроцессоры являются основными элементами микро- и мини-ЭВМ.

Технические средства для обработки информации на основе интегральных схем отличаются малыми габаритами, относительно низкой стоимостью, высоким быстродействием и надежностью.

3.2. Измерительные устройства для автоматизации прокатного производства

3.2.1. Измерители усилий

При автоматизации прокатного производства в первую очередь подлежат измерению следующие величины: кинематические переменные (показатели) устройств станов и проката; технологические нагрузки в устройствах станов; показатели геометрии проката; температура проката. Кроме этих величин,

измеряются также масса проката, температура различных сред, расход газа и жидкости, а также некоторые другие электрические и неэлектрические величины.

Различают два основных вида измерения: прямое и косвенное. При прямом измерении измеряемая величина представляется другой, более удобной, величиной с помощью измерительного устройства непосредственно воспринимающего измеряемую величину. Прокатные станы различных типов оснащаются магнитоанізотропными и тензорезисторными измерителями усилия. Листовые станы горячей и холодной прокатки оснащаются рентгеновскими и радиоизотопными измерителями толщины полосы. На непрерывных листовых станах горячей прокатки применяются фотоэлектрические измерители ширины полосы конструкции. Эксплуатируются также фотоэлектрические измерители размеров профиля сортового проката, на трубопрокатных агрегатах находят применение телевизионные измерители наружного диаметра.

Для автоматизации управления положением валков применяют кодовые измерители положения. На непрерывных мелкосортных станах находят применение фотоэлектрические измерители величины провисания полосы между клетями, а на проволочных — емкостные измерители величины петли.

Ниже рассматриваются применяемые для автоматизации прокатного производства методы и устройства, главным образом, прямого измерения.

Измерители кинематических показателей

Кинематические показатели устройств прокатных станов включают линейные и угловые координаты (показатели положения), а также линейные и угловые перемещения, скорости и ускорения их подвижных элементов.

Устройства для измерения показателей положения элементов устройств станов могут строиться на основе аналоговых и дискретных первичных преобразователей положения различных типов. Применяют реостатные, индуктивные, емкостные, фотоэлектрические и другие аналоговые первичные преобразователи положения.

Пример простейшего реостатного преобразователя положения схематически показан на рис. 36.

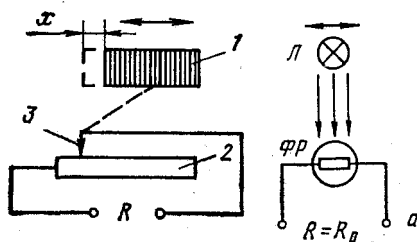


Рис. 36. Схема реостатного преобразователя положения

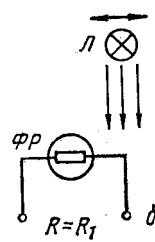


Рис. 37. Схема фотоэлектрического реле положения

Принцип действия фотоэлектрического реле положения поясняется рис. 37. Фотореле положения в простейшем случае представляет фотоэлектрический измерительный преобразователь — фоторезистор (ФР). Инициатором срабатывания реле является источник света — лампа (Л). В зависимости от относительного положения лампы Л и фоторезистора ФР его сопротивление R может принимать значения R_0 (рис. 37, а) и R_1 (рис. 37, б).

Широкое применение получили дискретные кодовые преобразователи положения подвижных элементов устройств. Пример кодового преобразователя углового положения подвижного элемента устройства схематически показан на рис.

38. С помощью преобразователя измеряется угловая координата альфа подвижного элемента М устройства. Преобразователь состоит из трех неподвижно установленных реле положения 1—3 и инициатора срабатывания реле И-кодирующего диска. Кодированный диск механически соединяется с подвижным элементом М устройства М.

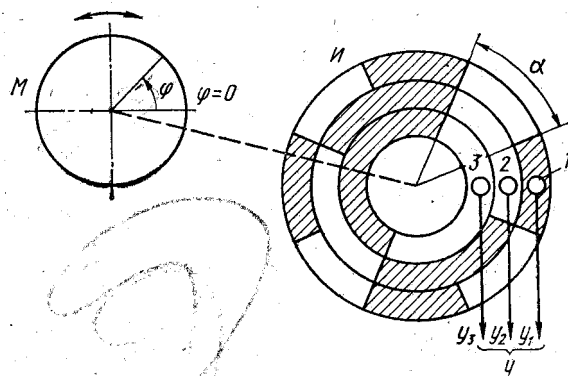


Рис. 38. Схема кодового преобразователя углового положения

Если принимать выходной сигнал m -ного реле преобразователя при нахождении в месте его расположения активной (заштрихованной) зоны кодирующего диска за единицу ($y_m=1$), а пассивной (не заштрихованной) — за нуль ($y_m=0$), то комбинация $y=(y_3, y_2, y_1)$ выходных сигналов реле положения 1—3 представляет значение координаты φ числом в параллельном двоичном коде (на рис. 38) $y=(0, 0, 1)$, т.е. координата φ представляется двоичным числом 001).

Преобразователь осуществляет квантование измеряемой координаты с интервалом квантования α .

Применяются кодовые преобразователи положения, обеспечивающие кодирование до 10000 различных положений подвижного элемента устройства.

Измерители скорости перемещения подвижных элементов устройств строятся как на основе аналоговых, так и на основе дискретных преобразователей скорости.

В качестве аналоговых преобразователей угловой скорости вращающихся элементов устройств используют тахогенераторы.

Тахогенератор представляет микроэлектромашину генераторного типа, э. д. с. которой при постоянном значении потока возбуждения пропорциональна угловой скорости ее ротора. Применяются тахогенераторы постоянного и переменного тока.

Для измерения ускорения подвижных элементов устройств применяются измерители на основе аналоговых инерционных преобразователей ускорения, преобразующих измеряемое ускорение в инерционное усилие, действующее на массу при ускорении.

Применяется три основных вида измерения кинематических показателей проката: прямое, с промежуточным преобразованием в кинематические показатели устройств, а также комбинированное.

Прямое измерение осуществляется с помощью дискретных преобразователей линейных кинематических показателей проката с использованием проката в качестве инициатора срабатывания реле положения или источника света.

Примеры преобразователей прямого измерения показателей положения проката представлены на рисунках.

На рис. 39, 40 показана схема фотоэлектрического время-импульсного преобразователя положения горячего проката. Преобразователь обеспечивает измерение координаты X кромки (торца) проката П.

Преобразователь обеспечивает измерение координаты X кромки (торца) проката П.

Период следования импульсов и длительность импульса есть функция измеряемой координаты x . Рассмотрим измерение кинематических показателей проката с использованием измерительных роликов и петледержателей.

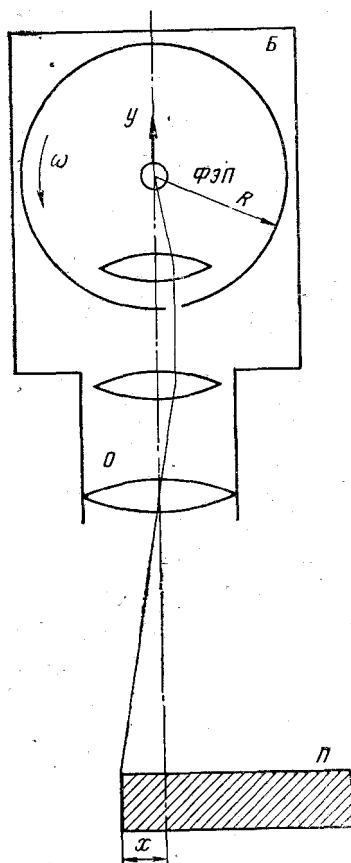


Рис. 39. Схема время-импульсного датчика положения горячего проката

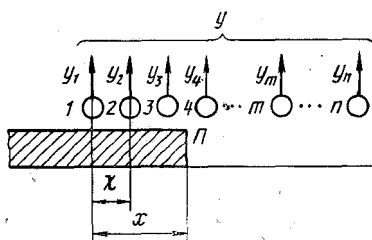


Рис. 40. Схема кодового преобразователя положения горячего проката

Измерительный ролик представляет ролик известного диаметра, находящийся в контакте с полосой и приводимый ею во вращение за счет контактных сил трения.

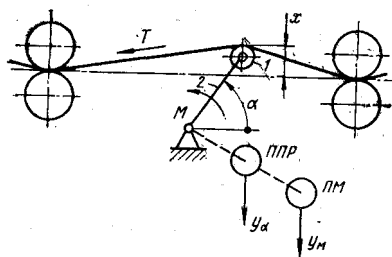


Рис. 41. Схема измерения показателей состояния полосы между клетями с помощью петледержателя

Петледержатель (рис. 41) состоит из ролика 1, рычага 2 и привода (привод на рисунке условно не показан). Под действием момента M , развиваемого приводом, рычаг 2 прижимает ролик 1 к полосе.

3.2.2. Измерители технологических нагрузок

К основным технологическим нагрузкам при прокатке относятся усилия и моменты прокатки, а также усилия натяжения прокатываемой полосы.

Измерение усилия (момента) в устройстве осуществляется с использованием упругого измерительного элемента, или упругого преобразователя, которым может быть существующая деталь устройства или же он может специально вводиться для проведения измерений.

При этом для последующего преобразования деформации обычно используют тензорезисторные, а магнитной проницаемости — индуктивные измерительные преобразователи.

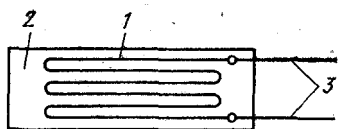


Рис. 41. Схема тензорезистора

Тензорезисторный измеритель преобразователь или тензорезистор представляет собой проводник 1 с высоким удельным сопротивлением, наклеенный на изолирующую подложку и снабженный выводами (рис. 41).

При измерении усилия P (рис. 42, а) и момента M (рис. 42, б) на поверхность упругого преобразователя-1 проводника, а входной—

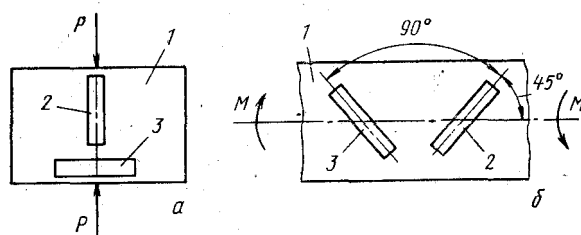


Рис. 42. Схема расположения тензорезисторов при измерении усилия (а) и момента (б)

в направлениях двух наибольших по абсолютной величине главных деформаций наклеивается пара тензорезисторов 2 и 3. Тензорезисторы включаются в

противоположные плечи измерительного моста и измеряется разность их сопротивлений.

При автоматизации прокатных станов применяют различные типы устройств для измерения натяжения полосы между клетями при непрерывной прокатке, а также между клетями и моталками.

Для измерения натяжения полосы между клетями применяют устройства с использованием в качестве преобразователя измеряемого натяжения направляющего (изгибающего) устройства, полосы и рабочей клетки (или ее отдельных частей).

Направляющее устройство обеспечивает изгиб полосы, натяжение которой измеряется.

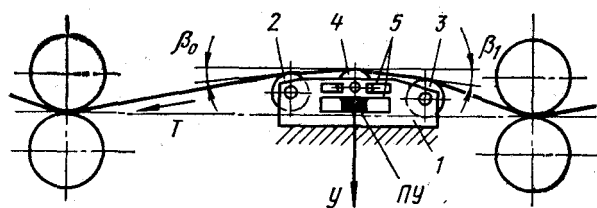


Рис. 43. Схема измерения натяжения полосы с помощью направляющего устройства с неподвижными роликами

Измерение натяжения между клетями с использованием петледержателя в качестве преобразователя измеряемого натяжения поясняется схемой, показанной на рис. 43. Измерение натяжения полосы между клетями с использованием в качестве преобразователя измеряемого натяжения направляющего устройства с неподвижными роликами иллюстрируется схемой, показанной на рис. 43.

Находят применение также двухроликовые направляющие устройства, содержащие, кроме измерительного, один направляющий ролик, и однороликовые устройства, снабженные устройством установки неподвижного измерительного ролика в заданное положение относительно линии прокатки.

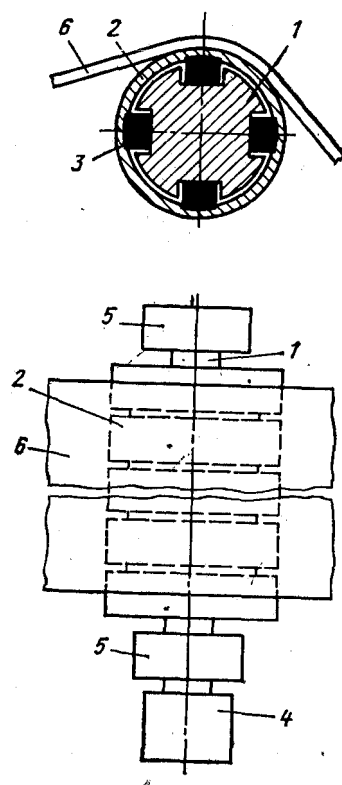


Рис. 44. Схема роликового преобразователя

Пример измерительного ролика, позволяющего оценить неравномерность распределения удельного натяжения полосы по ее ширине при листовой прокатке, схематически представлен на рис. 44. Ролик состоит из оси 1, бандажей 2, преобразователей усилия 3 и токосъемного устройства 4. Ось вращается в опорах 5. Каждый бандаж неподвижно опирается на ось через четыре преобразователя усилия, образуя секцию измерительного ролика. Токосъемное устройство обеспечивает электрический контакт преобразователей усилия, размещенных на вращающейся оси, с неподвижной частью измерительного устройства. Сигналы - преобразователей усилия отдельной секции измерительного ролика отображают натяжение продольного участка полосы б, находящегося в контакте с данной секцией. Сигналы преобразователей усилия всех секций измерительного ролика отображают натяжение полосы. Устройства рассмотренного типа называют роликовыми преобразователями распределения удельного натяжения.

Измерение натяжения прокатываемой полосы с использованием в качестве преобразователя рабочей клетки поясняется схемой, приведенной на рис. 45, а. Рабочая клетка 1 устанавливается на роликах 2 и фиксируется от перемещения в горизонтальном направлении преобразователем усилия ПУ. Если трение в роликовых опорах клетки пренебрежимо мало, то выходной сигнал у преобразователя усилия ПУ отображает разность ЛТ переднего и заднего натяжений T_1 и T_0 , приложенных к прокатываемой полосе $\Delta T = T_1 - T_0$.

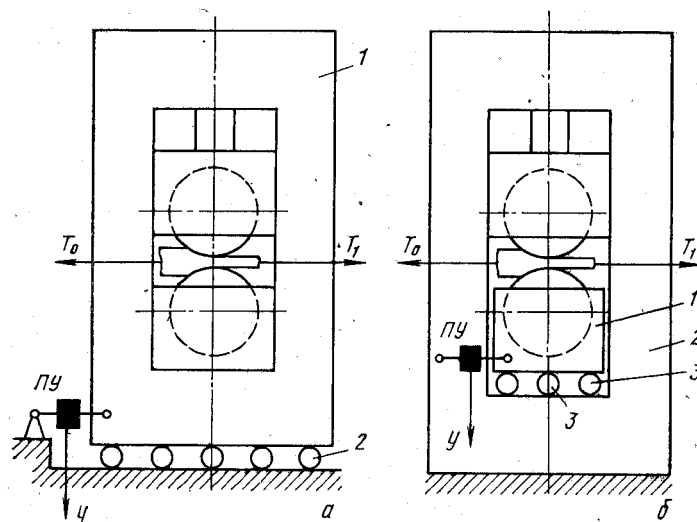


Рис. 45. Схема измерения натяжения полосы с использованием в качестве преобразователя рабочей клетки (а) и подушки (б)

В качестве преобразователей могут пользоваться также отдельные элементы натяжения частей рабочей клетки.

Устройства для измерения натяжения прокатываемой полосы можно подразделить на устройства непосредственного контакта с полосой и бесконтактные. К первым относятся устройства с использованием в качестве преобразователей измеряемого натяжения направляющих устройств, а ко вторым — полосы и рабочих клеток и их частей.

3.2.3. Измерители показателей геометрии проката

При автоматизации прокатных станов подлежат измерению следующие показатели геометрии проката: толщина, ширина и показатели формы листового проката; размеры поперечного сечения сортового проката; наружные размеры поперечного сечения и толщина стенки труб; длина проката.

Устройства для прямого измерения показателей геометрии проката можно подразделить на три группы. Первую группу образуют устройства для измерения толщины листового проката. Вторая группа включает устройства для измерения ширины листового проката, размеров поперечного сечения сортового проката и наружных размеров поперечного сечения труб. Третью группу образуют устройства для измерения длины проката. Показатели формы листового проката и толщину стенки труб определяют главным образом косвенно.

В устройствах для измерения показателей геометрии проката должна быть предусмотрена коррекция результатов измерения на величину температурного расширения проката.

Для прямого измерения толщины листового проката используют контактные и бесконтактные измерительные устройства (толщиномеры).

Контактный преобразователь толщины состоит из измерительных роликов с неподвижной и подвижной осями и измерительного преобразователя (например, индуктивного) их относительного положения в электрический сигнал. Выходной сигнал преобразователя функционально зависит от толщины полосы, находящейся между роликами.

Пример рентгеновского компенсационного толщиномера схематически представлен на рис. 46. Толщиномер состоит из источника излучения —

рентгеновской трубки РТ, двух приемников излучения — рабочей и компенсационной ионизационной камер РИК и КИК, электрической усилительно-преобразующей части ЭЧ, двигателя Д, компенсационного клина К и преобразователя положения клина ППК. Двигатель перемещает клин до тех пор, пока не будет выполнено условие $h_{кл}=h$. Выходной сигнал y преобразователя положения клина отображает измеряемую толщину полосы.

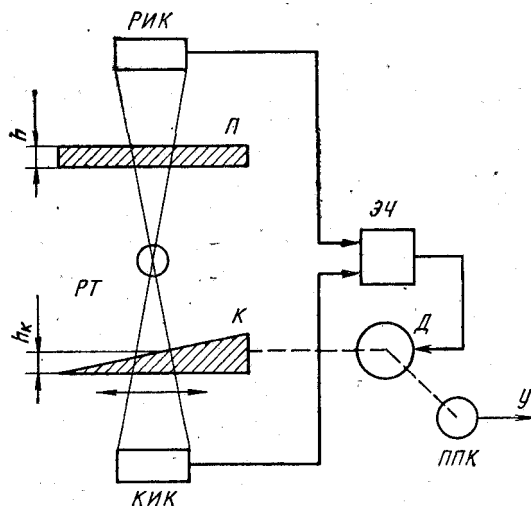


Рис. 46. Схема рентгеновского компенсационного измерителя толщины листового проката

Для прямого измерения ширины листового проката используют контактные и бесконтактные измерительные устройства (шириномеры). Их использование для измерения ширины листового проката поясняется схемой, показанной на рис. 47

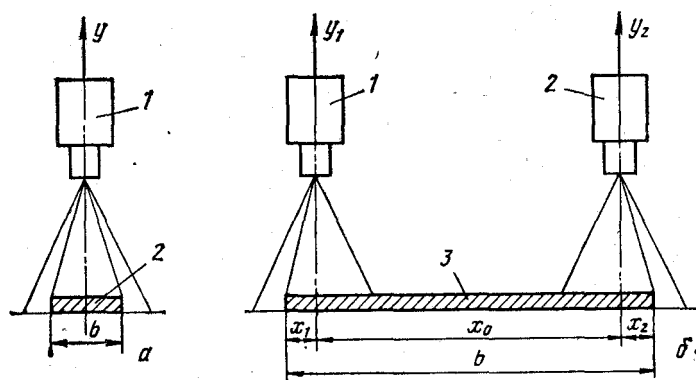


Рис. 47. Схемы бесконтактного измерения ширины листового проката

3.2.4. Измерители температуры

При автоматизации прокатного производства применяют измерители температуры следующих типов: термометры сопротивления, термоэлектрические термометры, пирометры излучения.

Первичный преобразователь термометра сопротивления представляет терморезисторный преобразователь, выходной величиной которого является его электрическое сопротивление, зависящее от температуры среды, в которую он помещен. Наибольшее распространение имеют проводниковые терморезисторы из

медной и платиновой проволоки, применяемые для измерения температуры до 150 и 750 градусов соответственно.

Первичным преобразователем термоэлектрического термометра является термоэлектрический преобразователь, или термопара. Один контакт проводников или спай термопары, помещается в среду, температура которой измеряется, а температура второго спая поддерживается постоянной. Выходной величиной термоэлектрического преобразователя является термо-э. д. с., зависящая от разности температур спаев термопары. Термоэлектрические термометры применяют для измерения температуры до 2500°C.

Пирометры излучения представляют устройства для измерений температуры, принцип действия которых основан на зависимости излучения нагретого тела от его температуры

Энергия излучения испускаемая единицей поверхности нагретого тела за единицу времени, отнесенная к единице интервала длин волн (частот) спектра излучения, называется испускательной способностью тела. Испускательная способность тела есть функция длины волны и абсолютной температуры тела T .

Пирометры излучения, применяемые при автоматизации прокатного производства, подразделяют на радиационные, фотоэлектрические и цветové.

Схема первичного преобразователя радиационного пирометра показана на рис. 3.41, а. Вместо термоэлектрического приемника излучения в радиационном пирометре можно использовать терморезисторный приемник

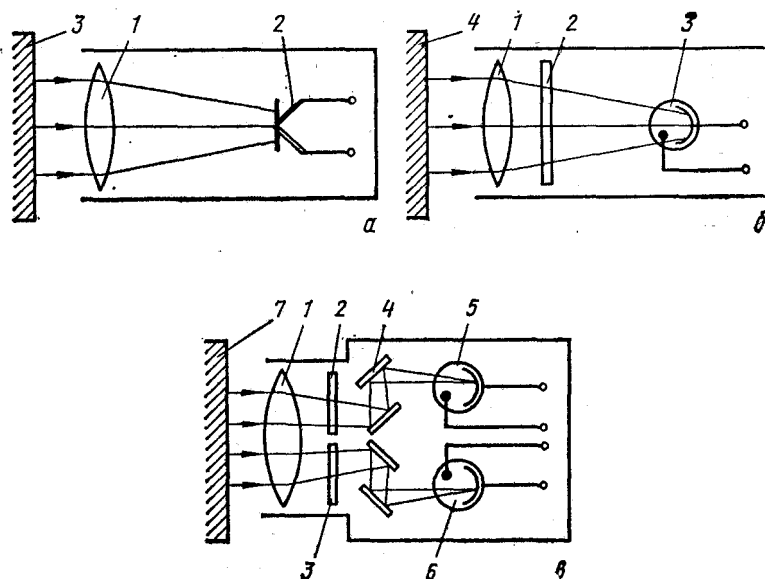


Рис. 48. Схемы первичных преобразователей радиационного (а), фотоэлектрического (б) и цветového (в) пирометров

Примерная схема первичного преобразователя фото-электрического пирометра показана на рис. 48, б. Он состоит из объектива 1, красного монохроматического светофильтра 2 и вакуумного фотоэлемента 3. Выходной величиной преобразователя является ток фотоэлемента, зависящий от испускательной способности объекта $E_{\lambda, T}$, на длине волны излучения λ , пропускаемого светофильтром. Электрический пирометр градуируется в единицах яркостной температуры T_b . Истинная температура объекта T определяется по его яркостной температуре с учетом свойств объекта.

Пример первичного преобразователя цветового пирометра схематически показан на рис. 48, в. Он состоит из объектива 1, красного 2 и синего (или зеленого) 3 монохроматических светофильтров, системы зеркал 4 и двух вакуумных фотоэлементов 5 и 6. Выходными величинами преобразователя являются токи фотоэлементов, зависящие от испускательной способности объекта $E_{\lambda_1, T}$ и $E_{\lambda_2, T}$ на длинах волны излучения 2 и 2, пропускаемых светофильтрами. Цветовой пирометр градуируется в единицах цветовой температуры T . Истинная температура объекта T определяется по его цветовой температуре с учетом свойств объекта [4].

3.3. Исполнительные устройства для автоматизации прокатного производства

3.3.1. Электроприводы исполнительных механизмов

Наиболее распространенными исполнительными механизмами являются механизмы, приводимые от электродвигателя. При относительно невысоких требованиях применяют асинхронные электродвигатели и электродвигатели постоянного тока с простыми схемами управления. В наиболее сложных случаях, когда требуется постоянно управлять скоростью движения управляющего органа, используют электродвигатели постоянного тока параллельного возбуждения с питанием от индивидуальных управляемых преобразователей переменного тока (система УП—Д). В качестве управляемых преобразователей применяют генераторы постоянного тока (система Г—Д) и тиристорные преобразователи (система ТП—Д).

Функциональная схема электропривода системы ТП—Д с автоматическим управлением скоростью представлена на рис. 3.42. Электропривод состоит из двигателя Д, тиристорного преобразователя ТП, питающего якорную цепь двигателя и тиристорного преобразователя ТПВ, питающего цепь возбуждения двигателя. Автоматическое управление электроприводом как объектом управления ОУ осуществляется автоматическим управляющим устройством АУУ, состоящим из двух частей; автоматического устройства управления якорной цепью двигателя АУУЯ и автоматического устройства управления возбуждением двигателя АУУВ.

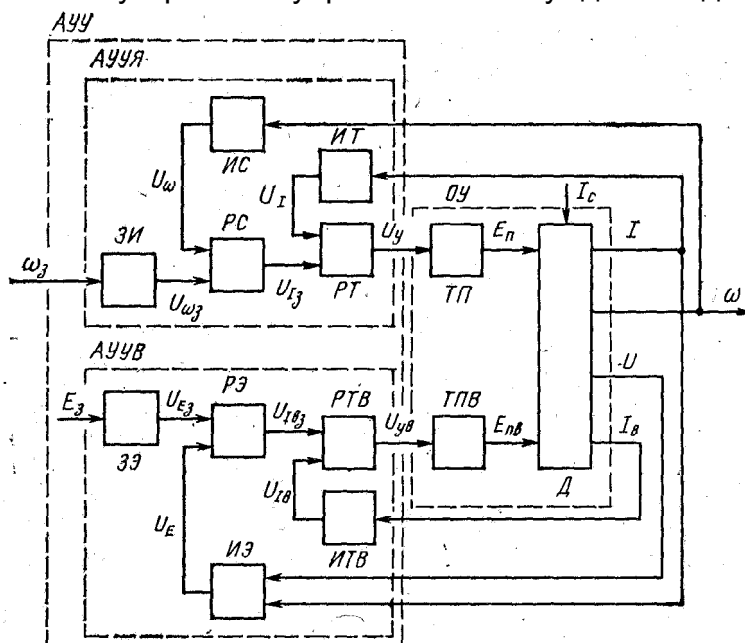


Рис. 49. Функциональная схема электропривода с автоматическим управлением скоростью вала двигателя

Устройство управления якорной цепью включает измерители скорости и тока якоря двигателя ИС и ИТ, задатчик интенсивности ЗИ и преобразователи РС и РТ. Измеритель скорости (например, тахогенератор) преобразует скорость двигателя w в напряжение V_w . Измеритель тока (шунт, включенный в якорную цепь) преобразует ток якоря I в напряжение V_I . Задатчик интенсивности, измеритель скорости и преобразователь РС образуют регулятор скорости, а измеритель тока якоря и преобразователь РТ — регулятор тока якоря двигателя. Задатчик интенсивности преобразует заданное значение скорости w_3 в напряжение V_{w3} таким образом, чтобы ускорение двигателя в любой момент времени не превосходило допустимого значения. Преобразователь РС в функции отклонения $\Delta V_w = V_{w3} - V_w$ вырабатывает задание V_{I3} регулятору тока якоря двигателя. Преобразователь РТ в функции отклонения $\Delta V_I = V_{I3} - V_I$ осуществляет воздействие V_y на тиристорный преобразователь ТП, устанавливая его э.д.с. таким образом, чтобы обеспечить соответствие скорости двигателя заданию при внешней нагрузке двигателя, характеризуемой статическим током якоря I_c [4].

3.3.2. Типовые динамические звенья

При анализе и синтезе автоматических систем управления удобно представлять их соединением типовых динамических звеньев. Динамические звенья подразделяются по виду дифференциального уравнения, а поскольку одним и тем же уравнением могут быть описаны различные физические процессы, то одним и тем же типом звена могут охватываться элементы, в которых протекают разные физические процессы (тепловые, электрические, механические, гидравлические и др.).

Все типовые динамические звенья подразделяются на позиционные, интегрирующие и дифференцирующие при этом выделяется звено чистого запаздывания.

Позиционные звенья. К позиционным относятся звенья, которые при ступенчатом входном воздействии переходят из прежнего в новое положение равновесия (на новую позицию). Позиционные звенья обладают статическими характеристиками.

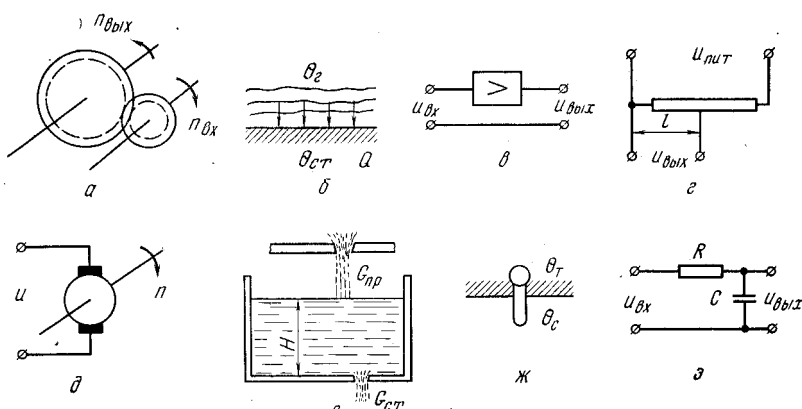


Рис. 50. Пропорциональные (а, б, в, г) и аperiодические 1-го порядка (д, е, ж, з) звенья

Пропорциональное звено. Это звено называют также усилительным или безынерционным. Звено описывается алгебраическим уравнением:

$$X_{\text{вых}} = k X_{\text{вх}} \quad (3.8)$$

где k — коэффициент передачи (усиления), имеющий размерность единицы выходной величины, деленные на единицы входной величины. Такую размерность имеет коэффициент передачи всех позиционных звеньев.

Передаточная функция пропорционального звена

$$W(p) = X_{\text{вых}}(p) / X_{\text{вх}}(p) = k \quad (3.9)$$

Апериодическое (инерционное) звено первого порядка.

Звено описывается дифференциальным уравнением:

$$T dX_{\text{вых}}/dt + X_{\text{вых}} = k X_{\text{вх}} \quad (3.10)$$

где k — коэффициент передачи; T — постоянная времени, с.

Уравнение (3.10) в операторной форме записи имеет вид

$$(Tp + 1) X_{\text{вых}}(p) = k X_{\text{вх}}(p)$$

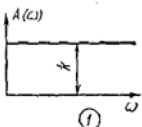
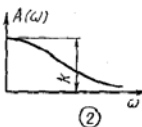
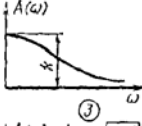
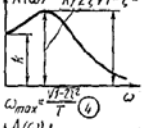
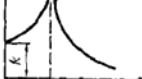
и передаточная функция звена

$$W(p) = X_{\text{вых}}(p) / X_{\text{вх}}(p) = k(Tp + 1). \quad (3.11)$$

Примеры апериодических звеньев приведены на рис. 50.

Таблица 3.1

Частотные характеристики позиционных звеньев

Тип звена и его частотная функция $W(j\omega)$	Амплитудная частотная характеристика и модуль частотной функции $A(\omega)$
Пропорциональное k	 k
Апериодическое 1-го порядка $\frac{k}{1 + j\omega T}$	 $\frac{k}{\sqrt{1 + T^2 \omega^2}}$
Апериодическое 2-го порядка $\frac{k}{(1 + j\omega T_3)(1 + j\omega T_4)}$	 $\frac{k}{\sqrt{1 + T_3^2 \omega^2} \sqrt{1 + T_4^2 \omega^2}}$
Колебательное $\frac{k}{1 - \omega^2 T^2 + j2\omega \xi T}$	 $\frac{k}{\sqrt{(1 - T^2 \omega^2)^2 + 4 T^2 \xi^2 \omega^2}}$
Консервативное $\frac{k}{1 - \omega^2 T^2}$	 $\frac{k}{ 1 - \omega^2 T^2 }$

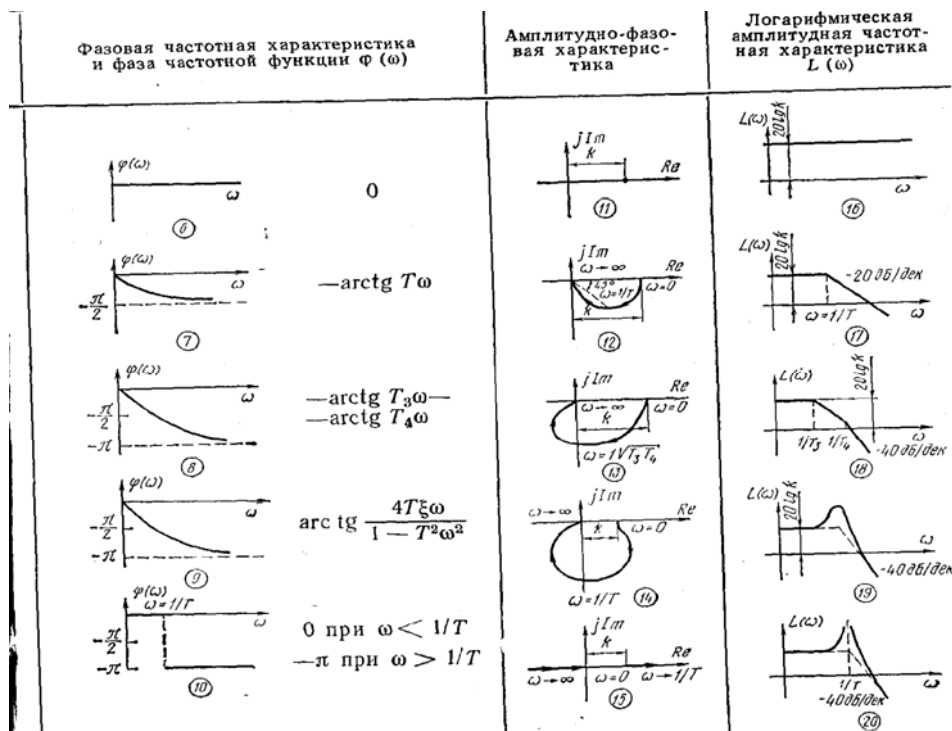
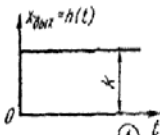
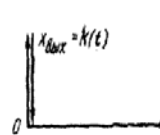
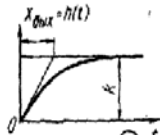
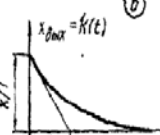
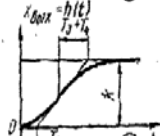
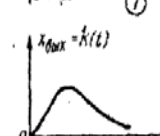
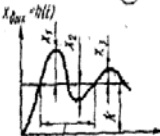
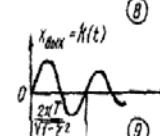
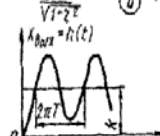
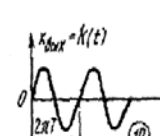


Таблица 3.2.
Временные характеристики позиционных звеньев

Тип звена и его передаточная функция $W(p)$	Переходная функция $h(t)$	Импульсная переходная функция $K(t)$
Пропорциональное k	 $k1(t)$	 $k1'(t)$
Аперiodическое 1-го порядка $\frac{k}{T_p + 1}$	 $k(1 - e^{-\frac{t}{T}})$	 $\frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}}$
Аперiodическое 2-го порядка $\frac{k}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}$	 $k(1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_4}})$	 $\frac{k}{T_3 - T_4} (e^{-\frac{t}{T_3}} - e^{-\frac{t}{T_4}})$
Колебательное $\frac{k}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1}$	 $k[1 - e^{-\alpha t}(\cos \omega t + \frac{\alpha}{\omega} \sin \omega t)]$ $\alpha = \xi/T; \omega = \sqrt{1 - \xi^2}/T$	 $\frac{k(\alpha^2 + \omega^2)}{\omega} e^{-\alpha t} \sin \omega t$
Консервативное $\frac{k}{T^2 p^2 + 1}$	 $k(1 - \cos \omega t)$ $\omega = 1/T$	 $k\omega \sin \omega t$

Импульсная переходная функция $K(t)$ определяется как обратное преобразование Лапласа над передаточной функцией:

$$K(t) = L^{-1}[W(p)] \quad (3.12)$$

или может быть найдена дифференцированием $h(t)$ (см. табл. 3.2). Частотная функция $W(j\omega)$ получается подстановкой $p = j\omega$ в выражение передаточной функции (3.8) и после соответствующих преобразований имеет вид

$$W(j\omega) = A(\omega) e^{i\varphi(\omega)} = \frac{k}{\sqrt{1 + T^2\omega^2}} e^{-j \arctg T\omega}. \quad (3.13)$$

Апериодическое (инерционное) звено второго порядка.

Дифференциальное уравнение звена

$$T_2^2 \ddot{x}_{\text{ВЫХ}} + T_1 \dot{x}_{\text{ВЫХ}} + x_{\text{ВЫХ}} = Kx_{\text{ВХ}}. \quad (3.14)$$

В операторной форме записи дифференциальное уравнение (3.14) приобретает вид

$$(T_2^2 p^2 + T_1 p + 1)X_{\text{ВЫХ}}(p) = kX_{\text{ВХ}}(p) \quad (3.15)$$

Передаточная функция звена

$$W(p) = K/[(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)]. \quad (3.16)$$

Примеры апериодических звеньев 2-го порядка приведены на рис. 51, где а - двигатель постоянного тока, б - резервуары с газом, в - электрическая цепь.

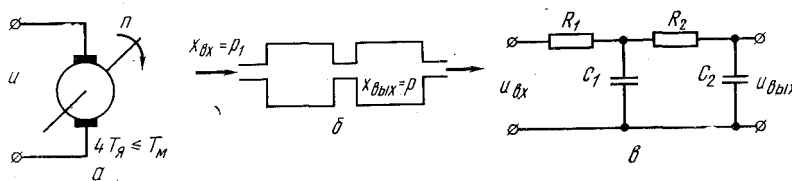


Рис. 51. Апериодические звенья 2-го порядка

Колебательное звено. Звено описывается тем же дифференциальным уравнением, что и апериодическое звено 2-го порядка (3.14), только корни характеристического уравнения $T_2^2 p^2 + T_1 p + 1 = 0$ должны быть комплексными, что выполняется при $T_1 < 2T_2$. Обычно дифференциальное уравнение колебательного звена представляют в виде

$$T^2 \ddot{x}_{\text{ВЫХ}} + 2T\xi \dot{x}_{\text{ВЫХ}} + x_{\text{ВЫХ}} = Kx_{\text{ВХ}}, \quad (3.17)$$

где ξ - коэффициент затухания, лежащий в пределах $0 < \xi < 1$.

Передаточная функция колебательного звена

$$W(p) = k/(T^2 p^2 + 2T\xi p + 1)$$

Примеры колебательных звеньев показаны на рис. 52

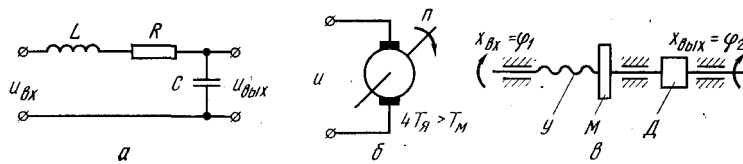


Рис. 52. Колебательные звенья

К ним относятся колебательные СИ-цепи (рис. 52, а), управляемые двигатели постоянного тока при выполнении условия $4T_{я} > T_{м}$, (рис. 52, б). Другим примером может служить упругая механическая передача (рис. 52, в) с упругим элементом У, маховиком М и демпфером Д, оказывающим сопротивление вращению вала. Входная величина — угол поворота входного вала, выходная величина — угол поворота выходного вала.

Консервативное звено. Консервативное звено является частным случаем колебательного звена при $\xi = 0$ и представляет собой идеализированный случай, когда можно пренебречь рассеянием энергии в звене. Для изображенных на рис. 52 примеров мы получим консервативные звенья, если для случаев а и б положить $R = 0$, а для случая в принять трение в демпфере равным нулю.

Уравнение консервативного звена:

$$T^2 \ddot{x}_{\text{вых}} + x_{\text{вых}} = kx_{\text{вл}} \quad (3.18)$$

а передаточная функция

$$W(p) = k/(T^2 p^2 + 1). \quad (3.19)$$

Временные характеристики соответствуют незатухающим колебаниям с угловой частотой $\omega = 1/T$ (см. табл. 3.2). Частотные характеристики звена приведены в табл. 3.1. При частоте $\omega = 1/T$ модуль частотной функции обращается в бесконечность, а фаза делает скачок на 180° .

Интегрирующие звенья Идеальное интегрирующее звено. Звено описывается дифференциальным уравнением:

$$\dot{x}_{\text{вых}} = k_1 x_{\text{вл}} \quad (3.20)$$

Передаточная функция звена

$$W(p) = k_1/p, \quad (3.21)$$

где k_1 коэффициент передачи интегрирующего звена, размерность которого: единицы выходной величины, деленные на произведение единиц входной величины на секунду.

Примеры интегрирующих звеньев приведены на рис. 53.

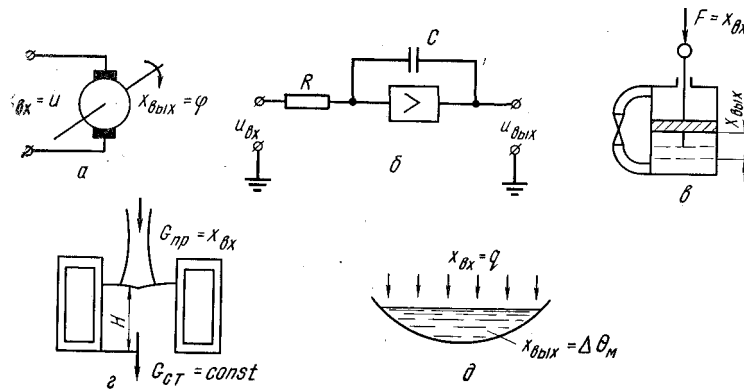


Рис. 53. Интегрирующие звенья

Первым примером служит электродвигатель (рис. 53, а), если входной величиной считать подаваемое на щетки напряжение, а выходной — угол поворота якоря. Другим примером служит операционный усилитель, работающий в режиме интегрирования

(рис. 53., б). Интегрирующим звеном также является гидравлический демпфер (рис. 53., в). Здесь входная величина — сила F , действующая на поршень, а выходная перемещение поршня.

Реальное интегрирующее звено (интегрирующее звено с замедлением). Звено описывается дифференциальным уравнением

$$T \dot{x}_{\text{вых}} + x_{\text{вых}} = k_1 x_{\text{вх}} \quad (3.22)$$

Передаточная функция звена

$$W(p) = k_1 / [p (T p + 1)]. \quad (3.23)$$

Примерами реальных интегрирующих звеньев могут служить те же звенья, что показаны на рис. 53., если более точно, без допущений рассматривать их уравнения движения. Временные характеристики звена приведены в табл. 3.3, а частотные — в табл. 3.4.

Временные характеристики реального звена отличаются от временных характеристик идеального звена только в начале переходного процесса.

Дифференцирующие звенья

Идеальное дифференцирующее звено. Звено описывается уравнением:

$$\dot{x}_{\text{вых}} = k_2 \dot{x}_{\text{вх}} \quad (3.24)$$

где k_2 — коэффициент передачи дифференцирующего звена, имеющий размерность: единицы выходной величины, умноженные на секунду и деленные на единицы входной величины.

Передаточная функция:

$$W(p) = k_2 p \quad (3.25)$$

Наиболее близко к идеальному звену приближается тахогенератор постоянного тока (рис. 3.47, а), если входной величиной считать угол поворота якоря, выходной —

Таблица 3.3.

Временные характеристики интегрирующих дифференцирующих звеньев

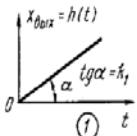
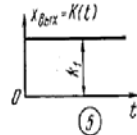
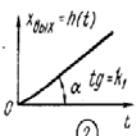
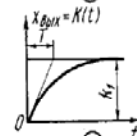
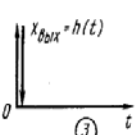
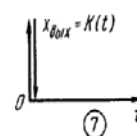
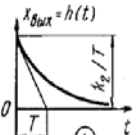
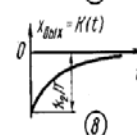
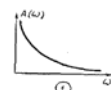
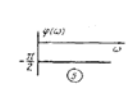
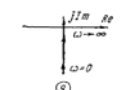
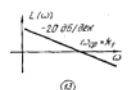
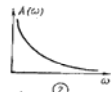
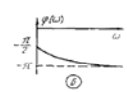
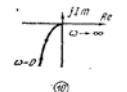
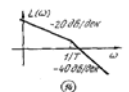
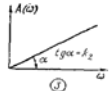
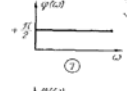
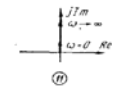
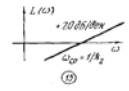
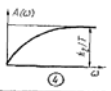
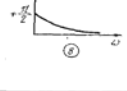
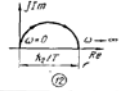
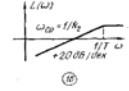
Тип звена и его передаточная функция $W(p)$	Переходная функция $h(t)$	Импульсная переходная функция $K(t)$
Идеальное интегрирующее $\frac{k_1}{p}$	 $k_1 t$	 $k_1 1(t)$
Реальное интегрирующее $\frac{k_1}{p(Tp+1)}$	 $k_1 \left[t - T \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \right]$	 $k_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$
Идеальное дифференцирующее $k_2 p$	 $k_2 \delta(t)$	 $k_2 \frac{d\delta(t)}{dt}$
Реальное дифференцирующее $\frac{k_2 p}{Tp+1}$	 $\frac{k_2}{T} e^{-\frac{t}{T}}$	 $-\frac{k_2}{T^2} e^{-\frac{t}{T}}$

Таблица 3.4.

Частотные характеристики интегрирующих и дифференцирующих звеньев

Тип звена и его частотная функция $W(j\omega)$	Амплитудная частотная характеристика и модуль частотной функции $A(\omega)$	Фазовая частотная характеристика и фаза частотной функции $\varphi(\omega)$	Амплитудно-фазовая характеристика	Логарифмическая амплитудно-фазовая характеристика $L(\omega)$
Идеальное интегрирующее $\frac{k_1}{j\omega}$	 $\frac{k_1}{\omega}$	 $-\frac{\pi}{2}$	 $\frac{k_1}{\omega}$	 -20 dB/dec
Реальное интегрирующее $\frac{k_1}{j\omega(1+j\omega T)}$	 $\frac{k_1}{\omega \sqrt{1+\omega^2 T^2}}$	 $-\frac{\pi}{2} - \arctg T\omega$	 $\frac{k_1}{\omega \sqrt{1+\omega^2 T^2}}$	 -20 dB/dec -40 dB/dec
Идеальное дифференцирующее $j k_2 \omega$	 $k_2 \omega$	 $+\frac{\pi}{2}$	 $k_2 \omega$	 $+20 \text{ dB/dec}$
Реальное дифференцирующее $\frac{j k_2 \omega}{1+j\omega T}$	 $\frac{k_2 \omega}{\sqrt{1+\omega^2 T^2}}$	 $\frac{\pi}{2} - \arctg T\omega$	 $\frac{k_2 \omega}{\sqrt{1+\omega^2 T^2}}$	 $+20 \text{ dB/dec}$ -20 dB/dec

э. д. с. якоря, а также операционный усилитель в режиме дифференцирования (рис. 54, б), применяемый в аналоговых вычислительных машинах.

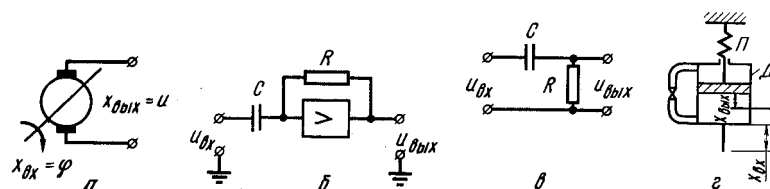


Рис. 54. дифференцирующие звенья

Временные характеристики звена в табл. 3.3, а частотные — в табл. 3.4.

Реальное дифференцирующее звено (дифференцирующее звено с замедлением). Звено описывается дифференциальным уравнением:

$$T \dot{x}_{\text{вых}} + x_{\text{вых}} = k_2 \dot{x}_{\text{вх}} \quad (3.26)$$

Передаточная функция звена

$$W(p) = k_2 p / (Tp + 1) \quad (3.27)$$

Примерами реальных дифференцирующих звеньев могут служить RC-цепь (рис. 54, в) и демпфер Д, подвешенный на пружине П (рис. 54, г).

Временные характеристики звена приведены в таблице 3.3, частотные — в таблице 3.4.

Звено чистого запаздывания

В отличие от предыдущих это звено описывается линейным уравнением с запаздывающим аргументом:

$$x_{\text{вых}}(t) = x_{\text{вх}}(t - \tau) \quad (3.28)$$

где τ - время запаздывания.

Выходная величина звена точно повторяет его входную величину, но с некоторым отставанием (запаздыванием) во времени. Передаточная функция звена может быть получена с использованием теоремы запаздывания и имеет трансцендентный вид

$$W(p) = X_{\text{вых}}(p) / X_{\text{вх}}(p) \quad (3.29)$$

Характерным примером звена чистого запаздывания служит транспортер (например, лента агломерационной машины), на котором после изменения входной величины (толщины слоя сыпучего материала) должно пройти время $\tau = l/v$ (l — длина транспортера; v — его скорость; τ — время чистого или транспортного запаздывания), после которого на ту же величину изменится выходная величина (рис.55, а).

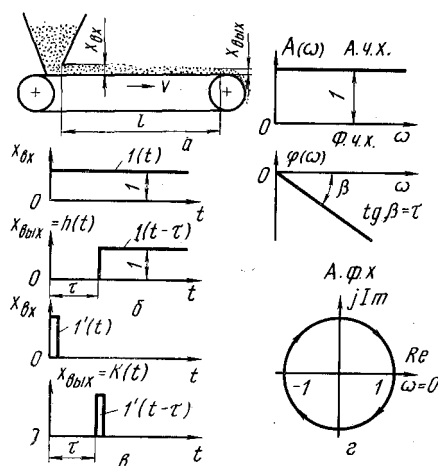


Рис. 55. Звено чистого запаздывания:
а — схема транспортера; б — переходная функция; в — импульсная переходная функция; г — частотные характеристики [2]

3.4. Настройка регуляторов

3.4.1. Типовые законы регулирования

Для регулирования объектами управления, как правило, используют типовые регуляторы, которые можно разделить на аналоговые и дискретные. К дискретным регуляторам относятся импульсные, релейные и цифровые. Аналоговые реализуют типовые законы регулирования, названия которых соответствуют названиям типовых звеньев.

Входным сигналом для аналоговых регуляторов является величина ошибки регулирования, которая определяется как разность между заданным и текущим значениями регулируемого параметра ($e = x - y$). Выходным сигналом является величина управляющего воздействия u , подаваемая на объект управления. Преобразование входного сигнала в выходной производится согласно типовым законам регулирования, рассматриваемым ниже.

1) **П-закон** (пропорциональное регулирование). Согласно закон пропорционального регулирования управляющее воздействие должно быть пропорционально величине ошибки. Коэффициент пропорциональности часто обозначают как K_1 :

$$u = K_1 e. \quad (3.30)$$

Тогда передаточная функция П-регулятора имеет вид

$$W_P(s) = K_1. \quad (3.31)$$

Если величина ошибки стала равна, например, единице, то управляющее воздействие станет равным K_1 (см. рис.56).

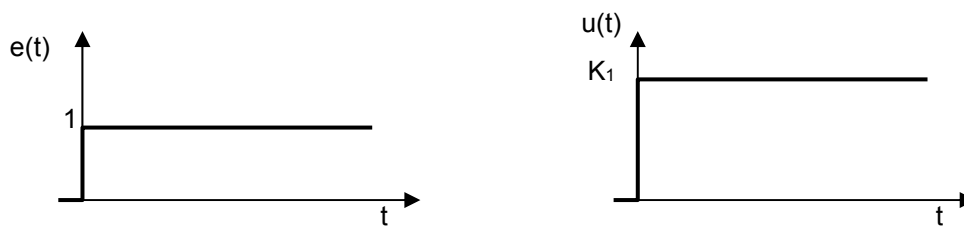


Рис. 56. Пропорциональное регулирование

Примером системы с П-регулятором может служить система автоматического наполнения емкости (сливной бачок).

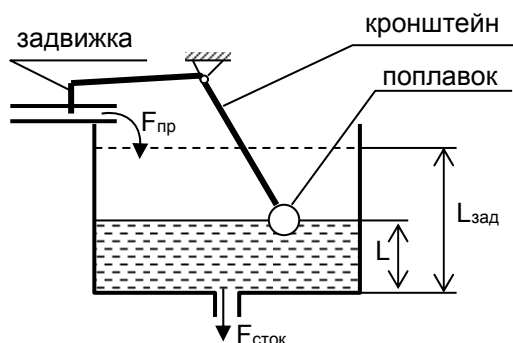


Рис.57. ПР

На рис. 57 обозначены:

L и $L_{\text{зад}}$ – текущий уровень в емкости (регулируемая величина) и его заданная величина,

$F_{\text{пр}}$ и $F_{\text{сток}}$ – расходы жидкости притекающей и стекающей из емкости.

Управляющим воздействием является $F_{\text{пр}}$. $F_{\text{сток}}$ – возмущение.

Принцип действия понятен из рисунка: при опустошении емкости поплавок через кронштейн открывает задвижку подачи жидкости. Причем, чем больше разница уровней $e = L_{\text{зад}} - L$, тем ниже поплавок, тем больше открыта задвижка и, соответственно, больше поток жидкости $F_{\text{пр}}$. По мере наполнения емкости ошибка уменьшается до нуля и, соответственно, уменьшается $F_{\text{пр}}$ до полного прекращения подачи. То есть $F_{\text{пр}} = K_1 \cdot (L_{\text{зад}} - L)$.

Достоинство данного принципа регулирования в быстроедействие. Недостаток – в наличии статической ошибки в системе. Например, если жидкость вытекает из емкости постоянно, то уровень всегда будет меньше заданного.

2) **И-закон** (интегральное регулирование). Управляющее воздействие пропорционально интегралу от ошибки. То есть чем дольше существует отклонение регулируемого параметра от заданного значения, тем больше управляющее воздействие:

$$u = K_0 \int e(t) dt . \quad (3.32)$$

Передаточная функция И-регулятора:

$$W_{\text{И}}(s) = \frac{K_0}{s} \quad (3.33)$$

При возникновении ошибки управляющее воздействие начинает увеличиваться со скоростью, пропорциональной величине ошибки. Например, при $e = 1$ скорость будет равна K_0 (см. рисунок 58).

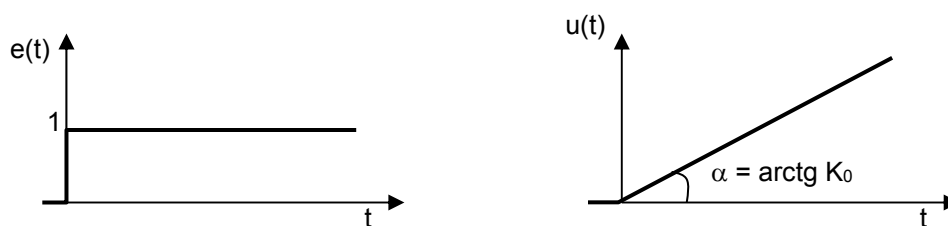


Рис.58. Интегральное регулирование

Достоинство данного принципа регулирования в отсутствии статической ошибки, т.е. при возникновении ошибки регулятор будет увеличивать управляющее воздействие, пока не добьется заданного значения регулируемой величины. Недостаток – в низком быстродействии.

3) **Д-закон** (дифференциальное регулирование). Регулирование ведется по величине скорости изменения регулируемой величины:

$$u = K_2 \frac{de(t)}{dt} \quad (3.34)$$

То есть при быстром отклонении регулирующей величины управляющее воздействие по модулю будет больше. При медленном – меньше. Передаточная функция Д-регулятора:

$$W_D(s) = K_2 s. \quad (3.35)$$

Регулятор генерирует управляющее воздействие только при изменении регулируемой величины. Например, если ошибка имеет вид ступенчатого сигнала $e = 1$, то на выходе такого регулятора будет наблюдаться один импульс (δ -функция). В этом заключается его недостаток, который обусловил отсутствие практического использования такого регулятора в чистом виде.

На практике типовые П-, И-и Д-законы регулирования редко используются в чистом виде. Чаще они комбинируются и реализуются в виде ПИ-регуляторов, ПД-регуляторов, ПИД-регуляторов и др.

ПИ-регулятор (пропорционально-интегральный регулятор) представляет собой два параллельно работающих регулятора: П-и И-регуляторы (см. рис.59). Данное соединение сочетает в себе достоинства обоих регуляторов: быстродействие и отсутствие статической ошибки.

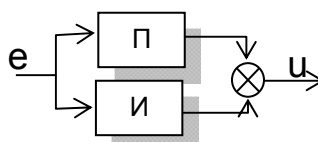


Рис.59 ПИ

ПИ-закон регулирования описывается уравнением

$$u = K_0 \int e(t) dt + K_1 \cdot e(t) \quad (3.36)$$

и передаточной функцией

$$W_{\text{ПИ}}(s) = K_1 + \frac{K_0}{s}. \quad (3.37)$$

То есть регулятор имеет два независимых параметра (настройки): K_0 – коэффициент интегральной части и K_1 – коэффициент пропорциональной.

При ошибке $e = 1$ управляющее воздействие показано на рис.60.

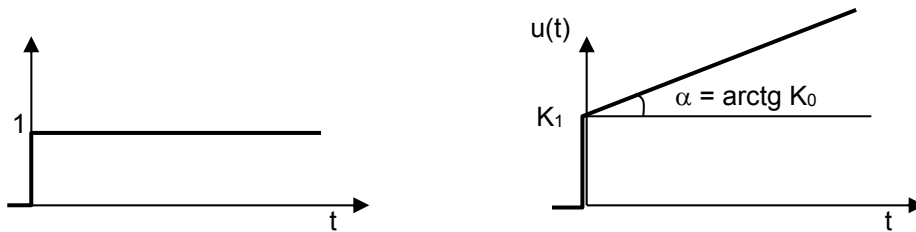


Рис.60. ПИ-регулирование

ПД-регулятор (пропорционально-дифференциальный регулятор) включает в себя П-и Д-регуляторы (см. рисунок 61). Данный закон регулирования описывается уравнением

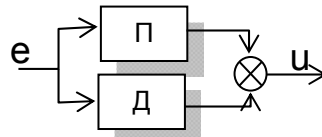


Рис.61.ПД

$$u = K_1 \cdot e(t) + K_2 \frac{de(t)}{dt} \quad (3.38)$$

и передаточной функцией:

$$W_{\text{ПД}}(s) = K_1 + K_2 s. \quad (3.39)$$

Данный регулятор обладает самым большим быстродействием, но также и статической ошибкой. Реакция регулятора на единичное ступенчатое изменение ошибки показана на рисунке 62.

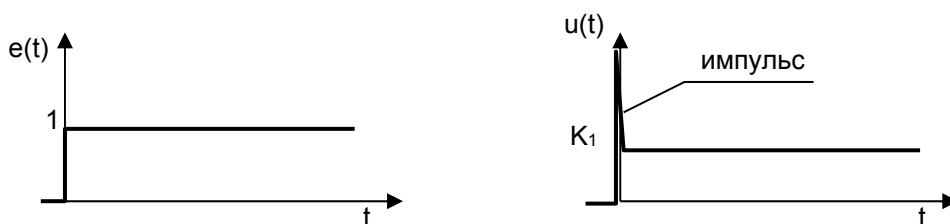


Рис.62. ПД - регулирование

ПИД-регулятор (пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор) можно представить как соединение трех параллельно работающих регуляторов (см. рис.63).

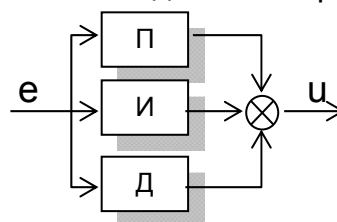


Рис.63.ПИД

Закон ПИД-регулирования описывается уравнением:

$$u = K_0 \int e(t) dt + K_1 \cdot e(t) + K_2 \frac{de(t)}{dt} \quad (40)$$

и передаточной функцией

$$W_{\text{ПИД}}(s) = K_1 + \frac{K_0}{s} + K_2 s \quad (3.41)$$

В отличие от других ПИД-регулятор имеет три настройки: K_0 , K_1 и K_2 используется часто, поскольку он сочетает в себе достоинства всех трех типовых регуляторов. Реакция регулятора на единичное ступенчатое изменение ошибки показана на рис.64.

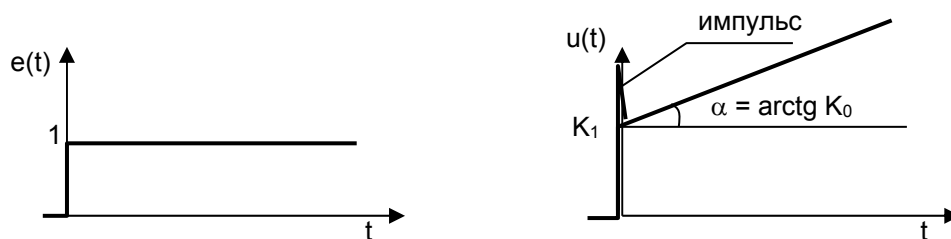


Рис.64.ПИД – регулятор

3.4.2. Управляющие устройства (автоматические регуляторы)

В практике создания систем автоматического управления обычно используют пять линейных законов управления, описываемых линейными дифференциальными уравнениями: пропорциональный (П-управление); интегральный (И-управление); пропорционально-интегральный (ПИ-управление); пропорционально-дифференциальный (ПД-управление); пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД-управление). Управляющие устройства (регуляторы), реализующие эти законы, носят соответственно названия П-, И-, ПИ-, ПД- и ПИД-регуляторов. При рассмотрении регуляторов (рис. 65, а) под входной величиной будем понимать отклонение управляемой величины от заданного значения $e = x_0 - x$ в единицах управляемой величины, а выходной величиной положение выходного вала исполнительного механизма (исполнительный механизм включен в структуру регулятора) в процентах хода исполнительного механизма.

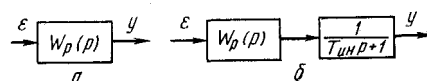


Рис. 65. Структурная схема идеального (а) и реального (б) регуляторов

Пропорциональный закон управления (П-регулятор). Уравнение П-регулятора имеет вид:

$$y = k_p * e \quad (3.42)$$

где k_p — коэффициент передачи регулятора, имеющий размерность: величина хода исполнительного механизма (в процентах), деленная на единицы управляемой величины.

Передаточная функция регулятора:

$$W_p(p) = k_p, \quad (3.43)$$

т. е. П-регулятор представляет собой пропорциональное звено.

Передаточная функция реального П-регулятора

$$W_p(p) = k_p / (T_{ин} p + 1). \quad (3.44)$$

Передаточные функции и частотные характеристики идеального и реального П-регуляторов приведены в табл. 3.6.

Интегральный закон управления. (И-регулятор). Дифференциальное уравнение И-регулятора имеет вид:

$$\dot{y} = k_{pi} e \quad (3.45)$$

где k_{pi} — коэффициент передачи интегрального регулятора, размерность которого величина хода исполнительного механизма (в процентах), деленная на произведение единицы управляемой величины на секунду.

Передаточные функции идеального и реального И-регуляторов

$$W_{II}(p) = k_{pi} / p; \quad W_{II}^*(p) = k_{pi} / [p(T_{ин} p + 1)] \quad (3.46)$$

т. е. идеальный И-регулятор представляет собой идеальное интегрирующее звено, а реальный И-регулятор — интегрирующее звено с замедлением. Переходные функции и частотные характеристики идеального и реального И-регуляторов приведены в табл. 3.5.

Пропорционально-интегральный закон управления (ПИ -регулятор).

Дифференциальное уравнение ПИ-регулятора

$$\dot{y} = k[\dot{e} + (1/T_{ин})e] \quad (3.47)$$

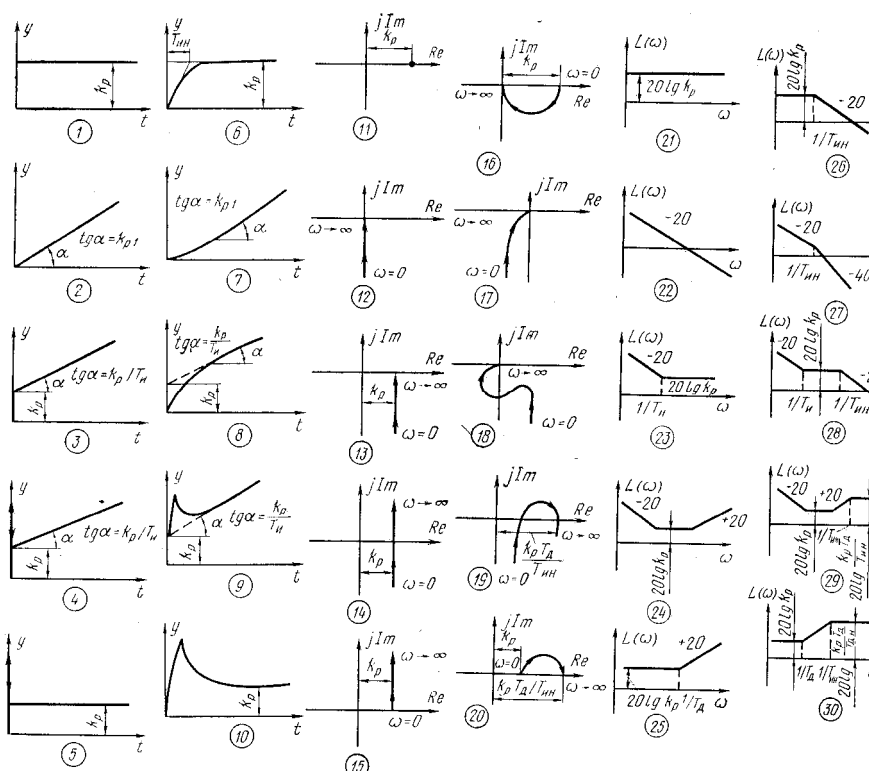
где k_p — коэффициент передачи регулятора, размерность которого величина хода исполнительного механизма (в процентах), деленная на единицы управляемой величины; T — постоянная, интегрирования, с.

Передаточная функция идеального регулятора имеет вид

$$W_{ПИ}(p) = \frac{Y(p)}{E(p)} = k_p + k_p / T_{ин} p \quad (3.48)$$

Таблица 3.5.

Характеристика регуляторов



Закон управления (тип регулятора) и его передаточная функция $W(p)$		Переходная функция $h(t)$		Амплитудно-фазовая характеристика и частотная функция $W(j\omega)$		Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика $L(\omega)$	
идеальный	реальный	идеальный	реальный	идеальный	реальный	идеальный	реальный
Пропорциональный (П-регулятор)		рис. 1	рис. 6	рис. 11	рис. 16	рис. 21	рис. 26
k_p	$\frac{k_p}{T_{ин}p + 1}$			k_p	$\frac{k_p}{\sqrt{1 + T_{ин}^2 \omega^2}} e^{-j \arctg T_{ин} \omega}$		
Интегральный (И-регулятор)		рис. 2	рис. 7	рис. 12	рис. 17	рис. 22	рис. 27
$\frac{k_{pi}}{p}$	$\frac{k_{pi}}{p(T_{ин}p + 1)}$			$\frac{k_p}{\omega} e^{-j \frac{\pi}{2}}$	$\frac{k_p}{\omega \sqrt{1 + T_{ин}^2 \omega^2}} e^{-j(\frac{\pi}{2} + \arctg T_{ин} \omega)}$		

Закон управления (тип регулятора) и его передаточная функция $W(p)$		Переходная функция $h(t)$		Амплитудно-фазовая характеристика и частотная функция $W(j\omega)$		Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика $L(\omega)$	
идеальный	реальный	идеальный	реальный	идеальный	реальный	идеальный	реальный
Пропорционально-интегральный (ПИ-регулятор)		рис. 3	рис. 8	рис. 13	рис. 18	рис. 23	рис. 28
$k_p \left(1 + \frac{1}{T_{ин}p}\right)$	$\frac{k_p (T_{ин}p + 1)}{T_{ин}p (T_{ин}p + 1)}$			$\frac{k_p \sqrt{1 + T_{ин}^2 \omega^2}}{T_{ин} \omega} \times e^{j(\arctg T_{ин} \omega - \frac{\pi}{2})}$	$\frac{k_p \sqrt{1 + T_{ин}^2 \omega^2}}{T_{ин} \omega \sqrt{1 + T_{ин}^2 \omega^2}} \times e^{j(\arctg T_{ин} \omega - \frac{\pi}{2} - \arctg T_{ин} \omega)}$		
Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД-регулятор)		рис. 4	рис. 9	рис. 14	рис. 19	рис. 24	рис. 29
$k_p \left(1 + \frac{1}{T_{ин}p} + T_{дп}p\right)$	$\frac{k_p (1 + T_{ин}p + T_{дп}p^2)}{T_{ин}p (T_{ин}p + 1)}$			$\frac{k_p \sqrt{(1 - T_{ин}T_{дп}\omega^2)^2 + T_{ин}^2 \omega^2}}{T_{ин} \omega} \times e^{j(\arctg \frac{T_{ин}\omega}{1 - T_{ин}T_{дп}\omega^2} - \frac{\pi}{2})}$	$\frac{k_p \sqrt{(1 - T_{ин}T_{дп}\omega^2)^2 + T_{ин}^2 \omega^2}}{T_{ин} \omega \sqrt{1 + T_{ин}^2 \omega^2}} \times e^{j(\arctg \frac{T_{ин}\omega}{1 - T_{ин}T_{дп}\omega^2} - \frac{\pi}{2} - \arctg T_{ин} \omega)}$		
Пропорционально-дифференциальный (ПД-регулятор)		рис. 5	рис. 10	рис. 15	рис. 20	рис. 25	рис. 30
$k_p (1 + T_{дп}p)$	$\frac{k_p (1 + T_{дп}p)}{T_{ин}p + 1}$			$\frac{k_p \sqrt{1 + T_{дп}^2 \omega^2}}{\omega} \times e^{j \arctg T_{дп} \omega}$	$\frac{k_p \sqrt{1 + T_{дп}^2 \omega^2}}{\omega \sqrt{1 + T_{ин}^2 \omega^2}} \times e^{j(\arctg T_{дп} \omega - \arctg T_{ин} \omega)}$		

т. е. передаточную функцию идеального ПИ-регулятора можно рассматривать как сумму передаточной функции пропорционального k_p и передаточной функции интегрирующего $k_p/T_{II}p$ звеньев, что структурно соответствует параллельному включению этих звеньев, (рис. 66, а).

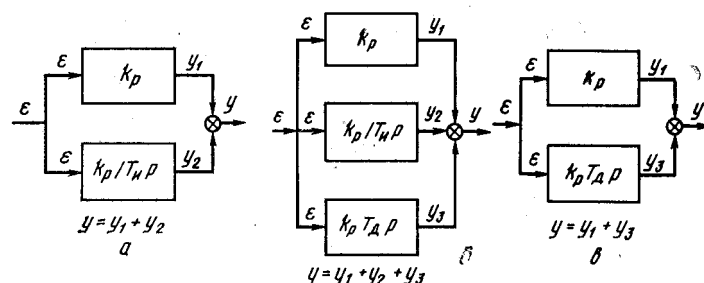


Рис. 66. Структурное Представление регуляторов:
а — ПИ-регулятор; б — ПИД-регулятор; в — ПД-регулятор

Постоянная интегрирования T_{II} характеризует участие интегральной составляющей в формировании ПИ-закона управления. Чем больше T_{II} , тем меньше влияние интегральной составляющей. При $T_{II} \rightarrow \infty$ регулятор превращается в пропорциональный.

Передаточная функция реального ПИ-регулятора

$$W_{ПИ}(p) = k_p (T_{II} p + 1) / [T_{II} p (T_{ин} p + 1)] \quad (3.49)$$

т. е. управляющее воздействие y является суммой управляющих воздействий, вырабатываемых пропорциональной и интегральной частями ПИ-регулятора. Соответственно и переходная функция ПИ-регулятора является суммой переходных функций пропорционального и идеального интегрирующего звеньев. Переходные функции и частотные характеристики идеального и реального ПИ-регуляторов приведены в табл.3.5.

Пропорционально -интегрально-дифференциальный закон управления (ПИД-регулятор). Дифференциальное уравнение ПИД-регулятора

$$\dot{y} = k_p [\dot{\varepsilon} + (1/T_{II}) \varepsilon + T_d \ddot{\varepsilon}], \quad (3.50)$$

где T_d — постоянная дифференцирования, с.

Передаточная функция идеального регулятора

$$W_{ПИД}(p) = k_p + k_p/(T_{II}p) + k_p T_d p. \quad (3.51)$$

ПИД-регулятор структурно можно рассматривать как параллельное включение пропорционального, идеального интегрирующего и идеального дифференцирующего звеньев (рис. 65, 6). Постоянная дифференцирования T_d характеризует участие дифференциальной составляющей в формировании ПИД-закона управления. Чем больше T_d , тем больше влияние дифференциальной составляющей.

Передаточная функция реального ПИД-регулятора имеет вид

$$W_{ПИД}^*(p) = \frac{k_p (1 + T_{II}p + T_{II}T_d p^2)}{T_{II}p (T_{ин}p + 1)}. \quad (3.52)$$

Переходные функции и частотные характеристики идеального и реального ПИД-регуляторов приведены в табл. 3.5.

Пропорционально -дифференциальный закон управления (ПД-регулятор). При $T_{II} \rightarrow \infty$ ПИД-регулятор превращается в пропорционально-дифференциальный регулятор с передаточной функцией:

$$W_{ПД}(p) = k_p + k_p T_{Д} p. \quad (3.53)$$

Структурно ПД-регулятор можно рассматривать как параллельное включение пропорционального и идеального дифференцирующего звеньев (рис. 65, в). Переходные функции и частотные характеристики идеального и реального ПД-регуляторов приведены в табл. 3.5 [1].

3.5. Регулирующий микропроцессорный контроллер — РЕМИКОНТ

Является аппаратно-программным средством многоканальных систем автоматического регулирования (на 8—16 каналов) и ориентирован по своим функциональным возможностям как для работы в локальных системах, так и в распределенных системах управления. В последних ремиконт является узлом локальной управляющей вычислительной системы, выполняющим типовой состав функций регулирования. Для включения ремиконта в распределенную систему управления в его состав входит специальный блок сопряжения с сетевой магистралью. Особенностью ремиконта является внутреннее программное обеспечение, не требующее внешних программных средств — операционных систем, транслятора, ассемблера и т. п. Оператор работает с ремиконтом, как с традиционным аналоговым средством, и требуемый алгоритм, его параметры, связи с внешней аппаратурой набираются оператором с помощью обычных клавиш, обозначенных на панели оператора терминами и символами, общепринятыми в практике автоматизации. Представление информации оператору осуществляется при помощи светодиодных и цифровых индикаторов.

Другая особенность ремиконта состоит в возможности подключения к его входам аналоговых и дискретных датчиков, а на выходах ремиконта формируются аналоговые и дискретные сигналы сигнализации и управления стандартными исполнительными устройствами.

Третья особенность РЕМИКОНТа заключается в программной реализации типового состава функций для систем автоматического управления локального уровня и подсистем АСУ ТП. Типовой состав функций ремиконта включает 25 алгоритмов регулирования: аналоговые и импульсные стандартные ПИД - алгоритмы, ПИД - алгоритмы с нуль-органом, с дифференцированием, с автоподстройкой; динамические преобразования (дифференцирование, интегрирование, слежение, программное задание); нелинейные преобразования (формирование кусочно-линейных функций, булевых функций, и другие функции

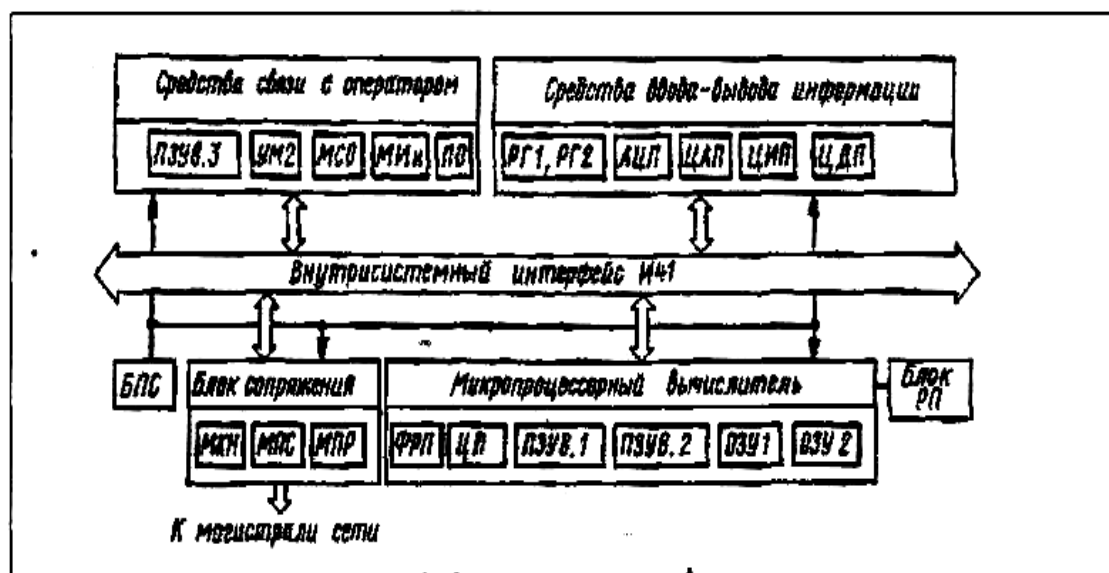


Рис.67. Блок-схема ремиконта

Перечисленные особенности ремиконта определили его аппаратное построение как автономного устройства, основу которого составляют средства аналогового и дискретного ввода — вывода, микропроцессор и панель оператора с устройствами отображения информации. Физическая структура ремиконта изображена на рис. 3.50 и мало чем отличается от других типовых блок-схем микропроцессорных контроллеров.

Микропроцессорный вычислитель РЕМИКОНТа состоит из центрального процессора (ЦП), памяти программ — полупроводниковых ПЗУ8.1 и ПЗУ8.2 (функциональные задачи ремиконта) и памяти данных ОЗУ 1 и ОЗУ2. Первая область памяти данных ОЗУ 1 используется для временного хранения промежуточных данных и вычислений, вторая — ОЗУ2 — содержит программируемые параметры ремиконта. Для сохранения информации при отключении питания (не менее 200 ч) ОЗУ2 содержит резервный источник питания. Память программ ПЗУ8.1 и ПЗУ8.2 представляет собой полупроводниковые ПЗУ с неизменяемой и не разрушаемой информацией, «защитой» на заводе-изготовителе.

Средства ввода — вывода информации ремиконта включают АЦП (до четырех блоков) на 16 аналоговых входов каждый; дискретно-цифровой преобразователь ДЦП (до восьми блоков) на 16 дискретных входов каждый; ЦАП (до восьми блоков) на 8 аналоговых выходов каждый; цифро-импульсный преобразователь (ЦИП) на 8-импульсных выходов; цифро-дискретный преобразователь (ЦДП) (до восьми блоков) на 8 дискретных выходов каждый. Для гальванического разделения входных и выходных аналоговых цепей в ремиконте используются гальванические разделители РП и РГ2, благодаря которым подавляются промышленные помехи и ремиконт может работать с источниками и приемниками, находящимися под различными потенциалами по отношению друг к другу и к общему проводу ремиконта.

Средства связи с оператором в ремиконте включают в свой состав панель оператора (ПО), подключаемую к внутрисистемной магистрали через усилитель магистрали (УМ2), модуль индикации (МИИ), модуль сигнализации отказа (МСО) и память ПЗУ8.3.

Панель оператора может отстоять от ремиконта на расстоянии до 3 м и служит средством общения оператора с координирующей УВМ верхнего уровня АСУ ТП через устройства внешней интерфейсной связи (блок сопряжения). В постоянном запоминающем устройстве ПЗУ8.3 хранятся программы обслуживания (ПО), программы тестирования и самодиагностики. Модуль МСО (светодиодные индикаторы) сигнализирует о неисправности блока питания стабилизированного (БПС), резервного питания (БРП), а также об ошибках при выполнении программ. Блок сопряжения включает в себя модуль связи с кассетным накопителем (МКН), модуль интерфейса СМ ЭВМ ИРПС (МПС) и модуль интерфейса СМ ЭВМ ИРПР (МПР). Устройства внешней интерфейсной связи позволяют включать ремиконт в распределенную АСУ ТП.

Ремиконт как уже говорилось, имеет модульную структуру и может наращиваться до 64 каналов блоками по 8 каналов. Базовый минимальный комплект включает в себя модули ПРЦ, ФРП, ПЗУ8Л 3, ОЗУ, БПС, ПО, УМ2, МИн и МСО.

Перечисленные аппаратные средства ремиконта позволяют реализовать в модели «РЕМИКОНТ Р-100» [12, 26] следующие технические характеристики:

Число входов:

аналоговых..... до 64
дискретных..... » 126

Число выходов:

аналоговых..... » 64
импульсных.... > 64
дискретных..... » 126

Входные и выходные аналоговые сигналы

Входные дискретные сигналы:

логический «О» ... О—3 В
логическая «1» ... 18—30 В

Выходные дискретные и импульсные сигналы (состояние контактов):

логический «О» ... разомкнутое
логическая «1» ... замкнутое

Время цикла..... 0,27—2,04 с

Точность установки сигнала задания 0,1%

Статическая точность стабилизации О... 0,2%

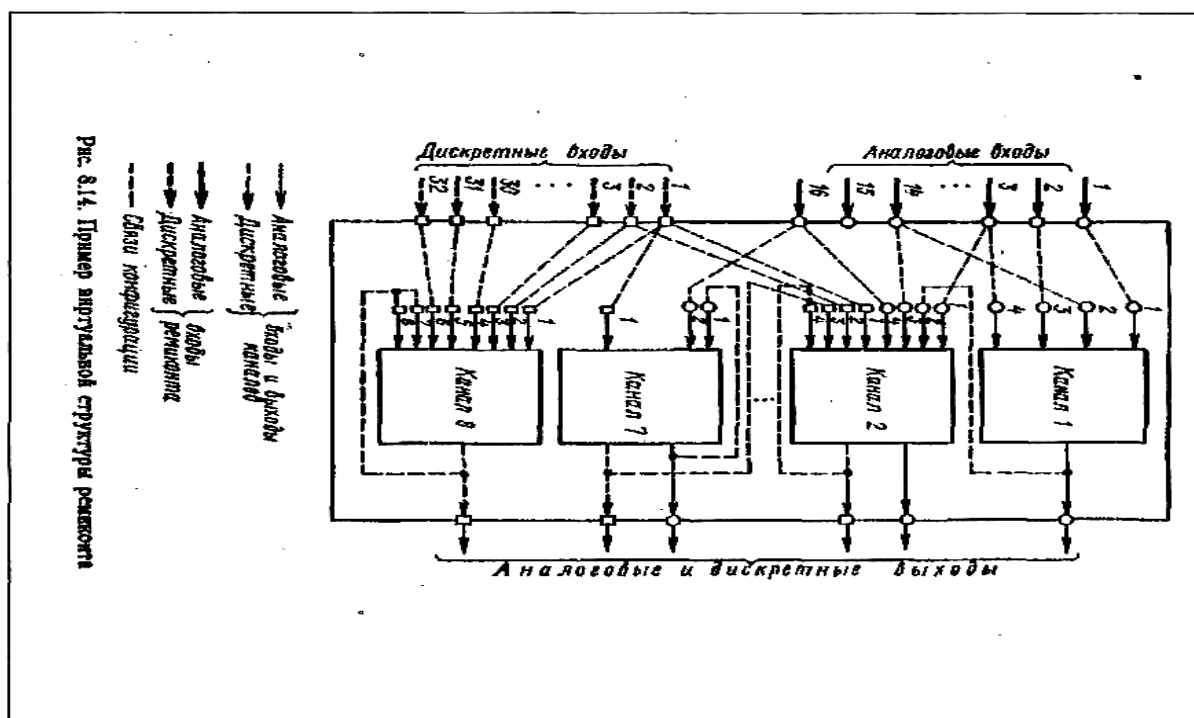


Рис.68 Виртуальная структура ремиконта

Достаточно широкие аппаратные возможности ремиконта, библиотека алгоритмов управления, включающая большинство используемых в промышленной автоматике функций регулирования и управления, позволяют без каких-либо трудностей конфигурировать ремиконт в каждом конкретном случае. Способность ремиконта к реконфигурации и созданию канала регулирования с нужными динамическими свойствами (так называемая «виртуальность» структуры) является еще одной особенностью ремиконта и программируемых микропроцессорных контроллеров вообще.

На рис. 68 приведен пример возможной виртуальной структуры восьмиканального варианта ремиконта. Такая конфигурация ремиконта имеет 16 аналоговых и 32 дискретных входов, 8 аналоговых и 16 дискретных выходов. Структура управления содержит 8 каналов с восемью входами в каждый канал, библиотеку алгоритмов и блок коэффициентов (параметров настройки). Ремиконт имеет жестко связанные лишь выходы каналов с выходами контроллера.

Основные тенденции в развитии программируемых контроллеров состоят в модульном принципе построения; в использовании встроенных устройств программирования, средств диагностики работоспособности отдельных модулей и контроллера в целом; в способности работать автономно и, что обеспечивает наибольший эффект, в сети контроллеров; в резервировании как на уровне отдельных плат, так и на уровне целого устройства; в расширении функциональных возможностей до уровня рассмотренных выше типовых микропроцессорных станций [3].

ГЛАВА 4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ СТАНА

В общем случае листовой стан управляется локальными системами автоматического управления устройствами, которые подразделяются на системы: 1) регулирования скорости вращения валков (САРС); 2) управления положением валков (САУП); 3) регулирования усилий напряжения клетей (САРНК); 4) регулирования усилий натяжения полосы, создаваемых петледержателями (САРН); 5) регулирования усилий натяжения полосы, создаваемых моталкой и разматывателем (САРНМ, САРНР).

Устройство автоматического управления скоростью вращения валков клетки и изменением управляющих переменных U , привода вращения валков обеспечивает поддержание значения скорости вращения валков клетки o равным заданному $OB3$. Измерение угловой скорости вращения валков осуществляется измерителем, кинематически связанным с валом двигателя привода вращения валков. При наличии на клетях винтового устройства установки валков устройство автоматического управления положением валков изменением управляющих переменных привода перемещения нажимных винтов обеспечивает установку каждого нажимного винта в заданное положение или равенство их координат заданным значениям. Измерение координат осуществляется измерителями положения, связанными с нажимными винтами. Если клеть и оснащена гидравлическим устройством установки валков, то устройство автоматического управления положением валков изменением управляющих переменных устройства установки валков обеспечивает установку каждого плунжера устройства в заданное положение, или равенство их координат заданным значениям. Измерение координаты осуществляют с помощью измерителя положения, соединенного с плунжером устройства установки валков или подушкой нижнего опорного валка. Устройство автоматического управления усилиями напряжения клетки и изменением управляющих переменных устройства напряжения клетки обеспечивает независимое поддержание усилий, развиваемых гидроцилиндром устройства, равными заданным значениям P . Усилия могут измеряться как прямым методом с помощью измерителей усилия, так и косвенно с помощью измерителей давления рабочей жидкости в гидроцилиндрах. Устройство автоматического управления усилием натяжения полосы, создаваемого петледержателем, расположенным в межклетевом промежутке обеспечивает поддержание усилия натяжения полосы, равным заданному значению. Усилие измеряется косвенным методом. Реакции опор измеряются измерителями усилия, устанавливаемыми под опоры. Положение рычага измеряется измерителем, кинематически связанным с его осью. Следует подчеркнуть, что усилие натяжения создается в полосе петледержателем во взаимодействии с клетями стана, между которыми он находится.

Устройство автоматического управления усилием натяжения полосы, создаваемым моталкой, обеспечивает поддержание натяжения полосы равным заданному значению. Управление осуществляется изменением управляющих переменных привода моталки. Усилие натяжения полосы, как правило, измеряется косвенно. Следует подчеркнуть, что усилие натяжения полосы создается моталкой во взаимодействии с чистой клетью стана. Поддержание усилия натяжения, создаваемого в полосе разматывателем, равным заданному значению, может осуществляться аналогично [4].

4.1. АСУ ТП прокатного стана

Для автоматизации обжимного стана создается трехуровневая АСУ ТП стана, состоящая из центральной и зональных УВМ и локальных систем управления. В составе стана выделяются четыре зоны управления: 1) зона нагревательных колодцев; 2) зона слиткоподачи; 3) зона рабочей клетки; 4) зона ножниц.

Зона слиткоподачи включает слитковозы, приемный и подводящий рольганги. В зону рабочей клетки входят реверсивная рабочая клеть, рабочие рольганги, манипулятор и кантователь. В зону ножниц входят отводящий рольганг, МОЗ, рольганг МОЗ, ножницы, рольганг ножниц и клеймитель.

Основной информационной функцией АСУ ТП обжимного стана является слежение за положением металла на стане и его учет.

Подготовка обжимного стана к прокатке очередной партии слитков состоит в расчете программы прокатки слитка, а подготовка к прокатке очередного слитка — в коррекции программы прокатки. Поэтому основные управляющие функции АСУ ТП стана по характеру можно подразделить на: 1) расчет программы прокатки; 2) управление темпом прокатки; 3) коррекция программы прокатки; 4) управление процессом прокатки слитка. Технологический процесс прокатки на блюминге протекает следующим образом. Слитки перед прокаткой нагревают в нагревательных колодцах. Нагретый слиток клещевым краном подают на слитковоз, который транспортирует его к приемному рольгангу. Приемным и подводящим рольгангами слиток доставляют к рабочей клетке, где он прокатывается за 11—19 проходов с обжатием 40—120 мм за проход. В процессе прокатки раскат подается к валкам рабочими рольгангами, перемещается вдоль валков от калибра к калибру манипулятором и кантуется на 90° кантователем. После прокатки раскат отводящим рольгангом подается к МОЗ для зачистки его поверхности, затем к ножницам для обрезки, концов и порезки на части и клеймителю для клеймения.

Технологический процесс прокатки на слябинге отличается от прокатки на блюминге обжатием боковых кромок раската вертикальными валками.

Для автоматизации обжимного стана создается трехуровневая АСУ ТП стана, состоящая из центральной и зональных УВМ и локальных систем управления. В составе стана выделяются четыре зоны управления: 1) зона нагревательных колодцев; 2) зона слиткоподачи; 3) зона рабочей клетки; 4) зона ножниц.

Зона слиткоподачи включает слитковозы, приемный и подводящий рольганги. В зону рабочей клетки входят реверсивная рабочая клеть, рабочие рольганги, манипулятор и кантователь. В зону ножниц входят отводящий рольганг, МОЗ, рольганг МОЗ, ножницы, рольганг ножниц и клеймитель.

Основной информационной функцией АСУ ТП обжимного стана является слежение за положением металла на стане и его учет.

Основные управляющие функции АСУ ТП стана по характеру можно подразделить на: 1) расчет программы прокатки; 2) управление темпом прокатки; 3) коррекция программы прокатки; 4) управление процессом прокатки слитка.

Локальные системы зоны нагревательных колодцев включают: 1) системы управления устройствами загрузки и выгрузки слитков в колодцы (клещевых и напольно-крышечных кранов); 2) системы управления показателями тепловой работы колодцев; 3) системы управления показателями теплового состояния слитков.

Основными локальными системами управления устройствами зоны рабочей клетки блюминга являются:

1) система управления угловыми скоростями вращения рабочих валков; 2) система управления положением верхнего рабочего валка; 3) системы управления угловой скоростью вращения роликов секций переднего и заднего рабочих рольгангов; 4) системы управления положением линеек манипулятора; 5) система управления кантователем.

На сляббинге к этим системам дополнительно относятся: 1) система управления угловыми скоростями вращения вертикальных валков; 2) система управления положением вертикальных валков.

Основные локальные системы управления устройствами зоны ножниц включают: 1) системы управления угловой скоростью роликов секций отводящего рольганга, рольганга МОЗ и рольганга ножниц; 2) систему управления ножницами; 3) систему управления МОЗ; 4) систему управления клеймителем.

К локальным системам управления технологическими переменными зоны ножниц относится система автоматического управления порезкой (раскромом) ракатов.

Рассмотрим функции локальных систем зоны слиткоподачи. Система управления положением слитковоза обеспечивает перемещение слитковоза в заданное положение у колодцев или у приемного рольганга. Задание положения слитковоза осуществляется вручную или зональной УВМ. Для измерения фактического значения координаты слитковоза применяют троллеи, состоящие из отдельных изолированных секций (разрезные троллеи). Зональная УВМ, используя информацию о фактическом положении слитковозов, а также слитков на приемном и подводящем рольганге обеспечивает их взаимодействие в процессе транспортировки слитков к рабочей клетке.

Рассмотрим функции локальных систем участка ножниц. Система управления ножницами обеспечивает по команде осуществление реза раската. Система автоматического управления порезкой раскатов обеспечивает отрезание от раската части заданной длины. С этой целью система изменяет задание системе управления скоростью подводящей секции рольганга ножниц таким образом, чтобы остановить раскат в момент, когда длина части раската, выступающей за линию реза ножниц, окажется равной заданному значению. После этого системе управления ножницами выдается команда на осуществление реза. Для измерения длины части раската, выступающей за линию реза, используется дискретный измеритель длины, описанный в п. 2 гл. 3 (измерительная линейка). Зональная УВМ, используя информацию о положении раскатов и отрезанных от них частей, а также о состоянии ножниц, обеспечивает взаимодействие секций рольгангов в процессе транспортировки раскатов.

Заданные значения длин частей, на которые необходимо разрезать очередной раскат (раскройный план), выдаются в систему управления порезкой раскатов зональной УВМ или вручную. Составление раскройного плана осуществляется УВМ на основании информации о фактической длине раската, подлежащего порезке, таким образом, чтобы минимизировать количество обрезки. Длина раската, подлежащего порезке, измеряется дискретным измерителем длины (измерительной линейкой) [4]

4.2. Системы автоматического управления толстолистовым станом

Локальные системы автоматического управления технологическими переменными зоны рабочих клеток включают системы регулирования толщины, профиля, формы и ширины раската.

Система автоматического регулирования толщины (САРТ) предназначена для поддержания заданной толщины середины раската на выходе из чистовой клетки. Система автоматического регулирования профиля (САРП) предназначена для поддержания заданной выпуклости профиля раската на выходе из чистовой клетки. При наличии на стане измерителей неплоскостности раската вместо САРП может создаваться система автоматического регулирования формы (САРФ), предназначенная для поддержания заданного показателя неплоскостности раската на выходе из чистовой клетки. При отсутствии САРФ функции управления показателями формы раската выполняет УВМ зоны рабочих клеток путем выработки заданий САРТ и САРП. Локальная система автоматического регулирования ширины раската (САРШ), как правило, не создается, а функции управления шириной выполняет УВМ зоны рабочих клеток путем выработки заданий системе управления положением валков черновой клетки.

Система автоматического регулирования толщины раската функциональная схема приведена на рис. 69.

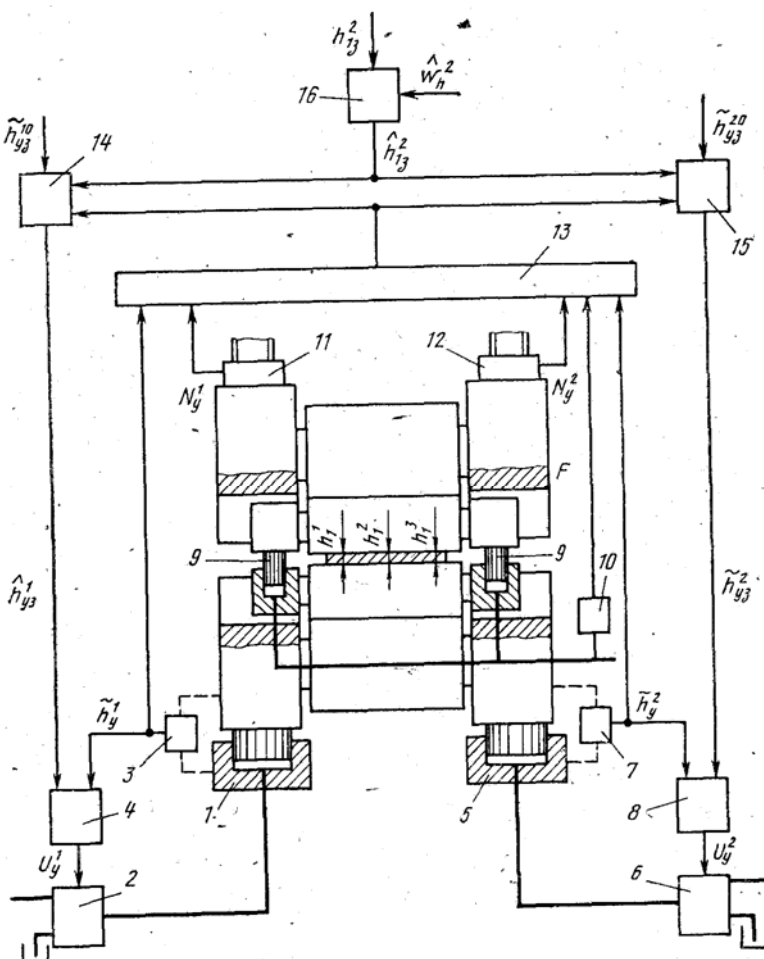


Рис. 69. Функциональная схема системы автоматического регулирования толщины и раската толстолиствого стана

4.3. Системы автоматического регулирования формы полосы

При наличии технических средств для прямого измерения показателей неплоскостности полосы стан может быть оснащен системой автоматического регулирования формы (САРФ), предназначенной для поддержания заданных

значений показателей неплоскостности полосы на выходе из стана, а также между его клетями.

Функциональная схема САРФ, предназначенной для регулирования показателей неплоскостности полосы на выходе из клетки изменением усилия напряжения этой клетки показана на рис. 68. Гидроцилиндры 1 устройства напряжения, измеритель усилия напряжения 2, управляющее устройство 3 и ЭГП 4 образуют систему управления усилием напряжения клетки, а измеритель неплоскостности 5 и управляющее устройство 6 обеспечивают регулирование показателя неплоскостности изменением задания F .

4.4. Регулирование толщины по возмущению

Для улучшения качества регулирования толщины полосы на выходе из клетки применяют компенсацию основного возмущающего воздействия — изменения толщины подката функциональная схема системы регулирования толщины середины

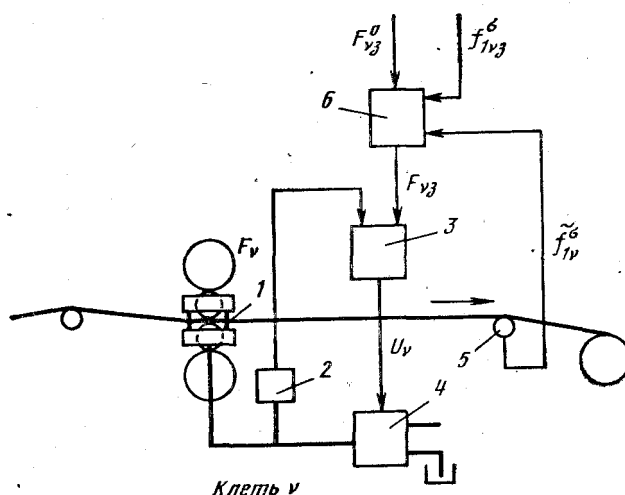


Рис.70. Функциональная схема системы автоматического регулирования формы с прямым измерением показателя неплоскостности

полосы на выходе из реверсивного стана по возмущению изменением натяжения разматывающей моталки показана на рис.70.

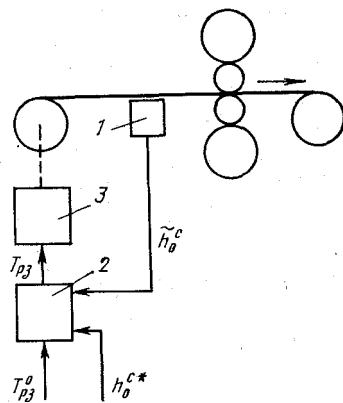


Рис. 71. функциональная схема системы автоматического регулирования толщины на выходе из реверсивного стана по возмущению

Система включает измеритель толщины середины подката 1, расположенный на входной стороне клетки, управляющее устройство 2 и систему регулирования натяжения моталки с прямым измерением натяжения 3, которая поддерживает натяжение моталки T_p равным заданному T_{pz} . Управляющее устройство 2 отклонения толщины середины подката в измерителе h_0^c от ее значения в исходном равновесном состоянии преобразует исходное задание T_{pz}^0 в задание T_{pz} таким образом, чтобы устранить влияние изменений толщины середины подката на толщину середины полосы на выходе из клетки [4].

4.5. Системы автоматического регулирования натяжения

Управление натяжением полосы между клетями непрерывного стана возможно изменением положения валков последующей клетки скорости валков предыдущей клетки или скорости валков последующей клетки.

4.5.1. Регулирование натяжения перемещением валков

Перемещение валков клетки непрерывного стана холодной прокатки влияет на натяжение полосы в предыдущем межклетевом промежутке стана и слабо влияет на натяжение в остальных.

С учетом этой особенности перемещения валков как управляющего воздействия на натяжение полосы, функциональная схема САРН стана перемещением валков строится как показано на рис. 72.

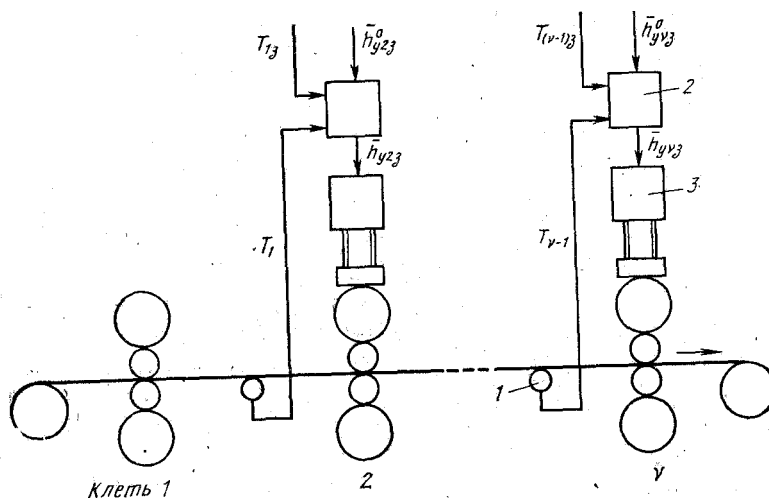


Рис. 72. Функциональная схема системы автоматического регулирования натяжения на непрерывном стане холодной прокатки перемещением валков

Регулирование натяжения между клетями осуществляется системой, включающей роликовый измеритель натяжения 1, управляющее устройство 2 и систему управления положением валков 3 клетки. Управляющее устройство 2 в функции отклонения натяжения T от заданного значения T_z преобразует исходное задание h_0 системе управления положением валков в задание обеспечивающее поддержание заданного значения натяжения.

4.5.2. Регулирование натяжения изменением скоростей валков

Изменение скорости валков клетки непрерывно го стана холодной прокатки существенно влияет на натяжение полосы в смежных межклетевых промежутках и относительно слабо влияет на натяжение в остальных.

Исходя из этого, в качестве управляющего воздействия на натяжение полосы в межклетевом промежутке используют согласованное изменение скоростей всех предыдущих или всех последующих клеток стана.

Функциональная схема САРН стана согласованным изменением скоростей предыдущих клеток показана на рис. 73.

Регулирование натяжения между клетями осуществляется системой, включающей роликовый измеритель натяжения 1, управляющие устройства 2 и системы регулирования скорости валков 3 клеток. Управляющие устройства 2 в функции отклонения натяжения T , от заданного значения T_3 преобразуют задания, поступающие на их входы, в задания систем 3 таким образом, чтобы обеспечить получение заданного значения T и постоянство натяжений T

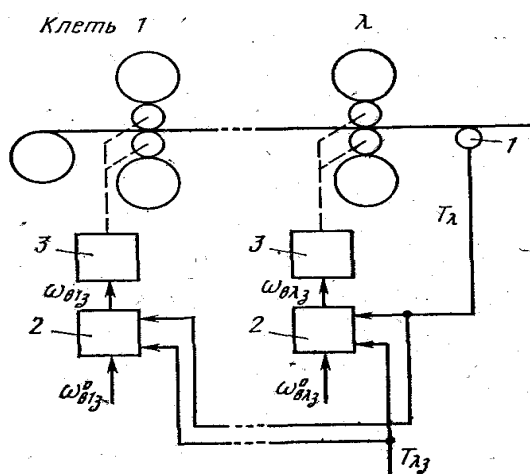


Рис. 73. Функциональная схема системы автоматического регулирования натяжения на непрерывном стане холодной прокатки изменением скорости валков [4].

4.5.3. Система управления прокатным станом 150

Стан предназначен для проката катанки диаметром: 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 8,0; 9,0 мм. И мелкосортной стали диаметром: 10,0; 12,0; 14,0; 16,0 мм по ГОСТ 2590 для перетяжки на проволоку различного назначения, а также в стали для армирования железобетонных конструкций №6, №8 по ГОСТ 5781, в мотках массой до 2-х тонн.

Схема расположения оборудования стана 150 на рис.74.

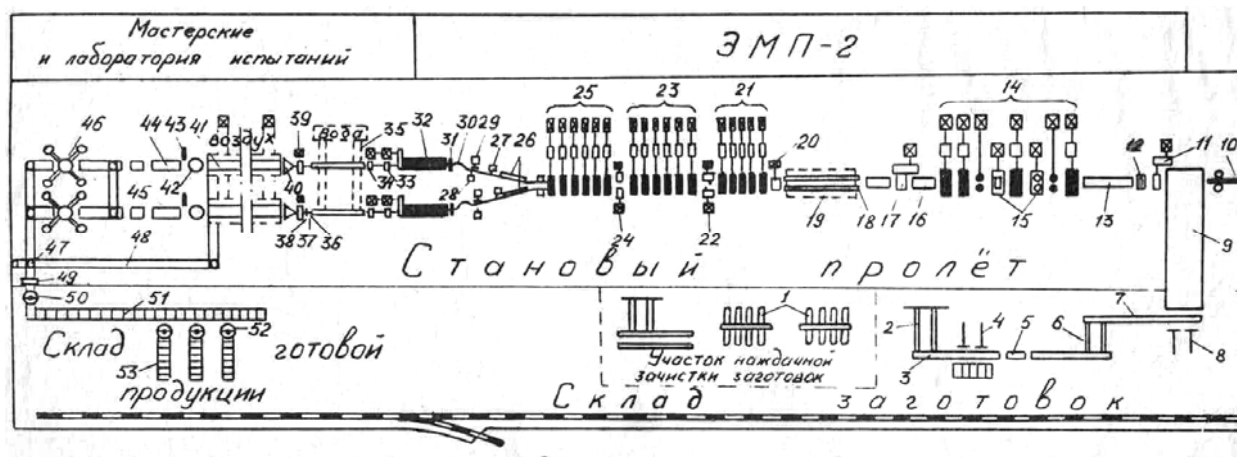


Рис.74. Прокатный стан 150

1 – зачистные станки; 2 – загрузочный шлеппер; 3 – подводящий рольганг; 4 – сталкиватель бракованной заготовки; 5 – рольганговые весы; 6 – наклонный подъемник; 7 – печной рольганг; 8 – толкатель; 9 – печь с шагающим подом; 10 – выталкиватель; 11 – вытаскиватель; 12 – гидросбив*; 13 – предстановый рольганг; 14 – обжимной стан 630; 15 – термофрезерные машины*; 16 – рольганг; 17 – маятниковые ножницы; 18 – стрелка; 19 – подогревательная печь с роликовым подом; 20 – разрывные ножницы; 21 – черновая группа стана; 22 – кривошипно-рычажные ножницы; 23 – средняя группа стана 150; 24 – кривошипные ножницы; 25 – вторая средняя группа стана 150; 26 – водяные охладители; 27 – дисковые ножницы*; 28 – универсальные ножницы; 29 – скрапные барабанные ножницы*; 30 – петлерегулятор; 31 – разрывные ножницы; 32 – десяти клетевой чистовой блок стана 150; 33 – измеритель толщины; 34 – дефектоскоп (устройство Цумбах – имеющее 4 лазерные головки, сканирующее поверхность катанки, на предмет точного вхождения диаметра в заданные пределы); 35 – водяное охлаждение; 36 – дисковые ножницы*; 37 – дисковые ножницы*; 38 – скрапные барабанные ножницы*; 39 – трайбаппарат; 40 – виткообразователь; 41 – транспортер с воздушным охлаждением; 42 – виткосборник; 43 – делительные ножницы*; 44 – транспортер; 45 – весы; 46 – пресс и вязальные машины; 47 – опрокидыватель; 48 – транспортер поддонов; 49 – тележка для съема бунтов; 50 – поворотное устройство*; 51 – цепной транспортер; 52 – поворотное устройство; 53 – полосчатый транспортер.

4.5.4. Программное обеспечение АСУТП стана 150

На стане 150 используется проект, называемый Stan_150, разработанный в среде WinCC. WinCC RunTime – название запущенного проекта, разработанного в среде WinCC, подобно проекту Stan_150.

WinCC – среда, для разработки технологических проектов. На базе этой среды создается АСУТП – Автоматизированные Системы Управления Технологическими Процессами. АСУТП – проект, который управляет механизмами, позволяет контролировать режимы работы оборудования и создавать интерфейс связи между оборудованием и людьми.

В WinCC используются внутренние и внешние переменные.

Внешние – переменные связи с контроллерами при помощи дополнительных драйверов;

Внутренние – переменные, используемые при создании проектов, в том числе временные переменные, которые используются для временного хранения данных.

Применяемый на стане 150 проект разработан фирмой Siemens.

Проект Stan_150 включает в себя графический редактор, редактор скриптов (программ), редактор создания аварийных отчетов.

4.5.5. Назначение и функции системы управления стана 150

Управление на стане 150 осуществляется с помощью системы WinCC Run-Time. Она является системой оператора для централизованного управления и визуализации технологических процессов. Проект состоит из набора картинок, которые отображаются в зависимости от несущей информации на разных операторских постах.

Система состоит из следующих компонентов:

- сеть SINEC H1 нижнего уровня, соединяющая шкаф цифрового задания скорости SQ166, шкафы базовой автоматизации SA31.1, SA31.2, SA32.1, SA32.2, SA41.1 и серверы;

- сеть верхнего уровня, соединяющая серверы и рабочие станции, находящиеся на постах PS22, PS31 и в машзале ЭМП-2;

- два сервера (Сервер 1 и Сервер 2) – сбор информации от шкафов SA и SQ и передачу ее на PC, передача управляющих сигналов от PC к SA и SQ (установлены в специальном помещении машзала ЭМП-2), хранение программ прокатки и охлаждения (для питания серверов необходим специальный подвод питающей сети и источник бесперебойного питания);

- рабочая станция PC22.1 – отображение состояния и управления гидроаппаратурой участка проволоки левой и правой ниток (установлена на посту PS22);

- рабочая станция PC22.2 – отображение состояния, фактических значений и управление приводами участка проволоки правой и левой ниток (установлена на посту PS22);

- рабочая станция PC31.1 – отображение состояния и управление механизмами виткотранспортёра (установлена на посту PS31);

- рабочая станция PC 31.2 – отображение состояния и управление механизмами адьюстажа (установлена на посту PS31).

Для питания рабочих станций применяют специальный подвод питающей сети и источник бесперебойного питания.

ГЛАВА 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАНАТОВ

5.1. Магнитный метод контроля

Основан на базе ферромагнитных характеристик стального проволочного каната. Главный принцип данного метода представлен на рис. 75.

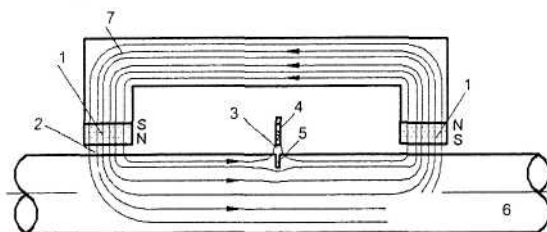


Рис.75. Метод рассеяния магнитного потока при испытании стального материала: 1 — постоянный магнит; 2 — воздушный зазор; 3 — рассеяние магнитного потока; 4 — датчик Холла; 5 — локальный дефект; 6 — стальной материал; 7 — якорь магнита

Через стальной канат протекает магнитный поток соответствующей величины, связанный комплектом постоянных магнитов. Из-за специальной структуры этот магнитный поток вокруг стального материала равномерно распределяется согласно конфигурации проволочного каната. Локальные дефекты, включая разрыв проволоки, которые находятся внутри или снаружи проволочного каната, увеличивают магнитное сопротивление проволочного каната. Это в свою очередь заставляет некоторую часть магнитного потока изменить свою траекторию и образовать магнитное поле, которое существенно отличается от нормального и обозначается как поле магнитного рассеяния. Специально спроектированные датчики, такие как феррозонды и датчики Холла, могут быть использованы для измерения этого поля магнитного рассеяния и поэтому могут улавливать информацию о дефекте. Изменение данных по напряжению от этих датчиков (которые могут воспринимать поле магнитного рассеяния, преобразуя его в формат напряжения) могут быть собраны, а затем обработаны компьютером с целью мониторинга качества проволочного каната.

5.2. Счетчики для измерения длины прядей и канатов

Счетчики бывают двух конструкций: червячные и шестеренные. На рис.76 изображен простейший червячный счетчик. На валик 3 насажен однозаходный червяк 4, сцепляющийся с червячной шестерней 5, имеющей 100 зубьев. На неподвижной оси 8 червячной шестерни имеются два зуба 9. Эксцентрично с червячной шестерней на неподвижной оси 12 вращается малая шестерня, имеющая 20 зубьев. На её оси закреплена стрелка. Шестерни по кругу разделены: червячная на 100 делений, малая на 10 делений.

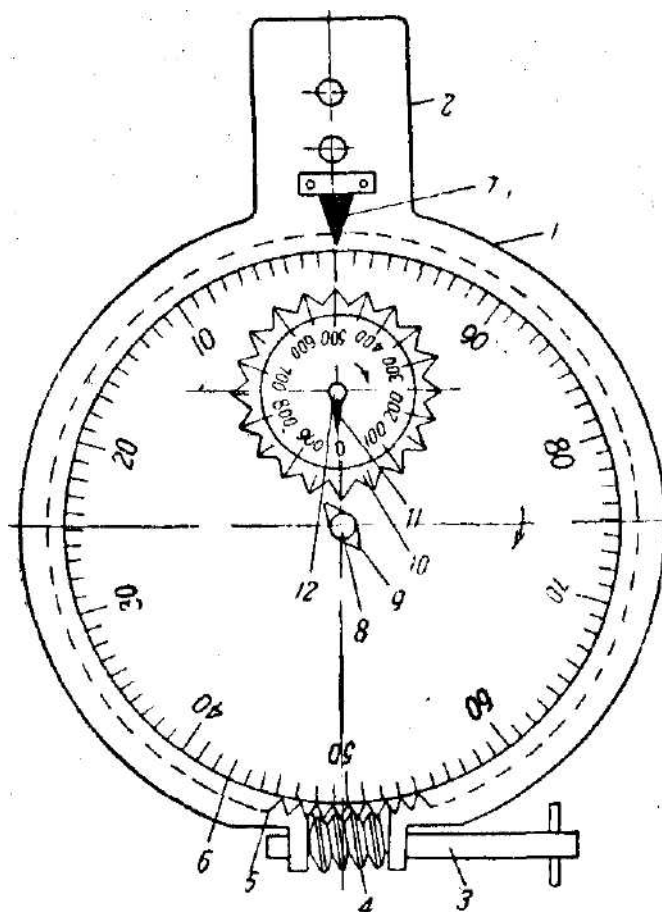


Рис. 76. Счетчик червячного типа: 1 — корпус счетчика; 2 — выступ для крепления; 3 — валик червяка; 4 — червяк; 5 — червячная шестерня; 6 — циферблат; 7 — стрелка большого круга; 8, 9 — неподвижная ось с двумя зубцами; 10 — шестеренка-лимб; 11 — неподвижная стрелка; 12 — ось малой шестерни.

При одном обороте червяка большая шестерня смещается на одно деление. Движущая вместе с большой малая шестерня входит в зацепление с неподвижными зубцами большой шестерни и поворачивается относительно своей оси на $1/20$ длины окружности.

За один полный оборот большой шестерни, малая перемещается на $1/100$ длины окружности. Таким образом, на малой шестерне отсчитываются сотни, а на большой — единицы и десятки метров.

Часто применяется червячный счетчик другого типа. От червяка приводятся две червячных шестерни в 100 и 99 зубьев. Шестерни вращаются на общей неподвижной оси. С шестернями связаны стрелки подобно стрелкам часов. Поверх шестерен неподвижно закрепляется диск со шкалой в 100 делений. При 100 оборотах червяка шестерня, имеющая 99 делений (малая), связанная с малой стрелкой, отстает от шестерни, имеющей 100 зубьев (связанной с большой стрелкой) на одно деление циферблата. Таким образом, число сотен метров равно числу делений, помещающихся в створе между стрелками, а число единиц и десятков метров отсчитывается большой стрелкой от нулевого положения. Эти счетчики надежны в работе, но при пользовании ими часто возникают недоразумения в следствии неправильности съема показаний.

Для переключения червячных счетчиков в исходное положение, освобождается барашек на оси циферблатов, шестерни выводятся из сцепления с червяком и устанавливаются в нулевое положение.

На рис.77 показан счетчик более совершенной конструкции, описанной выше. Валик 1 присоединен к шкиву, катящемуся по канату и имеющему длину окружности в 1 м.

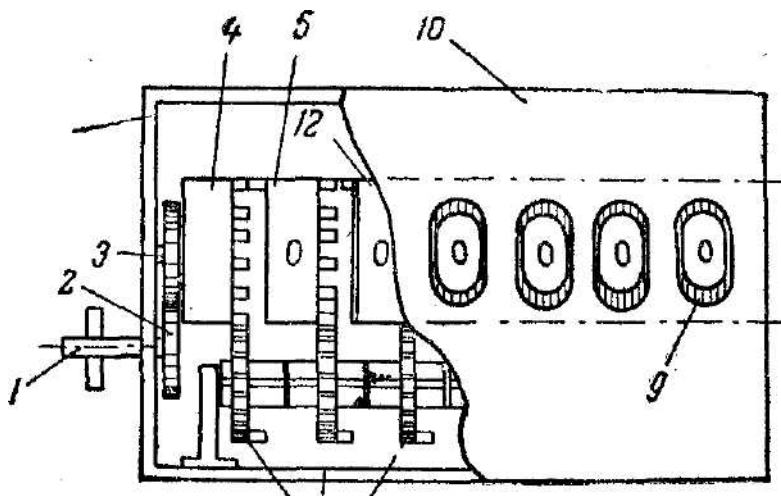


Рис. 77. Счетчик автомобильного типа

Валик шестеренной передачи 2, 3 вращает с тем же числом оборотов диск 4, свободно сидящий на оси. На торцевой поверхности диска выбиты десять цифр от 1 до 0. За один оборот шкива диск также сделает один оборот и последовательно показывает в смотровом окне 9 цифры от 1 до 0, соответствующие протяженности в дециметрах. Диск 4 вращает шестерню 6, свободно сидящую на оси. Число зубцов шестерни и диска равно 10. Десятый зуб шестерни 6 имеет удвоенную длину и после полного оборота шестерни входит в зацепление с зубцом диска 5, расположенным на обратной стороне диска. Диск 5 поворачивается на $1/10$ оборота и в смотровом окне 9 появляется цифра, соответствующая числу единиц метров. Через 10 оборотов диска 5 сцепленная с ним шестерня 7 удлиненным зубцом войдет в зацепление с зубцом на обратной стороне диска 12. Диск 12 поворачивается на $1/10$ оборота и в его смотровом окне появляется цифра, соответствующая числу десятков метров и т. д.

Описанные счетчики являются, по существу, счетчиками числа оборотов. Чтобы показания счетчика соответствовали числу метров, к валику счетчика прикрепляют шкивок с длиной окружности равной 1 м. Шкивок устанавливают сверху, ободом на движущуюся прядь.

Вследствие трения обода о прядь, шкивок вращается и приводит в действие счетчик. При жесткой связи с тяговым колесом канатных машин счетчики дают более точные показания. В этих случаях приходится вводить дополнительную цилиндрическую передачу, чтобы одно деление счетчика соответствовало длине пряди (каната), равной 1

5.3. Измерение длины каната методом магнитной метки

Используется принцип работы магнитофона. Имеются две головки: записывающая и считывающая. Они размещены за вытяжным валом канатной машины на расстоянии один метр друг от друга. В момент пуска машины записывающая головка наносит магнитный импульс на канат. Этот импульс

считывается считывающей головкой при прохождении одного метра, одновременно идет на электронный счетчик и дает команду на запись следующего импульса и процесс повторяется.

ГЛАВА 6. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРУБНЫХ АГРЕГАТОВ

6.1. Общие сведения об агрегатах для производства труб и их автоматизации

В зависимости от способа изготовления различают трубы бесшовные и сварные. *Трубопрокатные агрегаты*

подавляющее большинство бесшовных углеродистых, низколегированных и нержавеющих труб изготавливают горячей прокаткой. Для производства горячекатаных труб наибольшее распространение получили трубопрокатные агрегаты (ТПА) с автоматическим станом, с трехвалковым раскатным станом, с пилигримовым станом и с непрерывным станом.

Непосредственно с ТПА получают трубы диаметром от 60 до 600 мм с толщиной стенки от 3 до 100 мм для получения труб диаметром от 600 до 1000 мм агрегаты с пилигримовым и автоматическим станами дополняют станами-расширителями. Включение в состав ТПА редуцированных станом, работающих с натяжением, позволяет уменьшить диаметр прокатываемых труб до 16 мм и толщину стенки до 1,7 мм.

Схема производства горячекатаных труб в общем виде состоит из следующих основных операций: подготовка металла к прокатке, нагрев заготовки, получение полой гильзы, раската гильзы в трубу, калибровка или редуцирование и отделка. Главной отличительной особенностью любого способа производства горячекатаных труб является способ раскатки гильзы в трубу, от которой и получает свое наименование.

Для автоматизации трубопрокатного агрегата целесообразно создание трехуровневой АСУ ТП, состоящей из центральной и зональных УВМ и локальных систем управления. Агрегат разбивают на три зоны управления: 1) зона нагревательной печи; 2) зона прошивного и раскатного станом; 3) зона калибровочных станом.

Поэтому основные управляющие функции АСУ ТП агрегата по характеру можно подразделить следующим образом 1) расчет настройки и настройка агрегата; 2) управление темпом прокатки 3) расчет подстройки и подстройка агрегата; 4) управление процессом прокатки отдельной трубы.

Основными локальными системами управления устройствами зон станом являются: 1) системы управления скоростью вращения валков прошивного, раскатного и калибровочного станом; 2.) системы управления положением валков прошивного, раскатного и калибровочного станом; 3) системы управления центрователем и устройствами для транспортировки гильз, труб и оправок в зонах; 4) системы управления показателями тепловой работы подогревательной печи.

Локальные системы управления технологическими переменными зон станом включают: 1) систему регулирования толщины стенки трубы на выходе из раскатного стана; 2) систему регулирования Диаметра трубы на выходе из калибровочного стана; 3) систему регулирования показателей теплового состояния труб на выходе из подогревательной печи.

Показатели геометрии труб норма поперечного сечения реальной круглой трубы отличается от кругового кольца

Наиболее широко в качестве показателей геометрии поперечного сечения трубы используют средний наружный диаметр, среднюю толщину стенки, овальность, огранку и разностенность сечения.

Средний наружный диаметр и толщину стенки сечения в зависимости от целей измерения определяют как среднее интегральное значение соответствующей функции или среднее арифметическое двух, четырех или большего числа ее значений, равномерно распределенных по сечению трубы. Овальностью называют максимальную полуразность наружных диаметров, расположенных в поперечном сечении трубы под прямым углом друг к другу. Разностенностью сечения, или поперечной разностенностью называют разность максимального и минимального значения толщины стенки трубы в сечении. -

В дальнейшем под B и δ будем понимать средний наружный диаметр и среднюю толщину стенки поперечного сечения трубы. Принципы управления показателями геометрии труб на трубопрокатных агрегатах

Принципы управления диаметром и толщиной стенки труб, прокатываемых на ТПА, рассмотрим на примере агрегата с трехвалковым раскатным станом

6.2. Системы автоматического управления трубными агрегатами

Системы автоматического регулирования толщины стенки и диаметра труб на трубопрокатном агрегате с трехвалковым раскатным станом.

Функциональная схема комплекса систем регулирования толщины стенки и диаметра труб на трубопрокатном агрегате с трехвалковым раскатным станом показана на рис. 78. Агрегат включает кольцевую нагревательную печь H , прошивной стан $ПС$, раскатной стан $РС$, подогревательную печь $П$ и калибровочный стан $КС$. Системы предназначены для поддержания заданных значений толщины стенки и диаметра труб на выходе из агрегата. Регулирование толщины стенки на выходе из агрегата обеспечивается регулированием толщины стенки на выходе из раскатного стана перемещением его верхнего валка. Диаметр трубы на выходе из агрегата регулируют перемещением верхнего валка калибровочного стана.

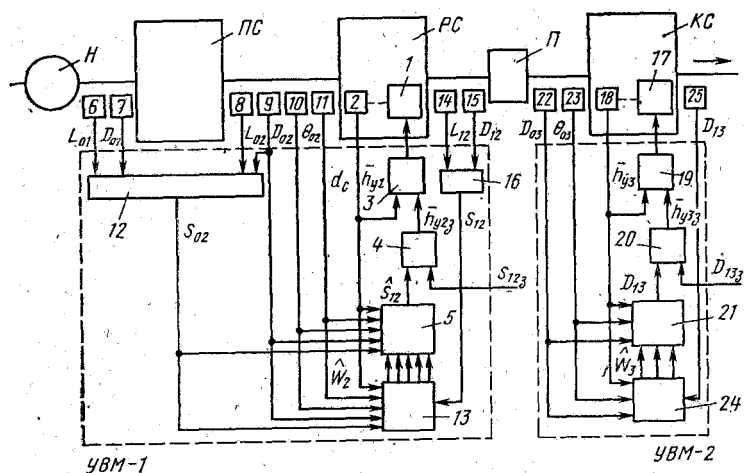


Рис. 78. Функциональная схема комплекса систем автоматического регулирования толщины стенки и диаметра труб на трубопрокатном агрегате с трехвалковым раскатным станом

Система автоматического регулирования толщины стенки трубы (САРТС) работает следующим образом.

Устройство установки верхнего валка 1, измеритель положения верхнего валка 2 и функциональный элемент 3 образуют систему управления положением верхнего

валка раскатного стана. Задание этой системе вырабатывается функциональным элементом 4 в функции отклонения расчетного значения средней толщины стенки трубы на выходе из раскатного стана от заданного.

Система регулирования толщины стенки по возмущению, элемент адаптации 13 и косвенный измеритель толщины стенки 14—16 образуют адаптивную систему регулирования толщины стенки трубы на выходе из раскатного стана.

Функциональные элементы 3—5, 12, 13, 16 реализованы на основе управляющей вычислительной машины зоны раскатного стана (УВМ-1).

Система автоматического регулирования диаметра трубы (САРД) работает следующим образом.

Устройство установки верхнего валка 17, измеритель положения валка 18 и функциональный элемент 19 образуют систему управления положением верхнего валка калибровочного стана. Задание этой системе вырабатывается элементом 20 в функции отклонения расчетного значения среднего диаметра трубы на выходе из калибровочного стана от заданного.

Система регулирования диаметра по возмущению, элемент адаптации 24 и измеритель диаметра трубы 25 образуют адаптивную систему регулирования диаметра трубы на выходе из калибровочного стана [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глинков Г. М., Климовицкий М. Д. Теоретические основы автоматического управления металлургическими процессами: учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1985. 304с.
2. Ключев А.С. , Автоматическое регулирование: Учеб. для сред. спец. учеб. заведений. – М.: Высш.шк., 1986. – 351 с.: ил.
3. Каюков А.А. Автоматическое управление: Учеб. пособие. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – с.68.
4. Автоматизация прокатного производства. Выдрин В.Н., Федосиенко А.С. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1984. 472с.
5. Кирюшин О.В. Управление техническими системами: курс лекций. –Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – 116 с.

Учебное текстовое электронное издание

Губанов Владимир Иванович

**БАЗОВЫЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОМД»**

Учебное пособие

1,45 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2015 год

ФГБОУ ВПО «МГТУ»

Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

Кафедра общеобразовательных дисциплин

Центр электронных образовательных ресурсов и
дистанционных образовательных технологий

e-mail: ceor_dot@mail.ru