

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра основ научных исследований и проектирования

В. В. Маркевич, В. В. Носко

СРЕДСТВА АВТОМАТИКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию
в качестве учебно-методического комплекса для студентов
учреждений высшего образования по группе специальностей
74 06 Агроинженерия и специальности 1-36 12 01
Проектирование и производство сельскохозяйственной техники*

Минск
БГАТУ
2014

УДК 631.3-52(07)
ББК 40.72я7
М27

Рецензенты:

кафедра технического обеспечения производства
и переработки продукции животноводства
УО «Гродненский государственный аграрный университет»;
заместитель директора ГП «Институт энергетики НАН Беларуси»,
доктор физико-математических наук *В. П. Колос*

Маркевич, В. В.
М27 Средства автоматики сельскохозяйственной техники : учеб.-метод.
комплекс / В. В. Маркевич, В. В. Носко. – Минск : БГАТУ, 2014. –
284 с.
ISBN 978-985-519-684-7.

Учебно-методический комплекс освещает вопросы теории автоматического управления, средств автоматики и автоматизации технологических процессов дисциплины «Средства автоматики сельскохозяйственной техники». Рассмотрены вопросы практического применения различных автоматических устройств и систем в сельскохозяйственном производстве. Приведены материалы к лабораторным работам и управляемой самостоятельной работе студентов, разноуровневые задания для контроля знаний.

Для студентов, магистрантов, аспирантов инженерного профиля.

ISBN 978-985-519-684-7

УДК 631.3-52(07)
ББК 40.72я7

© БГАТУ, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

МОДУЛЬ 0	5
МОДУЛЬ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИКИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИКИ	9
Научно-теоретическое содержание модуля.....	9
Лекция 1. Понятие об автоматическом регулировании.	
Основны́е определе́ния.....	11
Лекция 2. Принципы автоматического регулирования.....	22
Лекция 3. Основные положения теории автоматического управления.....	34
Лекция 4. Автоматические регуляторы, их выбор и настройка.....	68
Лекция 5. Общие сведения о приборах и средствах автоматизации.....	80
Лекция 6. Первичные измерительные преобразователи (датчики).....	90
Лекция 7. Преобразующие, усилительные и исполнительные элементы систем автоматики.....	129
Материалы к лабораторным работам.....	148
Материалы к управляемой самостоятельной работе студентов по теме «Определение устойчивости автоматической системы регулирования».....	151
Разноуровневые задания для контроля знаний по модулю 1.....	164
МОДУЛЬ 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	186
Научно-теоретическое содержание модуля.....	186
Лекция 8. Автоматизация мобильных машин и агрегатов.....	187

Лекция 9. Автоматизация послеуборочной обработки и хранения сельско-хозяйственной продукции.....	222
Лекция 10. Автоматизация животноводства и птицеводства.....	231
Лекция 11. Автоматизация в сооружениях защищенного грунта.....	250
Материалы к лабораторным работам.....	261
Материалы к управляемой самостоятельной работе студентов по теме «Разработка схемы автоматизации технологического процесса».....	264
Приложения.....	278

МОДУЛЬ 0

Автоматизация технологических процессов является важнейшим направлением развития современного сельскохозяйственного производства. Внедрение современных средств автоматизации, повышение эффективности их использования возможно лишь с участием высококвалифицированного персонала, эксплуатирующего автоматические системы управления, владеющего технической базой автоматизации, основами разработки и проектирования автоматических и автоматизированных систем управления технологическими процессами и техническими средствами, особенностями комплексной механизации сельскохозяйственной техники. «Средства автоматики сельскохозяйственной техники» является специальной дисциплиной. В соответствии со своим местом в учебном процессе она формирует базу знаний, обеспечивающих решение задач по разработке, внедрению, освоению и эксплуатации систем автоматического управления сельскохозяйственной техники. Дисциплина дает познания в решении задач по автоматизации сельскохозяйственной техники с применением современных технических средств управления, регулирования и контроля.

Цель дисциплины: формирование у студентов системы теоретических знаний, умений и профессиональных компетенций по устройству и принципу действия средств автоматики систем регулирования, контроля и управления сельскохозяйственной техникой, основными технологическими процессами сельскохозяйственного производства, а также развитие навыков принятия оптимальных решений по автоматизации основных технологических процессов сельскохозяйственного производства.

Задачи дисциплины:

- ознакомление с состоянием, основными понятиями, определениями автоматизации сельскохозяйственной техники;
- изучение технологической структуры сельскохозяйственного производства и классификации технологических процессов;
- изучение устройства и принципа действия автоматических систем регулирования, управления и контроля основных технологических процессов сельскохозяйственного производства;

- составление алгоритма функционирования автоматических систем и выбора автоматических устройств;

- освоение методов схемной реализации устройств управления, контроля и сигнализации технологических процессов.

Подготовка специалиста в рамках дисциплины «Средства автоматики сельскохозяйственной техники» должна обеспечить формирование следующих компетенций:

академических, включающих:

- владение базовыми научно-теоретическими знаниями и умение применять их для решения теоретических и практических задач в области проектирования, монтажа, наладки, ремонта, технического обслуживания систем автоматического и автоматизированного управления технологическими процессами и производствами сельскохозяйственного назначения;

- владение методами научного познания, системным и сравнительным анализом;

- владение современными методами поиска, обработки и использования информации;

- повышение квалификации;

социально-личностных, включающих культурно-ценностные ориентации, знание идеологических, нравственных ценностей общества и государства и умение следовать им;

профессиональных, включающих:

- умение решать задачи автоматизации действующих и создавать автоматизированные технологии, внедрять их в производство;

- способность разрабатывать схемы и системы автоматизированного и автоматического управления сельскохозяйственной техникой и производственными сельскохозяйственными объектами;

- способность взаимодействовать со специалистами смежных профилей;

- способность разрабатывать мероприятия по энергосбережению и организовывать их выполнение;

- умение на основе анализа показателей режимов и технического состояния автоматических систем выявлять причины не оптимальности технологических процессов производства сельскохозяйственной продукции и разрабатывать пути их устранения;

- способность выявлять проблемы в эксплуатации действующих типов сельскохозяйственной техники и находить пути их устранения;

обосновывать возможные варианты технического решения, проводить оценку конкурентоспособности и экономической эффективности разрабатываемых систем автоматизации, реализации технического решения на базе современных технических средств управления, регулирования и контроля.

В результате изучения дисциплины студент должен **знать**:

- состояние, уровень и перспективы развития средств автоматизации сельскохозяйственной техники;
- устройство, принцип работы, основные характеристики и принципы выбора средств автоматизации;
- устройство и принцип действия автоматических систем контроля, регулирования и управления основными технологическими процессами сельскохозяйственного производства;
- возможности использования микропроцессорной техники при автоматизации сельскохозяйственной техники;

уметь:

- квалифицированно составлять задание на разработку автоматической системы;
- обосновать закон управления и выбрать тип автоматического регулятора;
- осуществлять технические решения автоматизации основных типов сельскохозяйственной техники;
- монтировать и настраивать системы автоматизации на оптимальный (качественный) режим работы;
- определять экономическую эффективность автоматизации.

Структура учебно-методического комплекса основана на учебной модульно-рейтинговой программе, разработанной кафедрой «Основ научных исследований и проектирования» БГАТУ. Учебно-методический комплекс состоит из двух самостоятельных модулей: «Теоретические основы автоматизации, технические средства автоматизации», «Автоматизация технологических процессов». В каждом из модулей приведен тематический план, теоретический материал, материалы для лабораторных работ и самостоятельной работы студентов. Излагаемый материал каждого модуля заканчивается разноуровневыми заданиями, которые должны выполнить студенты при контроле знаний по модулю.

Учебная программа предусматривает изучение дисциплины согласно тематическому плану, представленному ниже.

Тематический план

Номер и наименование модуля	Нагрузка на модуль, ч	Лекции, ч	Лабораторные работы, ч	УСРС, ч
М-1 Теоретические основы автоматизации, технические средства автоматизации	34	16	18	6
М-2 Автоматизация технологических процессов	34	18	16	8

МОДУЛЬ 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИКИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИКИ

В результате изучения модуля студент должен *знать*:

- состояние, уровень и перспективы развития средств автоматизации сельскохозяйственной техники;
- устройство, принцип работы, основные характеристики и принципы выбора средств автоматизации;
- устройство и принцип действия автоматических систем контроля, регулирования и управления основными технологическими процессами сельскохозяйственного производства;

уметь:

- квалифицированно составить задание на разработку автоматической системы;
- обосновать закон управления и выбрать тип автоматического регулятора;
- осуществлять технические решения автоматизации основных типов сельскохозяйственной техники.

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ

Словарь основных понятий

Автоматизация – область науки и техники, связанная с применением технических средств, математических методов, систем контроля и управления, освобождающих человека частично или полностью от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, продуктов или информации.

Автоматизация технологических процессов (АТП) – этап комплексной механизации, характеризующийся освобождением человека от непосредственного выполнения функций управления технологическими процессами и передачей этих функций автоматическим устройствам.

Автоматизированные системы управления производством (САУ) – человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации и управления в различных сферах, главным образом в организационно-экономической деятельности человека, например, управление хозяйственно-плановой деятельностью отрасли, предприятия, комплекса, территориального региона.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами – человеко-машинная система, предназначенная для контроля режимов работы, сбора и обработки информации о протекании технологических процессов локальных производств.

Возмущающее воздействие – образовавшиеся в результате естественного функционирования технологического процесса однородные потоки вещества или энергии, непосредственно влияющие на состояние управляемой величины.

Инженер по автоматизации – специалист, обладающий компетентностью в области проектирования и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств.

Информационные параметры – физические величины, представляющие собой определенное пространственное распределение последовательных серий импульсов на одной или нескольких параллельных линиях, распределение точек изображения на плоскости и т. д.

Объект автоматизации – устройство или совокупность устройств (и биологических объектов), которые непосредственно осуществляют технологический процесс, нуждающийся в оказании специально организованных воздействий извне для выполнения его алгоритма.

Производственный процесс – совокупность технологических процессов, направленных на создание конечного продукта.

Система автоматизированного управления – комплекс устройств, обеспечивающих изменение ряда координат объекта управления с целью установления желаемого режима работы объекта.

Система автоматического регулирования – совокупность регулятора и объекта управления.

Схема автоматизации – основной технический документ, определяющий функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации.

ЛЕКЦИЯ 1. ПОНЯТИЕ ОБ АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

План лекции

1. Краткий исторический очерк развития автоматики.
2. Основные понятия автоматики.
3. Схемы автоматики.
4. Обратные связи. Назначение и классификация.

1. Краткий исторический очерк развития автоматики

Автоматизация технологических процессов – этап комплексной механизации, характеризуемый освобождением человека от непосредственного выполнения функций управления технологическими процессами (ТП) и передачей этих функций автоматическим устройствам. При автоматизации ТП получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации выполняются автоматически при помощи специальных технических средств и систем управления.

Первые автоматические устройства появились в глубокой древности и остались лишь как эпизоды в истории развития техники. Развитие автоматических устройств началось на рубеже XIII–XIX вв. в эпоху промышленного переворота. Первыми промышленными системами автоматического регулирования этого периода являются поплавковый регулятор уровня воды в котле паровой машины, построенной И. И. Ползуновым в 1765 г., и центробежный регулятор скорости паровой машины Дж. Уатта (1784 г.). Во второй половине XIX в. появились первые теоретические работы по автоматике: работа Д. К. Максвелла «О регуляторах» (1866 г.), работа И. А. Вышнеградского «Об общей теории регуляторов» (1876 г.) и «О регуляторах прямого действия» (1877 г.). В этот период автоматика рассматривалась в рамках прикладной механики. И. А. Вышнеградский впервые обратил внимание на то, что объект и автоматическое устройство необходимо рассматривать как единую динамическую систему. Автоматика как наука сложилась к 40-м гг. XX в. Большой вклад в развитие автоматики внесли ученые А. В. Михайлов, И. Н. Вознесенский, А. А. Воронов, В. С. Кулебакин, Б. И. Петров, А. А. Красовский, Е. П. Попов,

А. А. Фельдбаум, Г. В. Шипанов и многие другие. Внедрение средств автоматизации стало возможным только после осуществления комплексной механизации и электрификации сельскохозяйственного производства. Реформирование сельского хозяйства на частную собственность и фермерские хозяйства придает особую роль и значение автоматизации ТП, позволяет выполнять отдельные операции в хозяйстве без непосредственного участия хозяина. Зарубежный опыт фермеров подтвердил, что при индивидуальном ведении хозяйства весьма важно использование принципиально новых САУ с применением управляющих микроЭВМ.

При автоматизации сельскохозяйственного производства не всегда применим опыт, приобретенный при решении аналогичных вопросов в промышленности. Объясняется это некоторыми особенностями сельского хозяйства, основные среди которых заключаются в следующем.

Во-первых, характер производства на селе – циклический, связанный с естественными биологическими периодами функционирования и развития животных, птицы, растений. Следовательно, и основные ТП прерывисты и перестроить их в непрерывные не всегда удастся. А между тем известно, что производства, непрерывные во времени, автоматизировать легче.

Во-вторых, поскольку основные ТП сельскохозяйственного производства тесно связаны с биологическими, то прервать их даже временно нельзя, так как сбой с естественного ритма приводят не только к недополучению продукции, но и порче живых объектов (животных, птицы, растений), снижению их продуктивности, а иногда и гибели.

В-третьих, как правило, нельзя увеличить выход продукции, уменьшив время и число циклов ТП. Этого можно добиться главным образом за счет улучшения культуры сельскохозяйственного производства.

2. Основные понятия автоматики

Для того чтобы машина могла выполнять необходимые операции в ТП, ей нужно управлять, то есть осуществлять пуск, остановку, изменять режим работы, положение рабочих органов и выполнять другие операции управления и контроля путем воздействия на

органы управления машины, механизма. Если управление осуществляется человеком, оно называется ручным, если техническим средством – автоматическим.

Для осуществления автоматического управления техническим процессом создается система, включающая управляемый объект (ОУ) 2 и управляющее устройство (АУУ) 1, или автоматический регулятор (рис. 1.1), состоящий из средств автоматики и телемеханики.

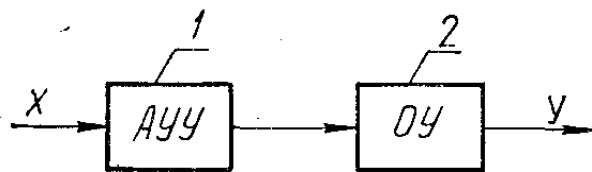


Рис. 1.1. Условное обозначение системы автоматики

Автоматическое управление – это осуществление совокупности воздействий, выбранных из множества возможных (на основании определенной информации) и направленных на поддержание или улучшение функционирования управляемого объекта в соответствии с целью его управления. Оно охватывает вопросы адаптации, самонастройки, автоматического выбора наилучших режимов и т. п.

Автоматическое регулирование – это поддержание постоянной или изменение по заданному закону некоторой выходной величины, характеризующей процесс.

Автоматический контроль – это контроль различных параметров, величин в объекте с целью установить, не вышли ли они за допустимые границы.

Возмущающие и задающие воздействия делятся на внешние и внутренние. Внешнее – это воздействие на автоматическую систему внешней среды или устройств, не являющихся частью этой системы. Внутреннее – это воздействие одной части системы на другую.

Для каждого объекта управления и автоматического управляющего устройства составляются алгоритм функционирования и алгоритм управления.

Алгоритм функционирования – это совокупность предписаний, правил или математических зависимостей, определяющих правильное выполнение технологического процесса в каком-либо устройстве. Он составляется на основании технологических, экономических и других требований без учета динамических искажений.

Алгоритм управления – это совокупность предписаний, определяющих характер управляющих воздействий на объект с целью осуществления им заданного алгоритма функционирования с учетом динамических свойств системы.

В общем виде элемент автоматики (рис. 1.2, а) представляет собой преобразователь, на вход которого подается сигнал (энергия) x , а на выходе возникает сигнал (энергия) y . Если возникает необходимость, чтобы энергия y была больше, чем энергия x на входе, в элемент вводится вспомогательный источник энергии (рис. 1.2, б), за счет которого осуществляется усиление сигнала x .

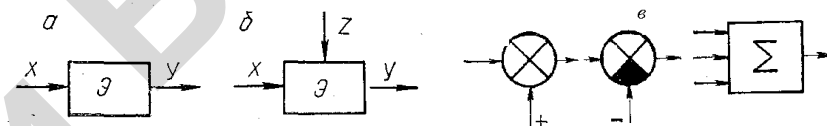


Рис. 1.2. Условное обозначение элементов автоматики

Величины x и y могут быть электрическими (напряжение, ток, сопротивление), механическими (перемещение, скорость и др.), пневматическими и гидравлическими (давление, расход и др.). В САУ используется большое число элементов, отличающихся друг от друга физической природой и конструкцией, принципом действия, схемой включения и т. д. Они имеют универсальное назначение или входят в унифицированные системы, такие как государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП), универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА), унифицированная система пневматических и электрических датчиков теплоэнергетических параметров и др. Каждый элемент автоматики выполняет определенную функцию.

3. Схемы автоматики

Схема – это документ, поясняющий принцип действия и взаимодействие различных элементов, устройств или системы в целом.

Для изображения автоматических систем применяют принципиальные, функциональные и структурные схемы.

Принципиальная схема – позволяет визуально определить наличие, расположение, степень значимости различных элементов автоматической системы.

Функциональная схема (рис. 1.3) – это совокупность функциональных элементов, связанных между собой определенным образом. Функциональные элементы на схемах обозначают прямоугольниками, внутри которых указывается наименование в соответствии с выполняемыми функциями. Связи между функциональными элементами обозначаются стрелками по направлению прохождения сигнала.

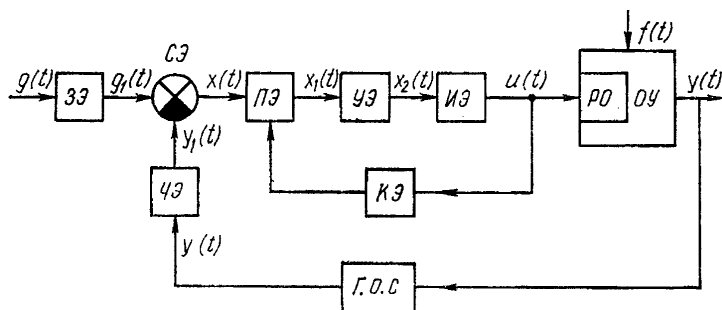


Рис. 1.3. Обобщенная функциональная схема

Структурная схема (математическая модель процесса управления) – это графическое изображение структуры автоматической системы, когда каждой математической операции преобразования сигнала соответствует определенное звено (иногда ее называют алгоритмической структурной схемой). На структурной схеме элементы автоматической системы изображаются в виде прямоугольников, внутри которых записываются соответствующие математические операции, или передаточные функции.

Обобщенная функциональная схема. Представим наиболее общий случай построения систем автоматического управления, содержащий максимум элементов (рис. 1.3), где ЗЭ – задающий элемент, СЭ – сравнивающий элемент, ЧЭ – измерительный (чувствительный) элемент, ПЭ – преобразующий элемент, УЭ – усилительный элемент, ИЭ – исполнительный элемент, ОУ – объект управления, КЭ – местная обратная связь, ГОС – главная обратная связь.

Чувствительный элемент, или измерительное устройство, измеряет действительное значение управляемой величины $y(t)$ и преобразует его в однозначно соответствующую величину $y_1(t)$, удобную для сравнения с задающей величиной $g_1(t)$. Если чувствительный элемент создает электрический или пневматический сигнал, то его

называют *датчиком*. В ГСП датчиком называют элемент, который выдает унифицированный сигнал.

Задающий элемент формирует *задающее воздействие* $g(t)$, которое определяет необходимое значение управляемой величины, и преобразует его в однозначно соответствующую величину $g_1(t)$, удобную для сравнения с величиной $y_1(t)$.

В качестве задающего элемента могут использоваться различные кулачковые механизмы, функциональные потенциометры, перфокарты, магнитные пленки, профильные диаграммы и т. п. Иногда задающий элемент конструктивно объединяется в одно целое с измерительным и сравнивающим элементом.

Сравнивающий элемент в наиболее распространенном виде измеряет разность сигналов (ошибку) $x(t) = g_1(t) - y_1(t)$. В сравнивающем элементе может происходить и суммирование сигналов. Операции алгебраического суммирования на схемах автоматики обозначаются условными знаками (рис. 1.2, в). В качестве сравнивающих элементов могут использоваться потенциометры, механические дифференциалы и сельсинные пары в трансформаторном режиме для сравнения угловых перемещений, устройства на резисторах для сравнения и суммирования электрических напряжений, токов и т. п.

Преобразующий элемент служит для преобразования сигналов в удобный вид и иногда объединяется в одно целое с датчиком или с другим элементом для дальнейшего использования.

Усилительный элемент усиливает сигнал рассогласования $x(t)$ до величины, достаточной для приведения в действие исполнительного элемента. В усилительном элементе происходит увеличение сигнала за счет получения энергии извне. В системах автоматического управления чаще всего используются электрические (электронные, релейные, электромагнитные, магнитные, полупроводниковые и др.), гидравлические и пневматические усилители. Последние имеют высокие коэффициенты усиления по мощности и выполняют одновременно роль исполнительных элементов (серводвигателей, сервомеханизмов).

Исполнительный элемент вырабатывает и подает на регулирующий орган объекта управления управляющее воздействие $u(t)$. По виду используемой энергии исполнительные элементы разделяют на электрические (электродвигатели постоянного и переменного тока, однооборотные электрические исполнительные механизмы и др.), гидравлические и пневматические (серводвигатели, характери-

зующиеся большими усилиями, быстродействием и высокой точностью).

Объекты управления – это различные технические устройства, энергетические и силовые установки, транспортные средства, отдельные механизмы устройств и т. д.

Корректирующий элемент, или местная обратная связь, – это специальные устройства, вводимые в систему для улучшения качества управления.

Главная обратная связь – это связь между выходом системы и входом, образующая замкнутый контур управления.

На объект управления кроме управляющих входных воздействий $u(t)$ влияют и различные внешние возмущающие воздействия $f(t)$, или возмущения (рис. 1.3), вызывающие изменения управляемой, или регулируемой, величины $y(t)$ (выходная величина).

Изменения во времени входных воздействий и выходных величин характеризуют состояние объекта. Для борьбы с возмущениями объект снабжается регулирующим органом (РО), воздействуя на который вручную или автоматически, можно изменять управляемую величину, компенсируя нежелательные изменения, вызванные влиянием возмущений.

Следовательно, основная задача автоматического управления заключается в формировании такого закона изменения управляющих входных воздействий $u(t)$, при котором желаемое поведение объекта достигается независимо от изменения поступающих на него возмущений $f(t)$.

Основная же задача регулирования состоит в том, чтобы одну или несколько регулируемых величин $y(t)$ сделать равными задающим (эталонным) воздействиям $g(t)$, т. е. $y(t) = g(t)$ во все моменты времени работы системы с заданной точностью.

4. Обратные связи. Назначение и классификация

Обратная связь образуется, когда выходной сигнал или его часть подается на вход элемента или системы. По конструктивному исполнению связи могут быть механическими, электрическими, пневматическими, гидравлическими и т. д.

По расположению в структурной схеме САУ обратные связи подразделяются на внешние и внутренние.

Внешние обратные связи охватывают обычно все звенья, а внутренние – одно или ряд звеньев, входящих в систему. *Внутренние обратные связи* позволяют превращать один вид звена в другой, вводить новые звенья, изменять их параметры, не нарушая структурной схемы САУ, и т. д. Обратные связи повышают точность работы системы и улучшают ее динамические свойства.

Исходя из величины обратной связи по отношению к значению прямой цепи обратные связи подразделяются на единичные ($k_{oc} = 1$) и неединичные. Неединичные связи применяются для уменьшения ошибки в работе замкнутой САУ.

Различают главные и местные (корректирующие) обратные связи.

Главная обратная связь – это связь выхода системы (объекта) с входом системы (объекта).

Местная обратная связь – это связь между выходом элемента и его входом или между выходом и входом нескольких элементов, входящих в систему. Местные связи обычно служат для улучшения основного процесса работы системы, повышения устойчивости и точности, уменьшения ошибок и запаздываний и т. п.

Величина k_{oc} (рис. 1.4), показывающая какая часть выходного сигнала $y(t)$ снова поступает на вход в виде сигнала обратной связи $y_{oc}(t)$, называется *коэффициентом обратной связи*:

$$k_{oc} = y_{oc} / y$$

Обратные связи делятся на положительные и отрицательные, гибкие и жесткие. Положительной называется такая связь, сигнал которой складывается с входным сигналом:

$$x(t) = g(t) + y_{oc}(t).$$

Отрицательной связь называется, когда ее сигнал вычитается из входного сигнала:

$$x(t) = g(t) - y_{oc}(t).$$

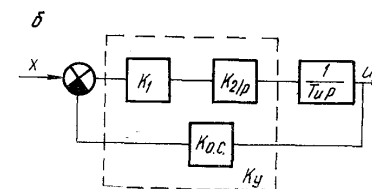


Рис. 1.4. Условное обозначение обратной связи автоматики

Жесткая обратная связь передает сигналы как в установившихся, так и в переходных режимах. На рис. 1.5, а показана жесткая пневматическая обратная связь.

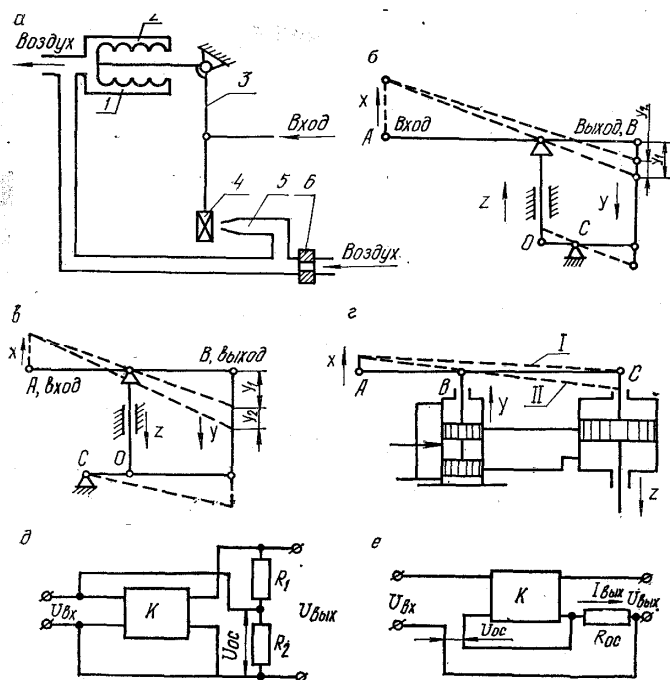


Рис. 1.5. Пример обратных связей автоматики

При перемещении заслонки 4 под воздействием отклонения управляемой (регулируемой) величины, скорость истечения воздуха из сопла 5 изменится, что приведет в свою очередь к изменению давления воздуха за дроссельным устройством 6 и в сильфонной камере 1. Изменение длины сильфона 2 приведет к перемещению заслонки 4 с помощью рычага 3 в сторону, противоположную воздействию входной величины, и изменению давления за дросселем 6.

На рис. 1, б, в показана жесткая механическая обратная связь. Основная цепь воздействий имеет направление от точки А к точке В, положение которой однозначно определяется координатой точки А (жесткая связь). При перемещении точки А вверх на расстояние x точка В сместится за счет основной связи на величину y_1 ; при этом

из-за дополнительной связи шарнир 0, который жестко связан с точкой В, перемещается на величину z и будет возвращать точку В вверх на величину y_2 (отрицательное перемещение). Следовательно, результирующее перемещение точки В вниз составит $y = y_1 - y_2$, т. е. имеем отрицательную обратную связь.

На рис. 1.5, в представлена положительная обратная связь, так как результирующее перемещение точки В складывается из перемещений y_1 от действия прямой цепи и перемещения y_2 от действия обратной связи.

На рис. 1.5, г показан гидравлический поршневой серводвигатель с отрицательной жесткой связью, которая осуществляется установкой опоры рычага АС в точке С на штоке поршня (первый момент движения).

Перемещение точки А вызывает движение и перемещает шарнир В вверх. Шарнир С в первый момент неподвижен (положение I), затем при опускании поршня точка С смещается вниз (положение II) и смещает вниз шарнир В (отрицательное перемещение), т. е. имеем отрицательную жесткую связь.

На рис. 1.5, д, е показана жесткая обратная связь по напряжению и току.

Для рис. 1.5, д:

$$y_{oc} = U_{oc} = k_{oc} U_{вых},$$

где

$$k_{oc} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

В качестве элемента обратной связи используется делитель $R_1 - R_2$. Если сигнал обратной связи и выходной сигнал к входу элемента подключены параллельно, то такая связь называется параллельной.

Для жесткой обратной связи по току (рис. 1.5, е) в качестве элемента обратной связи используется резистор R_{oc} . В этом случае $y_{oc} = U_{oc} = k_{oc} U_{вых}$, где $k_{oc} = R_{oc}$, т. е. имеем так называемую последовательную обратную связь, когда U_{oc} , $U_{вых}$ подключены последовательно.

Гибкая обратная связь (изотропная, или упругая связь) действует только в неустановившемся режиме. В первый момент гибкая связь действует как жесткая, а затем ее воздействие постепенно ослабевает и, наконец, исчезает.

ЛЕКЦИЯ 2. ПРИНЦИПЫ АВТО РЕГУЛИРОВАНИЯ

План лекции

1. Принципы построения САУ.
2. Классификация САУ.

1. Принципы построения

В основе построения САУ лежат три типа управления: разомкнутого управления (регулирование по возмущению и управления по отклонению (по ошибке)).

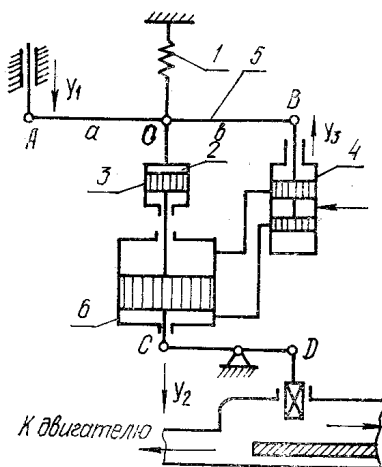
Принцип разомкнутого управления состоит в том, что команды управления вырабатываются только на основе заданного задания функционирования и не контролируются на воздействие возмущениями или выходными координатами системы. Такая схема разомкнутого управления по отклонению (по ошибке) имеет вид:

а

```
graph LR; ZU[ЗУ] -- x --> AUU[АУУ]; AUU -- u --> Out[ ];
```

б

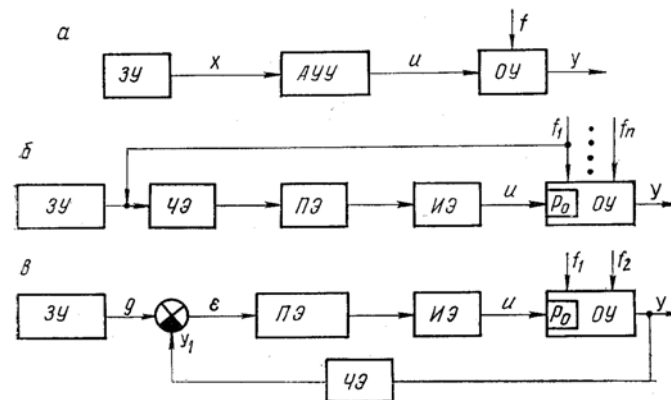
```
graph LR; ZU[ЗУ] --> SU[СУ]; SU --> UU[УУ]; UU --> PZ[ПЗ]; PZ --> I[И]; I --> SU;
```



В первый момент смещения поршня гидроцилиндра 6 цилиндр 2 и поршень 3 с калиброванными отверстиями движутся как одно целое и рычаг AB вначале поворачивается вокруг точки A , осуществляя обратную связь на поршни золотника, растягивая или сжимая пружину 1. В дальнейшем за счет перетекания жидкости в цилиндре 2 пружина 1 возвращает рычаг AB в то положение, которое он занимал до начала движения поршня гидроцилиндра. Поэтому гибкая обратная связь действует только в переходном режиме, причем содействует сохранению астатизма системы.

1. Что представляет собой автоматизация технологических процессов?
2. Назовите основные определения автоматики.
3. Какие существуют схемы автоматики?
4. Приведите обобщенную функциональную схему автоматики.
5. Какие обратные связи используются в автоматике?

Принцип разомкнутого управления состоит в том, что алгоритмы управления вырабатываются только на основе заданного алгоритма функционирования и не контролируются другими факторами – возмущениями или выходными координатами системы. Принципиальная схема разомкнутого управления показана на рис. 1.7, а.



выделяют как один из фундаментальных принципов. На этом принципе построены все системы сигнализации, защиты, контроля, блокировки и т. п.

Ряд устройств, применяемых в автоматике, представляет собой элементы с управлением по разомкнутой цепи (переключатели, реле, логические элементы, некоторые преобразователи, усилители, счетно-решающие элементы, выполняющие операции дифференцирования, интегрирования и т. п.).

Принцип управления по возмущению иногда называют принципом Понселе – Чиколева (по имени французского и русского ученых). Суть его в следующем: для компенсации вредного влияния какого-либо возмущения f необходимо измерить это возмущение и в зависимости от результатов измерения осуществить управляющее воздействие на объект, обеспечивающее изменение управляемой величины по требуемому закону или поддержание ее на заданном уровне.

Для реализации этого принципа в состав САУ должны входить (рис. 1.7, б): чувствительный элемент ЧЭ и исполнительный элемент ИЭ. Между чувствительным и исполнительным элементами могут быть различные промежуточные элементы ПЭ (усилители, преобразователи и т. д.).

Правильно сконструированный регулятор, работающий по этому принципу, обеспечивает независимость (инвариантность) управляемой величины y от воздействия f_i .

Система регулирования давления воздуха в герметизированном отсеке, реализующая этот принцип, приведена на рис. 1.8, а.

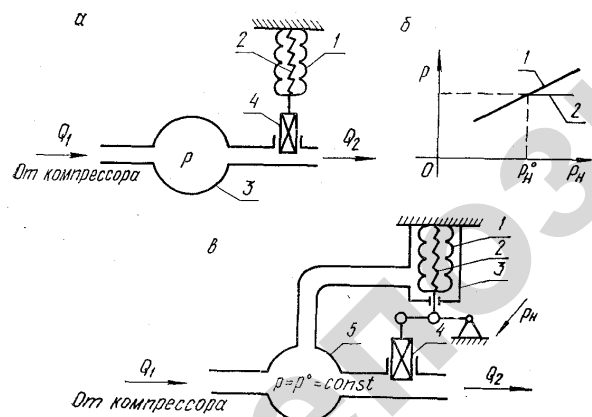


Рис. 1.8. Система регулирования давления воздуха в герметизированном отсеке

Одним из возмущающих воздействий является изменение давления окружающей среды p_n . Зависимость давления p в отсеке 3 от величины p_n (в установившемся режиме) характеризуется кривой 1 (рис. 1.8, б) (все остальные воздействия предполагаются постоянными). Как видно в отсеке без регулятора, требуемое значение давления p^0 имеет место при единственном значении давления внешней среды p_n^0 . Для измерения возмущающего воздействия p_n служит измеритель давления, состоящий из сильфона 1, внутри которого размещена пружина 2. Сильфон представляет собой тонкостенную герметически запаиваемую пустотелую металлическую коробку цилиндрической формы с гофрированными стенками, воздух из которой выкачан до технического вакуума. Деформация сильфона в осевом направлении в первом приближении пропорциональна величине давления p_n . Пружина 2 служит для увеличения упругости сильфона. С днищем сильфона 1 жестко связана регулирующая заслонка 4 в выходном трубопроводе (промежуточные и исполнительные элементы в регуляторе отсутствуют). Допустим, что положение, изображенное на рис. 1.8, а, соответствует номинальному режиму работы, когда $p = p^0$ и все возмущающие воздействия постоянны. При увеличении давления p_n и отсутствии регулятора это привело бы к уменьшению расхода Q_2 и увеличению давления в отсеке. При наличии регулятора увеличение давления p_n приведет к сжатию сильфона и перемещению регулирующей заслонки 4 вверх. В результате расход на выходе Q_2 возрастает и давление в отсеке сохранит прежнее значение p^0 . Однако, если расход воздуха Q_2 будет изменен другими возмущениями, регулятор не обеспечит стабилизацию давления в отсеке.

Принцип управления по отклонению. Как известно, основная задача любой САУ состоит в выполнении равенства $g(t) = y(t)$ с той или иной степенью точности, т. е. при работе САУ возникает ошибка или отклонение $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$. При идеальной работе САУ $\varepsilon(t) = 0$ для всех моментов времени. Для реальных систем при $\varepsilon(t) \neq 0$ задача может заключаться лишь в уменьшении этой ошибки до допустимого значения.

Суть управления по ошибке состоит в том, что тем или иным путем определяется ошибка САУ и в зависимости от величины и знака этой ошибки осуществляется управляющее воздействие, сводящее ошибку к нулю. Этот принцип был впервые разработан и осуществлен русским механиком И. И. Ползуновым в 1765 г. и английским механиком Дж. Уаттом в 1784 г. В общем случае такие системы должны иметь задающий, чувствительный и сравнивающий элементы (рис. 1.7, в).

Преобразующие элементы регулятора включают в себя устройства для преобразования физической природы сигнала ошибки (модуляторы, демодуляторы и др.) и так называемые корректирующие устройства, осуществляющие функциональные преобразования сигнала ошибки (дифференцирование, интегрирование и др.) и предназначенные для придания системе требуемых свойств.

На рис. 1.8, в показана САУ давления в герметизированном отсеке, реализующая этот принцип. В этой системе чувствительный элемент 1 (сильфон) помещен в камеру 3, давление внутри которой равно давлению p в отсеке 5. Сильфон кинематически связан с регулирующим органом 4. При установившемся состоянии ($Q_1 = Q_2$) давление в отсеке $p = const$ и заслонка 4 занимает вполне определенное положение, так как усилие, действующее на сильфон за счет давления газов в камере 3, уравновешено усилием пружины 2. При увеличении давления в отсеке по каким-либо причинам повышается давление и в камере 3. Сильфон, сжимаясь, перемещает заслонку 4 вверх, увеличивая расход Q_2 на выходе, и давление в отсеке снижается. При уменьшении давления картина повторяется в обратной последовательности. Следовательно, в данной системе чувствительный элемент реагирует только на отклонение давления от установленного значения. В этой системе сравнивающий элемент в явном виде отсутствует. Сигнал ошибки $x(t) = p^0 - p(t)$.

Важным преимуществом САУ по ошибке является отсутствие жестких требований к стабильности характеристик элементов регулятора и объекта, существенным недостатком – склонность к колебаниям, что значительно усложняет расчет таких систем. Поэтому сейчас создаются комбинированные системы, использующие оба эти принципа одновременно.

2. Классификация САУ

Существует большое разнообразие САУ, которые классифицируются по различным признакам. По своему назначению различают автоматические системы сигнализации, защиты, пуска, остановки, контроля, регулирования и управления. Рассмотрим классификацию автоматических систем с точки зрения теории автоматического управления:

1) по характеру алгоритма функционирования или в зависимости от целей управления системы регулирования делятся на стабилизирующие, следящие и программные;

2) по наличию дополнительных источников энергии – прямого и непрямого регулирования;

3) по характеру алгоритма управления – с замкнутой и разомкнутой цепью воздействий;

4) по виду управляющих воздействий на объект – непрерывные, дискретные (релейные и импульсные);

5) по математическому описанию – линейные и нелинейные;

6) по характеру передачи сигналов – одноконтурные и многоконтурные;

7) по количеству регулируемых параметров – одно- и многомерные;

8) по виду зависимости между значением регулируемого параметра и величиной внешнего воздействия на объект – статические и астатические;

9) по самоприспособляемости – без самоприспособления и с самоприспособлением.

Стабилизирующие, следящие и программные автоматические системы. Стабилизирующие системы. Автоматическая система управления называется стабилизирующей, если алгоритм ее функционирования содержит предписание поддерживать значение управляемой величины постоянным, т. е. $y(t) = const$.

Пример 1 (рис. 1.9, а). Система автоматического регулирования (САР) уровня воды в котле паровой машины (регулятор И. И. Ползунова).

Управляемым объектом в данной системе является котел 1, в котором необходимо поддерживать уровень воды H (управляемая величина) постоянным, измерительным элементом является поплавок 2, регулирующим органом – заслонка 3, внешним возмущающим воздействием – изменение количества отбора пара из котла Q_2 . Настройка регулятора на заданный уровень H осуществляется изменением длины стержня поплавка.

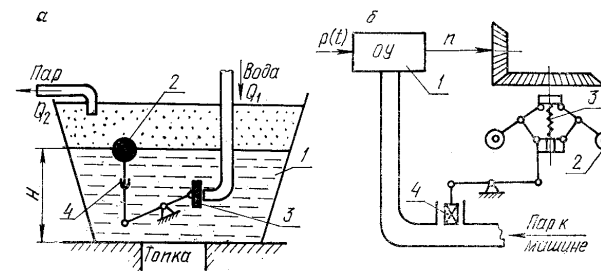


Рис. 1.9. Стабилизирующие системы

Пример 2 (рис. 1.9, б). Система стабилизации частоты вращения вала паровой машины (регулятор Дж. Уатта).

Управляемым объектом в системе является паровая машина 1, частоту вращения n вала которой необходимо поддерживать постоянной, чувствительным элементом – грузы 2 центробежного регулятора, регулирующим органом – заслонка 4, внешним возмущающим воздействием – изменение нагрузки $p(t)$ на валу машины.

Следящие системы предназначены для изменения управляемой величины $y(t)$ по закону, который заранее неизвестен. В таких системах задающее воздействие $g(t)$ представляет случайную функцию времени, которую должна воспроизводить выходную величину $y(t)$.

Пример на рис. 1.10.

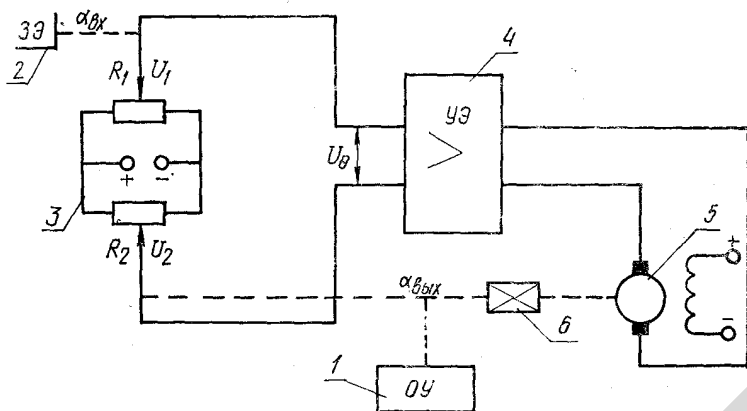


Рис. 1.10. Система согласованного вращения валов

Система предназначена для автоматического управления положением объекта 1 с помощью некоторого задающего устройства 2 (штурвал). Угловое положение $\alpha_{\text{вх}}$ задающего вала преобразуется с помощью потенциометра R_1 в соответствующий потенциал U_1 , а $\alpha_{\text{вых}}$ выходного вала, связанного с объектом 1, потенциометром R_2 в соответствующий потенциал U_2 . Потенциалы U_1 и U_2 сравниваются в устройстве 3. Результат их сравнения называется сигналом ошибки U_0 , т. е. $U_0 = U_1 - U_2$. Сигнал ошибки поступает на вход усилителя 4, к выходу которого подключен исполнительный элемент 5 (электрический двигатель), связанный через редуктор 6 с объектом. При согласованном положении входного и выходного валов обеспечивается

равенство $\alpha_{\text{вх}} = \alpha_{\text{вых}}$. При этом условии потенциалы датчиков (потенциометров) R_1 и R_2 будут равны, т. е. $U_1 = U_2$ и сигнал ошибки $U_0 = 0$. Двигатель 5 будет неподвижен, и объект находится в покое. При изменении положения входного вала с помощью задающего устройства 2 на входе усилителя 4 появляется сигнал ошибки, который после усиления приводит в действие исполнительный двигатель 5, перемещающий объект 1, а вместе с ним и движок потенциометра R_2 до тех пор, пока не будет восстановлено равенство $\alpha_{\text{вх}} = \alpha_{\text{вых}}$. Любые изменения характера движения входного вала тотчас передаются на выходной вал.

Программные системы предназначены для изменения регулируемой величины g по известному закону в функции времени t или какой-либо другой величины z : $g(t) = g^0(t)$ – временная программа, $g = g(z)$ – параметрическая программа.

Параметрические программы могут зависеть не только от одной, но и от нескольких величин – z_1, z_2, z_3 . (пространственное программирование).

Пример изображен на рис. 1.11.

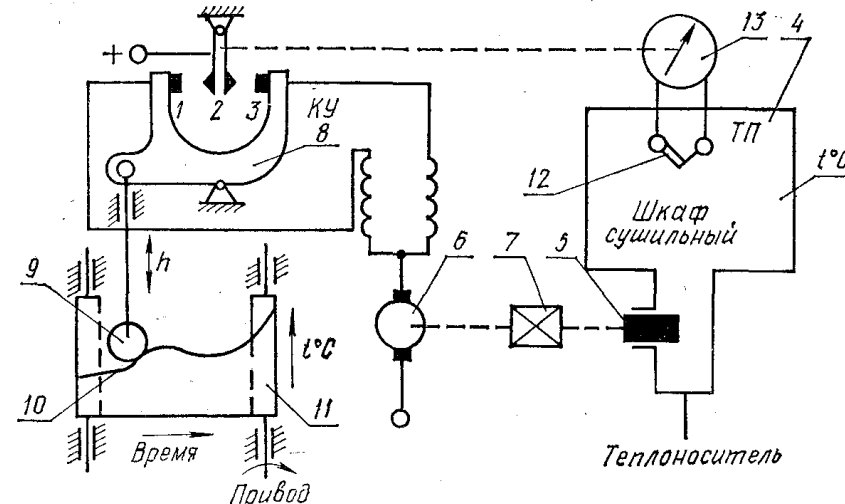


Рис. 1.11. Программная система регулирования температуры в сушильном шкафу

Температура t в шкафу 4 (объект управления) зависит от положения заслонки 5, регулирующей приток в шкаф тепла. Заслонка перемещается через редуктор 7 двигателем 6, управляемым контактной

группой, состоящей из подвижного двухстороннего контакта 3 и двух контактов 1 и 2, находящихся на качающемся рычаге 8. Положение рычага 8 и контактов 1 и 2 определяется перемещением ролика 9 (чувствительный элемент), скользящего по фигурной поверхности ленты 10, перемещаемой механизмом 11. Профиль ленты представляет программу изменения температуры в шкафу во времени.

Если контакты незамкнуты, то двигатель 6 неподвижен и приток тепла в шкаф не изменяется (номинальное положение). При перемещении ролика вверх происходит замыкание контактов 1 и 3, вследствие чего двигатель выдвигает заслонку, увеличивая приток тепла в шкаф и температура в шкафу повышается. Если ролик смещается вниз, то замыкаются контакты 2 и 3, что сопровождается реверсом двигателя 6, и заслонка уменьшает проходное сечение и соответственно приток тепла в шкаф. Контроль температуры в шкафу осуществляется термпарой 12 и гальванометром 13, стрелка которого механически связана с двухсторонним контактом 3, образуя цепь отрицательной обратной связи.

Автоматические системы прямого и непрямого управления.

По наличию в системе дополнительных источников энергии все замкнутые системы автоматического управления делятся на системы прямого и непрямого управления.

В системах *прямого управления* регулирующий орган перемещается непосредственно чувствительным элементом, без дополнительных источников энергии (см. рис.1.9).

В системах *непрямого регулирования* имеются устройства, позволяющие усиливать сигнал ошибки. Такими устройствами являются либо специальные усилители (пневматические, гидравлические, электрические, электронные и др.), либо исполнительные элементы, питающиеся от дополнительных источников энергии, либо те и другие вместе. В результате в таких системах сигнал ошибки управляет только передачей энергии от дополнительных источников к регулирующему органу. Поэтому системы непрямого регулирования позволяют использовать высокоточные маломощные чувствительные элементы для управления работой объектов большой мощности. Очевидно, что точность регулирования при этом резко возрастает, что и предопределяет применение главным образом систем непрямого регулирования.

Автоматические системы с замкнутой и разомкнутой цепью воздействия. САУ делятся на разомкнутые и замкнутые.

В *разомкнутых системах* выходная величина объекта $y(t)$ не измеряется, т. е. нет контроля за состоянием объекта. Следовательно, в этих системах отсутствует обратная связь между выходом объекта и входом управляющего устройства. Такое управление называется *жестким*, так как осуществляется без учета действительного значения управляемой величины, характеристик объекта и известных внешних воздействий. Возможны варианты разомкнутых САУ, в которых управляющее устройство измеряет только одно задающее воздействие g , одно возмущение f или оба эти сигнала одновременно. Разомкнутые системы пригодны лишь при достаточно высокой стабильности ее параметров и невысоких требованиях по точности.

К ним относятся различные системы сигнализации контроля, торможения, применяемые в машинах, торговые автоматы и т. п.

Непрерывные и дискретные системы автоматического управления. В процессе работы любой САУ величины x (вход) и y (выход) изменяются во времени. Динамика процесса преобразования сигнала в звене описывается некоторым уравнением $y = f(x)$ или экспериментально снятой характеристикой. По характеру динамических процессов системы делятся на непрерывные и дискретные.

Непрерывные системы – это такие системы, у которых в каждом звене непрерывному изменению входной величины соответствует непрерывное изменение выходной величины. Примеры таких систем приведены на рис. 1.9.

Дискретные системы – это системы, у которых хотя бы в одном звене при непрерывном изменении входной величины, выходная изменяется не непрерывно (импульсами, ступенями и т. п.). К ним относятся импульсные, релейные и цифровые системы.

Процесс преобразования непрерывной величины в дискретную называется *квантованием* (дроблением). Существуют три вида квантования: по уровню; по времени; по уровню и времени. Квантование по уровню соответствует фиксации дискретных уровней сигнала в момент пересечения кривой непрерывного сигнала линий равноотстоящих уровней, т. е. осуществляется в произвольные моменты времени. Квантование по времени соответствует фиксации дискретных моментов времени, в которые уровни сигнала могут принимать произвольные значения. При квантовании по времени и уровню

непрерывный сигнал заменяется дискретными значениями через равные промежутки времени, но при этом выделяется ближайший уровень непрерывного сигнала. В зависимости от характера квантования входных сигналов все дискретные элементы разделяются на импульсные, релейные, релейно-импульсные или цифровые.

Импульсные системы – это системы, в составе которых имеется импульсный элемент, который осуществляет квантование входного сигнала по времени, т. е. выходная величина этого элемента представляет собой последовательность импульсов.

Релейными системами называются системы, в составе которых имеется релейный элемент (модулятор), осуществляющий квантование входного сигнала по уровню. В качестве релейных элементов могут использоваться всякого рода реле (механические, электрические, гидравлические, пневматические) и устройства, в которых выходная величина изменяется скачком при достижении входным сигналом определенных значений. Релейные системы в отличие от импульсных являются нелинейными, так как в них моменты времени, в которые происходит замыкание и размыкание системы, заранее неизвестны. Эти моменты времени не задаются извне, а определяются внутренними свойствами самой системы (структурой, параметрами и т. п.).

Релейно-импульсные, или цифровые, системы являются более совершенными в сравнении с импульсными и релейными, так как имеют хотя бы один релейно-импульсный элемент. Наиболее перспективными релейно-импульсными системами являются цифровые, в которых выходная величина релейно-импульсного элемента представляется в виде двоичного или иного кода. Цифровые системы содержат обязательно либо простейшее вычислительное устройство, либо цифровую вычислительную машину. Релейно-импульсный элемент осуществляет квантование входного сигнала по уровню и времени и может быть получен путем последовательного соединения импульсного и релейного элементов.

Линейные и нелинейные системы. *Линейной* называется такая система, динамика которой описывается линейными уравнениями (алгебраическими, дифференциальными или разностными).

Статистические характеристики всех звеньев системы должны быть линейными. В том случае, если динамика всех звеньев системы описывается обыкновенными линейными дифференциальными

уравнениями (или линейными алгебраическими) с постоянными коэффициентами, то систему называют *обыкновенной линейной*, или *системой с сосредоточенными параметрами*. При наличии в системе одного или нескольких переменных во времени коэффициентов ее называют *линейной с переменными коэффициентами*. Если какое-либо звено описывается линейными уравнениями в частных производных, то система называется *линейной с распределенными параметрами*.

Если динамика какого-либо звена описывается линейным уравнением с запаздывающим аргументом (т. е. звено обладает чисто временным запаздыванием τ), система называется *линейной с запаздыванием*.

Линейные импульсные системы с описанием динамики линейными разностными уравнениями получили название особых линейных систем.

В любой линейной системе реакция на любую композицию внешних воздействий равна сумме реакций на каждое из этих воздействий на систему порознь. Это так называемый *принцип суперпозиции*. Он позволяет выразить реакцию системы на любое произвольное воздействие через реакцию системы на элементарное типовое воздействие, например ступенчатое.

Нелинейной называется система, в которой хотя бы в одном звене нарушается линейность статической характеристики или же имеет место любое другое нарушение линейности уравнений динамики звена (произведение переменных или их производных, корень, квадрат или более высокая степень переменной и т. п.).

Теория и прикладные методы наиболее полно разработаны для обыкновенных линейных систем. Поэтому необходимо стремиться заменять нелинейные системы линейными. Это упрощение называется *линеаризацией нелинейных систем*. Там, где невозможно перейти к линейным уравнениям, систему разбивают на два блока, в одном из которых объединяется весь комплекс обыкновенных линейных звеньев. К нелинейным системам принцип суперпозиции не применим.

Одноконтурные и многоконтурные системы. Автоматические системы регулирования, имеющие только одну обратную (главную) связь, называются *одноконтурными*. В этих системах воздействие, приложенное к какому-либо элементу (чаще сравниваемому),

может обойти всю систему и вернуться в исходную точку по одному пути обхода (рис. 1.9).

Системы, содержащие одну или несколько местных обратных связей, называются *многоконтурными*. В этих системах воздействие, приложенное к тому или иному элементу, может обойти всю систему и вернуться в исходную точку по нескольким путям обхода.

Статические и астатические системы. Все автоматические системы регулирования по их свойствам в установившемся режиме можно разбить на две группы – статические и астатические.

Статическими системами называются такие, у которых отклонение регулируемой величины от заданного значения в установившемся режиме пропорционально величине возмущения вызвавшего это отклонение. В этих системах погрешность регулирования различна при разных нагрузках и лежит в основе самого принципа регулирования.

Астатическими системами автоматического регулирования называются такие системы, у которых погрешность регулирования в установившемся режиме равна нулю (в пределах зоны нечувствительности регулятора) и не зависит от нагрузки объекта.

Самонастраивающимися (самоприспосабливающимися, адаптивными) называются такие системы, в которых параметры и структура управляющего устройства (регулятора) автоматически изменяются на основе информации для осуществления требуемого (оптимального) управления объектом. Самонастраивающаяся система в процессе эксплуатации сама автоматически должна получать и использовать для выработки управляющих воздействия недостающую информацию.

Самонастраивающиеся системы принято разделять на системы с самонастройкой программы, параметров и структуры.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите принципы построения автоматических систем.
2. Приведите классификацию автоматических систем по назначению.
3. Приведите классификацию автоматических систем по характеру алгоритма функционирования.
4. Приведите классификацию автоматических систем по наличию дополнительных источников энергии.

5. Приведите классификацию автоматических систем по характеру алгоритма управления.

6. Приведите классификацию автоматических систем по виду управляющих воздействий на объект.

7. Приведите классификацию автоматических систем по математическому описанию.

8. Приведите классификацию автоматических систем по характеру передачи сигналов.

9. Приведите классификацию автоматических систем по количеству регулируемых параметров.

10. Приведите классификацию систем по виду зависимости между значением регулируемого параметра и величиной внешнего воздействия на объект.

ЛЕКЦИЯ 3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

План лекции

1. Статические характеристики.
2. Типы воздействий, их назначение при исследовании элементов и систем.
3. Динамические характеристики элементов и систем.
4. Математическое описание элементов и систем автоматики.
5. Передаточные функции звеньев.
6. Передаточные функции автоматических систем.
7. Понятие о типовых динамических звеньях.
8. Понятие об устойчивости систем автоматического управления.
9. Критерии устойчивости.
10. Понятие о качестве управления, его показатели.

1. Статические характеристики

В автоматике свойства функциональных элементов оценивают различными показателями, связанными с величинами, поступающими на вход того или иного элемента (x) и снимаемыми с его выхода (y).

Если входная величина элемента с течением времени не изменяется, то режим элемента называется *статическим*, если изменяется –

динамическим. Важнейшими показателями этих режимов являются статические и динамические характеристики.

Статические характеристики отражают графическую зависимость выходной величины от входной (рис. 1.12). Математическое выражение этой зависимости $y = f(x)$ называется уравнением статики элемента. Статические характеристики элементов автоматики могут быть линейными (рис. 1.12, а) или нелинейными (рис. 1.12, б).

По статическим характеристикам определяют такие свойства элементов, как передаточный коэффициент, порог чувствительности, погрешность.

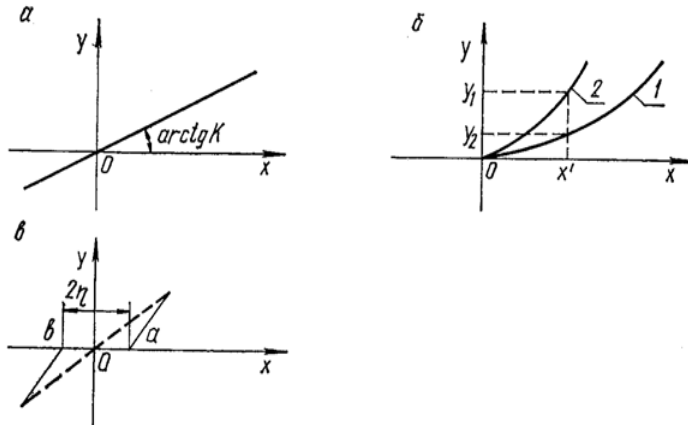


Рис. 1.12. Статические характеристики САП

Передаточный коэффициент. Различают три вида передаточного коэффициента, или коэффициента преобразования: статический, динамический и относительный.

Статический передаточный коэффициент k_c определяется для линейной характеристики (рис. 1.12, а) и представляет собой отношение выходного сигнала элемента к входному:

$$k_c = y / x.$$

Этот коэффициент может иметь размерность, если входной и выходной сигналы имеют различные физические величины, и быть безразмерным, если величины y и x имеют одинаковую размерность.

Динамический передаточный коэффициент k_d определяют для нелинейных элементов. В разных точках статической характеристики (рис. 1.12, б) этот коэффициент различен. Его определяют тангенсом угла наклона касательной, проведенной к нелинейной характеристике в интересующей точке:

$$k_d = dy / dx \approx \Delta y / \Delta x,$$

где Δy и Δx – малые изменения выходной и входной величин относительно некоторой точки характеристики.

Иногда этот коэффициент называют дифференциальным передаточным коэффициентом. Для линейного элемента понятия k_c и k_d совпадают.

Относительный передаточный коэффициент $k_{от}$ представляет собой отношение приращений выходного и входного сигналов:

$$k_{от} = \frac{\Delta y / y}{\Delta x / x} \approx \frac{dy / dx}{y / x} = \frac{k_d}{k_c}.$$

Разность между номинальным значением выходной величины y_n и ее фактическим значением y_i называется абсолютной статической погрешностью:

$$\Delta y = y_n - y_i,$$

а отношение:

$$\varepsilon = \frac{\Delta y}{y_n} 100 \text{ – относительной погрешностью.}$$

Порог чувствительности η представляет собой минимальное значение входной величины, которое вызывает изменение выходной величины. Все реальные элементы автоматики обладают тем или иным порогом чувствительности и статическая характеристика таких элементов отсекает на оси абсцисс некоторый отрезок ab (рис. 1.12, в), величина которого называется зоной нечувствительности:

$$S = 2\eta = O_a + O_b.$$

Если зона нечувствительности невелика и ею можно пренебречь, характеристика элемента может быть линеаризована (штриховая

линия на рис. 1.12, в). Порог чувствительности, например в реле, редукторах, электродвигателях, дросселях насыщения, тахогенераторах, возникает из-за наличия люфта, трения, магнитного гистерезиса и т. д.

2. Типы воздействий, их назначение при исследовании элементов и систем

Поведение любого звена и системы управления как в статике, так и в динамике зависит от изменения во времени внешних воздействий, законы изменения которых, как правило, заранее неизвестны. Поэтому при исследовании элементов и систем используют так называемые типовые законы изменения внешних воздействий.

Единичная ступенчатая функция. В качестве типовых внешних воздействий принимают так называемые полиномиальные воздействия:

$$\text{задающие } g(t) = \frac{g_n}{n!} t^n 1(t), \quad (3.1)$$

$$\text{возмущающие } f(t) = \frac{f_n}{n!} t^n 1(t), \quad (3.2)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$ – натуральное число;

g_n, f_n – постоянные задающая и возмущающая величины.

При $n = 0$ выражения 3.1 и 3.2 определяют ступенчатые типовые воздействия:

$$g(t) = g_0 1(t),$$

$$f(t) = f_0 1(t).$$

Воздействию (например, возмущающему) $f(t) = f_0 1(t)$ соответствует скачкообразное увеличение или уменьшение нагрузки в САУ скорости вращения вала двигателя, мгновенное подключение или отключение группы потребителей энергии в САУ напряжения генератора и т. д.

В выражениях 3.1 и 3.2 функция $1(t)$ есть единичная ступенчатая функция:

$$1(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 1 & \text{при } t > 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

Эта функция может быть в виде единичного мгновенного скачка (рис. 1.13, а) и единичного мгновенного импульса.

Воздействию $g(t) = 1(t)$ соответствует, например, процесс перенастройки системы стабилизации на новое значение регулируемой величины.

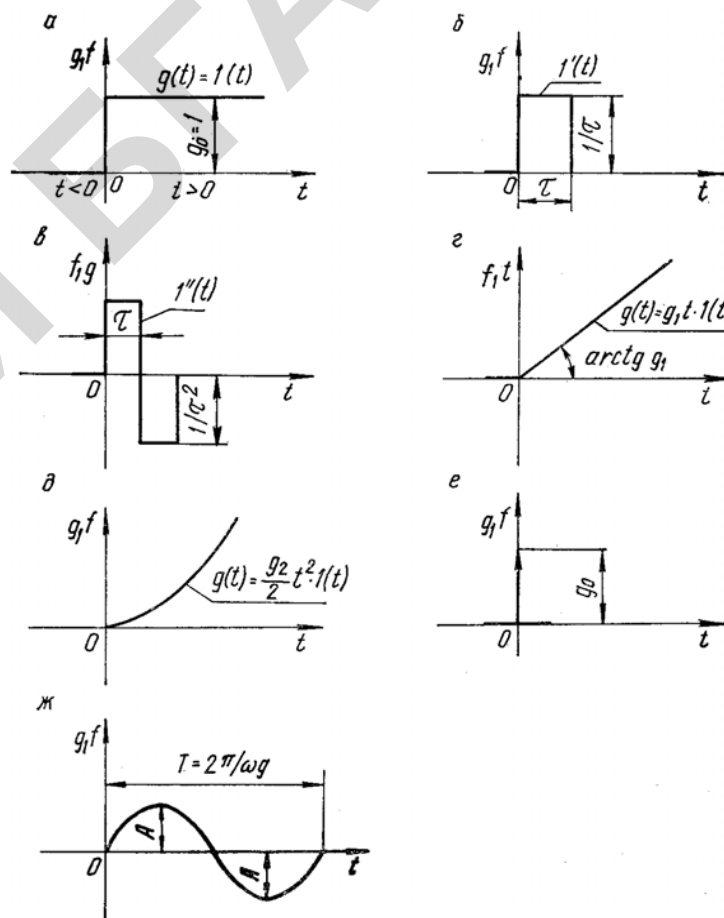


Рис. 1.13. Типовые законы изменения внешних воздействий

Единичный мгновенный импульс бывает 1-го (рис. 1.13, б) и 2-го (рис. 1.13, в) рода, т. е. это скачкообразные функции с длительностью скачка τ , стремящемся к нулю, или первая и, соответственно, вторая производные от единичного скачка.

Аналитически импульсы представляются в виде $g(t)=1'(t)$ – первого рода и $g(t)=1''(t)$ – второго рода.

При $n = 1$ типовые воздействия изменяются с постоянной скоростью, т. е.:

$$g(t) = g_1 t \, 1(t);$$

$$f(t) = f_1 t \, 1(t),$$

где g_1 и f_1 – постоянные значения. Графическое представление этих функций показано на рис. 1.13, $з$.

При $n = 2$ типовые воздействия изменяются с постоянным ускорением. Их аналитическое и графическое изображение представлено на рис. 1.13, $д$.

$$g(t) = \frac{g_2}{2} t^2 \, 1(t);$$

$$f(t) = \frac{f_2}{2} t^2 \, 1(t).$$

Единичная дельта-функция используется также в качестве типового внешнего воздействия (рис. 1.13, $е$). Аналитическое выражение этой функции:

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \neq 0 \\ \infty & \text{при } t = 0 \end{cases}$$

Воздействие с помощью дельта-функции представляется как:

$$g(t) = g_0 \delta(t);$$

$$f(t) = f_0 \delta(t).$$

Дельта-функция обладает тем свойством, что:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1,$$

т. е. дельта-функция представляет математическую идеализацию импульса бесконечно малой длительности, имеющего конечную площадь, равную единице, и относится к числу функций специального класса, называемых *обобщенными*.

Воздействия с дельта-функцией хорошо отвечают работе САУ, функционирующих в условиях импульсных возмущений.

Гармонические воздействия. Кроме полиномиальных воздействий весьма часто, особенно при частотных методах анализа и синтеза систем, применяются гармонические воздействия (рис. 1.13, $ж$):

$$g(t) = A \sin w_g t;$$

$$f(t) = A \sin w_f t,$$

где A – амплитуда гармонического сигнала,

w_g, w_f – круговые частоты гармонических сигналов.

Эти воздействия хорошо отвечают реальным условиям работы систем в условиях качки, сильных вибраций и т. п.

3. Динамические характеристики элементов и систем

Динамическая характеристика элемента или системы называется *временной* по какому-либо внешнему воздействию (f или g), если на вход этого элемента или системы, которые находились в покое, подается воздействие, изменяющееся по определенному закону. Если на вход звена или системы подается единичная ступенчатая функция, то временная характеристика $h(t)$ называется *переходной* (рис. 1.14, $а$). Если на вход элемента или системы подается дельта-функция $\delta(t)$, то временная характеристика называется *импульсной*, или функцией веса $w(t)$ (рис. 1.14, $б$).

Если элемент обладает инерцией, то его выходная величина нарастает постепенно и степень инерционности оценивается величиной постоянной времени T , которая определяется путем проведения касательной к кривой разгона до пересечения с линией установившегося значения y_n выходной величины. Переходный процесс может быть монотонным (рис. 1.14, $а$, кривая 2) и колебательным затухающим (кривая 1), с постоянной (собственной) частотой $f_0 = 1 / T_0$, где T_0 – период колебаний с непрерывно

убывающей амплитудой. Время t_n называется *длительностью переходного процесса*.

При подаче на вход элемента или системы гармонического сигнала заданной амплитуды и частоты выходной сигнал будет изменяться с той же частотой, но с другими амплитудой и сдвигом, по фазе (рис. 1.14, в). Динамическая характеристика в этом случае называется *частотной*.

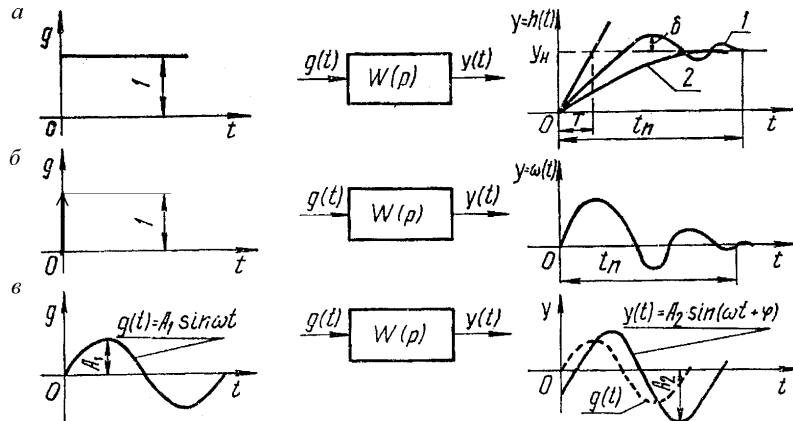


Рис. 1.14. Динамические характеристики элементов или систем

Различают следующие частотные характеристики: амплитудную частотную (АЧХ) (рис. 1.15, а), фазовую частотную (ФЧХ) (рис. 1.15, б) и амплитудно-фазовую частотную (АФЧХ) (рис. 1.15, в). Частотные характеристики более удобны при оценке установившихся режимов, так как гармонические сигналы передаются линейными элементами и системами без искажения и могут быть легко получены экспериментально.

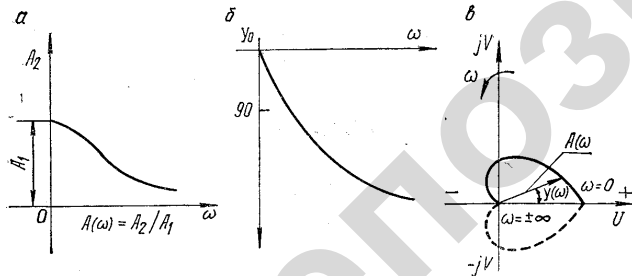


Рис. 1.15. Частотные характеристики элементов или систем

Для оценки динамических свойств элементов и систем также используют логарифмическую амплитудную (ЛАХ) и логарифмическую фазовую (ЛФХ) характеристики. ЛАХ $L(a)$ определяется по формуле:

$$L(w) = 20 \lg A(w).$$

При построении ЛАХ по оси абсцисс откладывают частоту в логарифмическом масштабе и на отметке, соответствующей значению $\lg(w)$, пишут не $\lg(w)$, а w . Единицей измерения частоты является *декада*. По оси ординат откладывают значение $L(w)$. Единицей измерения $L(w)$ является *децибел* (дБ).

4. Математическое описание элементов и систем автоматики

Для анализа и расчета САУ необходимо иметь математическое описание (математическую модель) объекта управления. Получение математического описания объекта управления, в определенном смысле математической модели по реализации его входных и выходных сигналов, называется его *идентификацией*.

Применение общих методов описания объектов в теории управления приводит в простейшем случае к представлению на нижнем уровне процесса в виде одномерного объекта (рис. 1.16), на входе которого действует переменная $x(t)$, характеризующая какое-либо свойство сырья или параметр, а на выходе – переменная $y(t)$, характеризующая какое-либо свойство объекта или выходной показатель процесса.

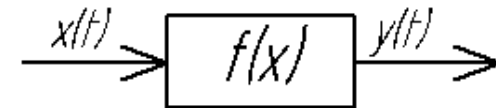


Рис. 1.16. Блок-схема одномерного объекта управления

Проблема индентификации таких объектов в целях построения САУ заключается в определении статических и динамических характеристик в виде адекватных математических моделей в рабочем диапазоне.

Современные методы идентификации используют сочетание аналитического и экспериментальных методов. Это связано с тем, что чисто аналитический подход во многих случаях не обеспечивает

получение математической модели, в достаточной степени соответствующей реальному объекту управления. Поэтому комбинированный подход, когда общий вид математического описания определяется аналитически, а значения коэффициентов, соответствующих конкретному объекту управления, – экспериментально, наиболее эффективен. Для сложных объектов задачи идентификации решаются с использованием ЭВМ, что значительно расширяет возможности аналитического и экспериментальных методов на стадии отработки и проверки соответствия математической модели.

Аналитический метод построения математического описания в статике и динамике не требует особых пояснений. Используя известные физические, химические, механические и другие закономерности, по которым осуществляются процессы, составляют уравнения, устанавливающие взаимосвязь выходных и входных переменных объекта в стационарных условиях (не зависящих от времени), и уравнения, устанавливающие зависимость изменения во времени выходной величины от заданного изменения входного воздействия.

Экспериментальные методы базируются на использовании специальных приемов *активного и пассивного эксперимента*, облегчающих получение необходимых зависимостей на реальном технологическом процессе в условиях производства. Активный эксперимент предусматривает нанесение скачкообразных изменений входной величины в пределах, допустимых технологическим регламентом. Наибольшее применение для исследования статических характеристик получили классический метод активного эксперимента и метод факторного планированного эксперимента. Для исследования динамических характеристик объекта управления применяют методы временного анализа.

Пассивные экспериментальные методы применяются при определении как статических, так и динамических характеристик на базе корреляционного и регрессионного анализа данных нормальной эксплуатации промышленного объекта.

Временной метод практически сводится к экспериментальному снятию переходной характеристики или кривой разгона по каналу управления. Для пояснения метода на рис. 1.17 приведена схема оснащения исследуемого объекта измерительными приборами, позволяющими измерять вносимые изменения входной и выходных величин.

При проведении эксперимента особое внимание обращают на синхронизацию регистрации входной и выходной величин. В начале эксперимента объект приводят в установившееся состояние. После этого изменяют скачкообразно входную величину на $\Delta x = 10 / 15 \%$ максимально допустимого значения входной величины. Эксперимент считается законченным, когда выходная величина достигнет нового установившегося значения для объектов с самовыравниванием либо когда устанавливается постоянная скорость изменения выходной величины в случае исследования объекта без самовыравнивания. Для каждой точки опыты повторяют не менее двух–четырех раз.

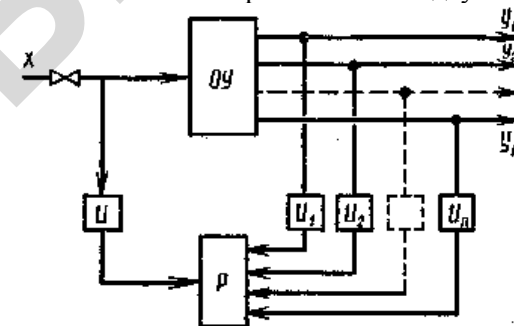


Рис. 1.17. Схема оснащения исследуемого объекта измерительными приборами ($I_1, I_2, \dots, I_n$ – измерительные приборы, Р – регистратор)

На рис. 1.18, а приведена кривая разгона, полученная экспериментально для объекта, обладающего самовыравниванием, и показана графически «методом касательной» возможность определения параметров τ_0 и T_0 .

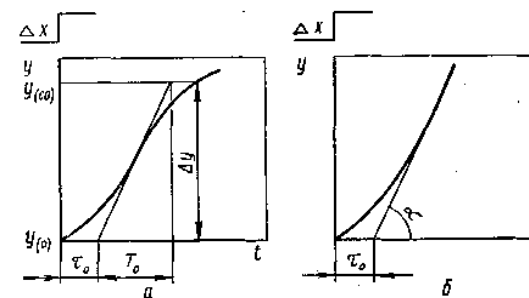


Рис. 1.18. Определение по кривым разгона динамических параметров объекта: а – статического; б – астатического

Коэффициент передачи получают из соотношения:

$$k_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

На рис. 1.18, б по кривой разгона для объекта без самовыравнивания показано графическое определение запаздывания τ_0 , а параметры k_0 и T находят из соотношений:

$$k_0 = \frac{tg\alpha}{\Delta x}, T_0 = 1 / k_0.$$

Рассмотрим аналитический метод математического описания элементов автоматики.

Состояние любого динамического звена может быть охарактеризовано совокупностью соответствующих физических величин (скоростей перемещений, напряжений, токов и т. д.). Поскольку размерности этих величин различны, то их представляют обобщенными координатами. Порядок составления дифференциальных уравнений состоит в следующем:

- 1) определяют входная и выходная величины и действующие на них факторы;
- 2) выбирается начало отсчета;
- 3) выявляется и используется основной физический закон, определяющий связь между входной и выходной величинами. В механике, например, это законы Ньютона, в электротехнике – Кирхгофа и т. п.

Математическое описание физического закона связи входной и выходной величин в динамическом состоянии и является исходным дифференциальным уравнением. Рассмотрим порядок составления уравнений на примере.

Пример. Найти дифференциальное уравнение для гидравлического демпфера (рис. 1.19), если пренебречь влиянием массы m подвижных частей и принять за входную величину силу F , а за выходную – перемещение поршня y , т. е. $y = f(F)$. Очевидно, что для нахождения этой зависимости следует использовать третий закон Ньютона и записать, что $F = \sum P = P_d + P_{тр} + P_i + P_v$.

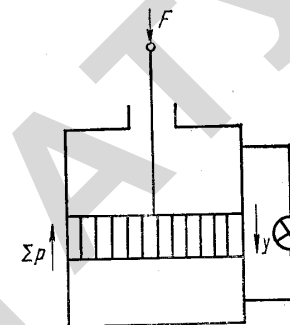


Рис. 1.19. Гидравлический демпфер

Силами инерции P_i , трения $P_{тр}$ и сопротивления от веса P_v подвижных частей пренебрегаем ввиду их малости. Тогда действующая сила F будет равна только силе гидравлического сопротивления P_d , т. е.

$$F = P_d = c \frac{dy}{dt},$$

где c – коэффициент демпфирования.

С учетом массы подвижных частей, т. е. силы инерции уравнение движения поршня будет иметь вид:

$$F = c \frac{dy}{dt} + m \frac{d^2 y}{dt^2}.$$

После записи дифференциального уравнения вводят те или другие упрощения. Прежде всего исключаются факторы, мало влияющие на энергетические и другие свойства динамического звена, а также параметры, значения которых поддерживаются постоянным естественным путем или за счет работы других звеньев системы. Тогда обобщенное уравнение звена можно представить в таком виде:

$$L \frac{dy}{dt} = x,$$

где L – величина (оператор), характеризующая собственные свойства звена.

В общем виде дифференциальные уравнения можно представить как

$$F(y', y, x; f) = 0 \text{ – уравнение 1-го порядка,}$$

или

$$F(y'', y', y, f) = 0 \text{ – уравнение 2-го порядка и т. д.}$$

Полученные уравнения чаще всего оказываются нелинейными, решить которые аналитическим путем бывает затруднительно, а иногда и невозможно. Поэтому на практике нелинейные уравнения приводят к виду линейных. При этом надо помнить, что линейаризации подвергаются только неразрывные функции (релейные и импульсные функции линейаризовать нельзя). В основе линейаризации нелинейных уравнений лежит предположение, что в исследуемом динамическом процессе переменные изменяются так, что их отклонения (Δx ; Δy) от установившегося значения (x^0 ; y^0) остаются все время достаточно малыми. Для следящих систем и большинства систем управления по отклонению это условие выполняется.

5. Передаточные функции звеньев

В теории автоматического управления кроме дифференциальных уравнений широко используются передаточные функции, временные и частотные характеристики. Последние отличаются наглядностью и возможностью экспериментального определения.

Передаточной функцией звена (третья форма записи дифференциальных уравнений) по какому-либо внешнему воздействию называется отношение преобразования Лапласа выходной величины звена к преобразованию Лапласа рассматриваемого внешнего воздействия. При этом все другие воздействия полагаются равными нулю.

Следовательно, для звена с одной выходной величиной число передаточных функций равно числу внешних воздействий:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{G(p)} \text{ – по входной величине (задающему воздействию);}$$

$$W(p) = \frac{Y(p)}{F(p)} \text{ – по возмущению (возмущений может быть несколько).}$$

В этих выражениях p – комплексная переменная. Изображение приведенных функций по Лапласу:

$$Y(p) = L\{y(t)\} = \int_0^{\infty} y(t)e^{-pt} dt;$$

$$G(p) = L\{g(t)\} = \int_0^{\infty} g(t)e^{-pt} dt;$$

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt.$$

Для того чтобы понять эти записи, приведем некоторые сведения из операционного исчисления.

В основу операционного исчисления может быть положен метод, примененный О. Хевисайдом к решению задач электротехники, когда рассматривается любая вещественная или комплексная функция $f(t)$ действительного переменного t , которая при $t < 0$ равна нулю, а при $t > 0$ возрастает не быстрее показательной функции

$$\left(\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{f(t)}{e^{at}} = 0 \right).$$

С помощью этой функции $f(t)$ и измененного интеграла Лапласа можно всегда сконструировать новую функцию $F(p)$:

$$F(p) = p \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt.$$

где $p = \alpha \pm j\omega$ – комплексное число.

В теории автоматического управления чаще применяют изображение по Лапласу.

Практическая ценность операционного исчисления состоит в том, что дифференцированию и интегрированию оригиналов соответствуют простейшие операции умножения и деления их изображений на p .

Передаточная функция может быть легко получена из записи дифференциального уравнения в символьной форме, для чего формально надо разделить многочлен (множитель) символической формы записи правой части на многочлен символьной формы левой части.

$$W(p) = \frac{k_2 + k_1}{T_1 p^2 + T_2 p + 1} = \frac{Y(p)}{G(p)} - \text{по входной величине};$$

$$W(p) = \frac{k_3}{T_1 p^2 + T_2 p + 1} = \frac{Y(p)}{F(p)} - \text{по возмущению}.$$

Многочлен, фигурирующий в знаменателе передаточной функции звена, называется *характеристическим полиномом* этого звена, а уравнением $D(p) = 0$ – *характеристическим уравнением звена*.

6. Передаточные функции автоматических систем

Системы автоматического управления и многие сложные элементы состоят из некоторого числа соединенных между собой динамических звеньев. Наиболее простыми и часто встречающимися (типовыми) соединениями звеньев являются (при этом имеется в виду разомкнутая цепь звеньев): последовательное, параллельное, встречно-параллельное или соединение с обратной связью.

При последовательном соединении выходная величина каждого из звеньев, кроме последнего, служит входной величиной последующего звена (рис. 1.20, а).

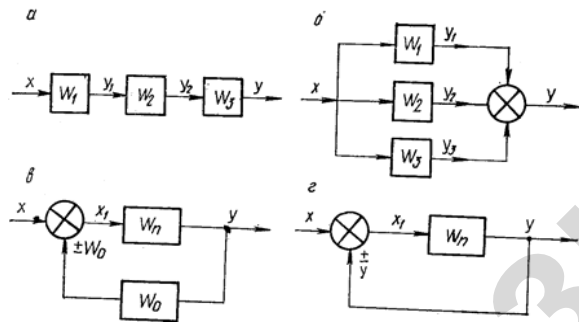


Рис. 1.20. Передаточные функции автоматических систем

Эквивалентная передаточная функция такого соединения или передаточная функция разомкнутой системы определяется как:

$$W_3(p) = \frac{y}{x} = \frac{W_3 y_2}{x} = \frac{W_3 W_2 y_1}{x} = \frac{W_3 W_2 W_1 x}{x} = W_1 W_2 W_3 = \prod_{i=1}^n W_i,$$

где y_1, y_2, y_3 – изображения по Лапласу переменных.

При параллельном соединении (рис. 1.20, б) все звенья имеют одну и ту же входную величину, а их выходные величины суммируются. Тогда для такого соединения можно записать выражение для эквивалентной передаточной функции:

$$W_3(p) = \frac{y}{x} = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{x} = \frac{W_1 x + W_2 x + W_3 x}{x} = W_1 + W_2 + W_3 = \sum_{j=1}^j W_j.$$

Для встречно-параллельного соединения (рис. 1.20, в), состоящего из звена в прямой цепи с передаточной функцией W_n и звена в обратной цепи с передаточной функцией W_0 , можно составить следующие равенства:

$$W_n = \frac{y}{x_1}; \quad W_0 = \frac{y_0}{y}; \quad x_1 = x \pm y_0.$$

Решив эти уравнения относительно

$$\frac{y}{x} = W_3(p) = \frac{y}{x_1 \pm y_0} = \frac{1}{\frac{x_1}{y} \pm \frac{y_0}{y}} = \frac{1}{\frac{1}{W_n} \pm W_0},$$

получим эквивалентную функцию

$$W_3(p) = \frac{W_n}{1 \pm W_n W_0},$$

где знак «+» в знаменателе соответствует отрицательной обратной связи, а знак «-» – положительной.

В случае, если передаточная функция обратной связи $W_0(p) = 1$ (жесткая единичная обратная связь), структурная схема имеет вид как на рис. 1.20, г.

В общем случае передаточная функция разомкнутой системы представляет собой рациональную дробь.

Целесообразно, как и для отдельного звена, передаточную функцию всей системы $W(p)$ приводить к стандартному виду:

$$W(p) = \frac{kQ(p)}{p^n V(p)},$$

где $Q(p)$ и $V(p)$ – многочлены с единичными коэффициентами при младших членах.

В расчетах замкнутых автоматических систем применяют три основных вида передаточных функций:

1. Главная или основная передаточная функция $Wg(p)$ по задающему воздействию. При этом принимается условно $f(t) = 0$.

Например, имеется схема замкнутой одноконтурной САУ (рис. 1.21).

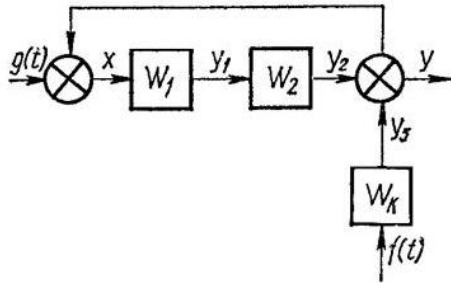


Рис. 1.21. Схема замкнутой одноконтурной САУ

Запишем уравнения для прохождения сигнала $g(t)$:

$$x = g - y; \quad y_1 = W_1 x; \quad y_2 = W_2 y_1 = W_k;$$

$$x = \frac{1}{W_1} y_1 = \frac{1}{W_1} \frac{1}{W_2} y_2,$$

или

$$y_2 = W_1 W_2 x = W_1 W_2 (g - y).$$

откуда

$$W_g(p) = \frac{W_1 W_2}{1 + W(p)},$$

где $W_1 W_2 = W(p)$ – передаточная функция разомкнутой системы.

Следовательно, в общем виде можно записать:

$$W_g(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)}.$$

2. Передаточная функция по возмущающему воздействию $W_f(p)$. В этом случае условно принимается $g(t) = 0$. Для рис. 1.21 запишем:

$$y = y_2 + y_3 = x W_1 W_2 + f W_k = -y W_1 \cdot W_2 + f W_k,$$

откуда

$$W_f(p) = \frac{W_k}{1 + W_1 W_2} = \frac{W_k}{1 + W(p)}.$$

При этом передаточная функция W_k зависит от места приложения возмущающего воздействия.

3. Передаточная функция для ошибки. По задающему воздействию условно принимаем $f(t) = 0$

$$W_{eg}(p) = x(p) / g(p) = X/G.$$

Передаточная функция для ошибки по возмущающему воздействию ($g(t) = 0$):

$$W_{ef}(p) = \frac{x(p)}{f(p)} = \frac{X}{F},$$

определяется из системы уравнений:

$$x = -y = -(y_2 + y_3) = -(x W_1 W_2 + f W_k);$$

$$x(1 + W_1 W_2) = -f W_k,$$

откуда

$$W_{ef}(p) = \frac{-W_k}{1 + W_1 W_2} = \frac{-W_k}{1 + W(p)}.$$

Важно отметить, что знаменатель всех видов передаточной функции замкнутой системы один и тот же.

Вычислению передаточных функций для многоконтурных систем должно предшествовать свертывание схемы к одноконтурной одномерной.

Для замкнутой системы в целом имеем:

$$y = \frac{W(p)}{1 + W(p)} G + \frac{Wk}{1 + W(p)} F.$$

Имея передаточные функции можно алгебраически записать ее дифференциальные уравнения. В этом состоит, в частности, одно из важных практических преимуществ использования аппарата передаточных функций.

7. Понятие о типовых динамических звеньях

Разбиение САУ на элементы осуществляется не по функциональному или конструктивному признаку, а по их динамическим свойствам, т. е. САУ разбиваются на динамические звенья. Под динамическим звеном понимается устройство любой физической природы, конструкции, но описываемое дифференциальным уравнением определенного вида.

Рассмотрим некоторые из наиболее часто встречающихся типовых динамических звеньев.

Безынерционное (идеальное) звено. Безынерционным называется звено, у которого передача сигнала со входа на выход передается мгновенно (большинство датчиков, усилители, редукторы и др.). Это звено как в статике, так и в динамике выражается дифференциальным уравнением нулевого порядка (рис. 1.22, а):

$$y = kx.$$

Если на вход такого звена подать скачкообразное воздействие, на выходе получим такое же изменение сигнала (без запаздывания, если не учитывать инерционность), но увеличенное в k раз (рис. 1.22, б).

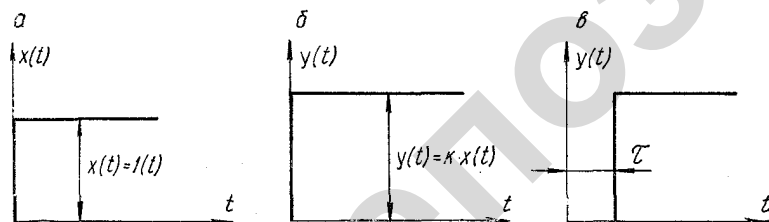


Рис. 1.22. Типовые динамические звенья

Звено нулевого порядка может обладать и некоторым временным (чистым) запаздыванием τ (рис. 1.22, в). Уравнение динамики такого звена имеет вид:

$$Y = -kx(t - \tau).$$

Такие звенья часто встречаются в машинах и механизмах сельскохозяйственного назначения (транспортеры, водонапорные емкости с подводом воды под уровнем жидкости и др.). Передаточная функция такого звена имеет вид $W(p) = ke^{-p\tau}$. Например, передаточная функция для транспортера при рабочей длине l и скорости v его перемещения:

$$W(p) = -e^{-lv/p},$$

где $\tau = l / v$ – время запаздывания.

Апериодическое звено 1-го порядка. Апериодическим звеном 1-го порядка называется звено (любое устройство), описываемое дифференциальным уравнением вида:

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx,$$

где T – постоянная времени;

k – коэффициент усиления.

Для неустойчивого апериодического звена дифференциальное уравнение имеет вид:

$$T \frac{dy}{dt} - y = kx, \quad W(p) = \frac{k}{Tp - 1}.$$

Выходная величина звена первого порядка y при скачкообразном изменении входной величины x начинает изменяться с некоторой максимальной скоростью с последующим постепенным уменьшением до нуля.

Примерами апериодических звеньев первого порядка могут быть RC – цепи (четыреполюсники), LR – цепи, магнитные усилители, электрические печи, термопары, термобаллоны, термобиметаллические датчики, двигатели любого типа (электрические,

пневматические), резервуары с газом, емкости с водой, гидравлические и пневматические датчики, гидравлические демпферы с учетом сил инерции и т. п.

Апериодическое звено 2-го порядка. Апериодическим звеном 2-го порядка называется звено, которое описывается дифференциальным уравнением вида:

$$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx,$$

где T_2 – постоянная времени, характеризующая затухание собственных колебаний звена;

T_1 – постоянная времени, характеризующая период колебаний. При этом предполагается, что $T_1 > 2T_2$.

Апериодическое звено второго порядка эквивалентно последовательному соединению двух апериодических звеньев первого порядка с передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{k}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)};$$

где

$$T_{3,4} = \frac{1}{2}(T_1 \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2}).$$

Апериодическое звено второго порядка можно представить как параллельное соединение двух звеньев первого порядка с передаточными функциями

Примерами апериодических звеньев второго порядка могут быть двигатели постоянного тока с независимым возбуждением, если за входную величину принять напряжение на зажимах якоря, а за выходную – скорость вращения вала; пневматический исполнительный механизм, центробежный регулятор, электрические *RCRC* и *LRLR* – цепи, гидравлический усилитель с жесткой обратной связью и др.

Колебательное звено может быть получено из апериодического второго порядка, если $T_1 < 2T_2$. Обычно это звено описывается уравнением вида:

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\varepsilon T \frac{dy}{dt} + y = kx, \text{ где } 0 < \varepsilon < 1.$$

Примерами колебательного звена могут быть *RLC* – цепи, гироскопы, если входной величиной является момент, а выходной – угол поворота; мембранные исполнительные механизмы и т. д.

Интегрирующие звенья. Интегрирующим звеном (астатическим) называют такое устройство, у которого скорость изменения выходной величины пропорциональна входной, т. е. при неизменном значении входной выходная величина может неограниченно возрастать или убывать.

Работа интегрирующих звеньев описывается дифференциальным уравнением вида:

$$C(p) y = (k / p) x \text{ или } y = \int_0^t x dt ,$$

где $C(p)$ – любой полином, удовлетворяющий условию $C(0) = 1$.

В интегрирующих звеньях в установившемся режиме имеет место линейная зависимость между входной величиной и производной выходной величиной.

Интегрирующие звенья делятся на идеальные, с замедлением и изодромные 1-го и 2-го порядков. В системах автоматического регулирования такие звенья используются для повышения порядка астатизма.

Идеальное интегрирующее звено. Любое устройство называется идеальным интегрирующим звеном, если оно описывается дифференциальным уравнением вида

$$\frac{dy}{dt} = kx \text{ или } py(p) = kx(p).$$

Передаточная функция звена:

$$W(p) = k / p.$$

Коэффициент k называется *коэффициентом усиления или передачи звена по скорости*. Он численно равен скорости изменения выходной величины при единичном значении входной. Если входная и выходная величина имеют одинаковую размерность, то из дифференциального уравнения следует, что коэффициент k имеет размерность c^{-1} . В этом случае дифференциальное уравнение удобнее записывать в виде:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{T}x, \text{ где } T = 1/k.$$

В этом случае передаточная функция звена примет вид:

$$W(p) = 1/T_p.$$

Величина T называется *постоянной времени интегрирующего звена*. Примерами идеальных интегрирующих звеньев могут быть: операционный усилитель в режиме интегрирования; гидравлический демпфер без учета сил инерции; гидравлический исполнительный механизм без учета сил трения и инерции; электрический конденсатор, если за выходную величину принять напряжение на конденсаторе; индуктивность, если входной величиной является магнитный поток в катушке; вращающийся вал и др. Интегрирующие звенья входят в состав П-, ПИ- и ПИД-регуляторов.

Интегрирующее звено с замедлением. Звено любой физической природы называется интегрирующим звеном с замедлением или интегрирующим инерционным, если оно описывается дифференциальным уравнением вида:

$$T \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = kx.$$

Передаточная функция такого звена имеет вид:

$$W(p) = \frac{k}{Tp^2 + p} = \frac{k}{p(Tp + 1)}.$$

Примерами этих звеньев могут быть: гидравлический демпфер с учетом массы подвижных частей, колесный трактор при вождении по следу маркера, двухфазный асинхронный двигатель, если входной величиной является напряжение на обмотке управления, а выходной – угол поворота выходного вала.

Дифференцирующие звенья. Дифференцирующим звеном называется такое звено, у которого в установившемся режиме выходная величина пропорциональна производной по времени от входной величины, т. е.:

$$y = k \frac{dx}{dt} = kpx.$$

Дифференцирующие звенья делятся на идеальные, дифференцирующие инерционные (с замедлением), форсирующие идеальные 1-го порядка, форсирующие идеальные 2-го порядка.

Идеальное звено. Звено любой физической природы описываемое дифференциальным уравнением вида $y = kpx$ называется идеальным дифференцирующим звеном.

Передаточная функция этого звена $W(p) = kp$. Примерами идеальных дифференцирующих звеньев могут быть: тахогенератор постоянного тока, если входной величиной является угол поворота ротора, а выходной – величина ЭДС якоря, двухступенной гироскоп для измерения угловых скоростей объектов при пренебрежении инерционностью и силами вязкого трения, действующими относительно оси прецессии и др.

Идеальные дифференцирующие звенья широко используются в корректирующих устройствах САУ.

Дифференцирующее инерционное звено. Звено называется дифференцирующим с замедлением, если оно описывается дифференциальным уравнением вида:

$$T \frac{dy}{dt} + y = k \frac{dy}{dt}.$$

Примерами дифференцирующего звена с замедлением могут быть: CR и RL -цепи, трансформаторы, гидравлические демпферы с пружиной и др.

8. Понятие об устойчивости систем автоматического управления

Устойчивость является необходимым условием работоспособности, т. е. система должна нормально функционировать и быть нечувствительной к различного рода внешним возмущениям.

Под *устойчивостью САУ* понимается способность системы поддерживать заданное значение регулируемого параметра с определенной точностью и восстанавливать его после окончания переходного процесса.

Следовательно, по характеру переходного процесса можно судить об устойчивости системы (рис. 1.23). Если система устойчива (рис. 1.23, а), то переходная характеристика $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = 0$. Если

система неустойчива, т. е. когда $\lim h(t) = \infty$, то она не возвращается в состояние равновесия, из которого была выведена и может удаляться от состояния равновесия, либо совершать недопустимо большие колебания (рис. 1.23, б). При этом известно, что при небольших возмущениях система устойчива, а при больших воздействиях может оказаться неустойчивой.

Поэтому в общем случае, рассматривая нелинейные системы, вводится понятие устойчивости в «малом», в «большом» и в «целом».

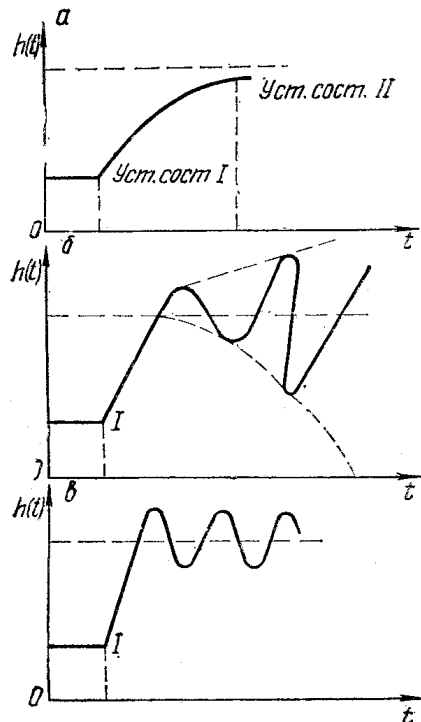


Рис. 1.23. График устойчивости автоматической системы

Система устойчива в «малом», если известна область устойчивости, но неизвестны границы этой области, в «большом», когда определены границы области устойчивости и в «целом», когда она возвращается в исходное состояние при любых начальных отклонениях, возмущениях. Устойчивость «в целом» для определенного класса нелинейности называют «абсолютной» устойчивостью.

Исследование устойчивости САР целесообразно проводить в аналитическом виде, т. е. путем нахождения корней характеристического уравнения. Не приводя необходимых доказательств на основании теорем А. М. Ляпунова, следует отметить, что если все корни характеристического уравнения располагаются в левой полуплоскости комплексной

плоскости (левее мнимой оси), то линейная система автоматического управления является устойчивой.

Очевидно, что мнимая ось является границей устойчивости. Система будет находиться на границе устойчивости при наличии

нулевого корня, пары мнимых корней или бесконечно удаленного корня ($p_i = \infty$).

Если в характеристическом уравнении свободный член равен нулю ($a_n = 0$), то это говорит о наличии нулевого корня и такая система называется *нейтрально устойчивой* (рис. 1.23, в), так как она устойчива не относительно управляемой величины y , а скорости ее изменения dy/dt .

Очевидно, для определения устойчивости необязательно знать значение корней характеристического уравнения, достаточно убедиться в отрицательности вещественных частей корня. Методы, основанные на установлении факта их отрицательности, называются критериями устойчивости.

9. Критерии устойчивости

Критерий устойчивости – это математическая формулировка условий, которым удовлетворяют коэффициенты характеристического уравнения устойчивой системы.

В теории автоматического регулирования наибольшее распространение получили алгебраические критерии Рауса, Гурвица, Вышнеградского; частотные критерии Михайлова и Найквиста и критерии, основанные на использовании логарифмических частотных характеристик разомкнутой системы. С математической точки зрения все критерии устойчивости эквивалентны.

Рассмотрим подробнее названные критерии устойчивости.

Алгебраические критерии. Алгебраические критерии определяют совокупность алгебраических неравенств, описывающих связи между коэффициентами характеристического уравнения системы.

Критерий Рауса был предложен английским механиком Э. Раусом для отыскания условий, при которых все корни характеристического уравнения имеют отрицательные вещественные части, и применяется при определении устойчивости систем высокого порядка. Он удобен при использовании ЭВМ. Этот критерий формулируется в виде некоторого правила (алгоритма), путем составления так называемой таблицы Рауса исходя из коэффициентов характеристического уравнения замкнутой системы.

В первой строке записываются коэффициенты с четными индексами, начиная с коэффициента a_0 . Во второй строке записываются

коэффициенты с нечетными индексами. Коэффициенты последующих строк вычисляются по приведенным в таблице формулам. Всего должно быть записано $n + 1$ строк.

Условие устойчивости Рауса формулируется следующим образом: замкнутая система устойчива, если все коэффициенты первого столбца таблицы имеют один и тот же знак, т. е. при $a_0 > 0$ все коэффициенты первого столбца положительны. Это условие является необходимым и достаточным для суждения об устойчивости.

Если один из элементов первого столбца равен нулю, а остальные положительны, система находится на границе устойчивости – характеристическое уравнение имеет пару чисто мнимых корней.

Критерий Гурвица был сформулирован швейцарским математиком Гурвицем и сводится к нахождению детерминированных неравенств из характеристического уравнения. Чтобы в характеристическом уравнении при $a_0 \neq 0$ замкнутой системы все корни имели отрицательные вещественные части, необходимо и достаточно, чтобы удовлетворялись неравенства: при

$$a_0 > 0; \Delta_1 > 0; \Delta_2 > 0; \Delta_3 > 0; \Delta_4 > 0; \Delta_n > 0,$$

где

$$\Delta_1 = a_1 > 0; \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0; \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0 \text{ и т. д.}$$

Следовательно, критерий Гурвица сводится к тому, что при $a_0 > 0$ должны быть больше нуля все n определителей, получаемых из квадратной матрицы коэффициентов.

Квадратная матрица из коэффициентов характеристического уравнения для замкнутой системы составляется следующим образом. По диагонали от верхнего левого угла до правого нижнего выписываются все коэффициенты, начиная с коэффициента с индексом 1 до коэффициента с индексом n . От каждого коэффициента, стоящего по главной диагонали, по вертикали вверх записываются коэффициенты с возрастающими индексами, а вниз – с убывающими. Места в матрице коэффициентов с индексами больше n и меньше 0 заполняются нулями.

Частотные критерии. Частотные критерии позволяют судить об устойчивости систем автоматического управления по виду их частотных характеристик. Эти критерии являются графоаналитическими и получили широкое применение, так как позволяют сравнительно легко исследовать устойчивость систем высокого порядка, обладают хорошей наглядностью.

Критерий Михайлова. Этот критерий устойчивости был предложен советским ученым А. В. Михайловым и позволяет судить об устойчивости замкнутой системы на основании рассмотрения некоторой кривой.

Кривая Михайлова представляет собой годограф вектора (характеристический полином) получаемый из характеристического уравнения системы путем подстановки $p = j\omega$.

$$D(j\omega) = a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \dots + a_{n-1}(j\omega) + a_n.$$

Выделив в правой части последнего уравнения вещественную $U(\omega)$ и мнимую $V(\omega)$ части, можно записать $D(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$.

Формулировка критерия Михайлова сводится к следующему: чтобы замкнутая система автоматического управления была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы кривая Михайлова при изменении частоты ω от 0 до ∞ , начинаясь при $\omega = 0$ на вещественной положительной полуоси, обходила только против часовой стрелки последовательно n квадрантов, уходя в бесконечность в последнем квадранте, где n – порядок характеристического уравнения.

На рис. 1.24 показаны типичные кривые Михайлова для устойчивых систем 1–5 порядков с равным значением коэффициента a_n .

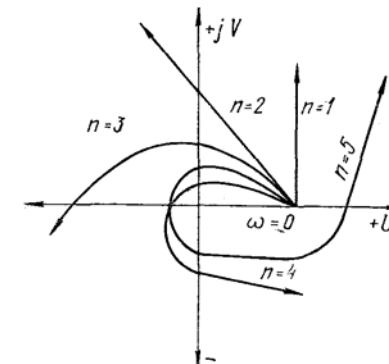


Рис. 1.24. Годограф Михайлова для устойчивых систем

Признаком неустойчивости системы является нарушение числа и последовательности пройденных кривой Михайлова квадрантов плоскости $[U; jV]$.

Критерий Найквиста. Этот частотный критерий был предложен американским ученым Найквистом для исследования устойчивости усилителей с обратной связью и дает возможность определить устойчивость замкнутой системы по АФЧХ $W(j\omega)$ ее разомкнутой цепи, если удовлетворяется условие $\lim_{\omega \rightarrow \infty} W(j\omega) = c$ (в частности, $c = 0$). Преимущество критерия Найквиста состоит в том, что амплитудно-фазовая характеристика разомкнутой системы может быть построена не только расчетным путем, но и экспериментально. Если имеется передаточная функция разомкнутой системы, то подставляя в ее выражение $p = j\omega$, получаем частотную передаточную функцию разомкнутой системы:

$$W(j\omega) = \frac{R(j\omega)}{Q(j\omega)} = \frac{b_0(j\omega)^m + b_1(j\omega)^{m-1} + \dots + b_m}{a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \dots + a_n},$$

или

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)},$$

где $A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$ – модуль частотной передаточной функции;

$\varphi(\omega) = \arctg V(\omega) / U(\omega)$ – фаза частотной передаточной функции.

Обычно для $W(j\omega)$ выделяют в числителе и знаменателе действительную и мнимую части и избавляются от мнимости в знаменателе путем умножения числителя и знаменателя на комплексно сопряженный знаменатель, т. е. если:

$$W(j\omega) = \frac{C + jD}{A + jB},$$

то

$$W(j\omega) = \frac{(C + jD)(A - jB)}{A^2 + B^2} = U(\omega) + jV(\omega).$$

Если изменять частоту ω от $-\infty$ до $+\infty$, то вектор $W(j\omega)$ будет меняться по величине и фазе, т. е., вычисляя амплитуду и фазу при каждом значении ω , можно построить на комплексной плоскости амплитудную фазовую частотную характеристику разомкнутой системы (рис. 1.25).

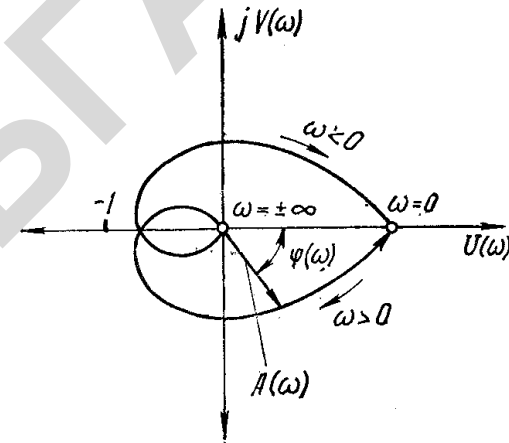


Рис. 1.25. Нодограф Найквиста для устойчивых систем

Если разомкнутая система устойчива, то критерий Найквиста формулируется: для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы $W(j\omega)$ при изменении частоты ω от 0 до ∞ не охватывала точку с координатами $[-1; j0]$.

Запас устойчивости системы. При оценке устойчивости систем необходимо определить величину запаса устойчивости, т. е. степень удаленности системы от границы устойчивости.

В случае применения критерия Гурвица запас устойчивости можно оценить по тому запасу, с которым выполняются входящие в этот критерий неравенства. При использовании критериев Михайлова и Найквиста запас устойчивости определяется удаленностью соответствующих характеристик от критического положения, при котором система находится на границе устойчивости. Для критерия Михайлова это будет удаленность нодографа $W(j\omega)$ от начала координат, а для критерия Найквиста – удаленность характеристики $W(j\omega)$ от точки $(-1; j0)$.

Основное распространение в качестве меры запаса устойчивости получили вытекающие из критерия Найквиста две величины: запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi$ и запас устойчивости по амплитуде ΔA .

Запас устойчивости по амплитуде определяется величиной допустимого увеличения АЧХ, при котором система окажется на границе устойчивости.

Запас устойчивости по фазе определяется величиной $\Delta\varphi$, на которую должно возрасти запаздывание по фазе в системе на частоте среза ω_c , чтобы система оказалась на границе устойчивости. Для определения $\Delta\varphi$ проводится дуга радиусом 1 до пересечения с АФЧХ. При проектировании САУ рекомендуется выбирать $\Delta\varphi \geq 30^\circ$ и $\Delta A \geq 0,7$.

10. Понятие о качестве управления, его показатели

Устойчивость САУ или САР является необходимым, но еще не достаточным условием практической полезности системы. Например, устойчивая система при обработке задающих и возмущающих воздействий может оказаться недостаточно точной или переходные процессы в ней совершаются слишком медленно, иногда не обеспечивается необходимая плавность выхода системы и т. п. Следовательно, к системе должен быть предъявлен еще целый комплекс требований, который объединяется понятием качества процесса управления. Оценка качества САУ ведется по так называемым показателям качества или критериям качества, к которым относятся, в частности:

- *точность системы в установившемся состоянии*;
- *качество переходного процесса* (или показатели качества переходной характеристики).

Любая система независимо от своего назначения и конструкции должна осуществлять управление каким-либо объектом с определенной точностью, т. е. качество управления зависит от мгновенных (переходных) величин ошибки $\varepsilon(t)$, равных разности между заданными $g(t)$ и фактическими $y(t)$ значениями управляемой величины:

$$\varepsilon(t) = g(t) - y(t).$$

Возмущающие воздействия представляют собой случайные функции времени, поэтому оценка качества управления по мгновенным значениям ошибки $\varepsilon(t)$ практически не используется.

Единой объективной числовой оценки качества управления пока не существует. Имеются лишь частичные оценки отдельных наиболее характерных режимов (установившегося режима по его ошибке и переходного режима по различным показателям).

Показатели качества переходных процессов. Одной из оценок качества регулирования служит оценка качества переходной характеристики САУ относительно задающего воздействия. Показатели качества переходной характеристики называются прямыми. Чем лучше переходная характеристика (в смысле качественных показателей), тем лучше система будет обрабатывать произвольное задающее воздействие.

Качество САУ по переходной характеристике оценивается обычно по следующим показателям: величине перерегулирования h ; статической ошибке ε , времени переходного процесса t_p ; числу колебаний s (колебательность), степени затухания ψ (рис. 1.26).

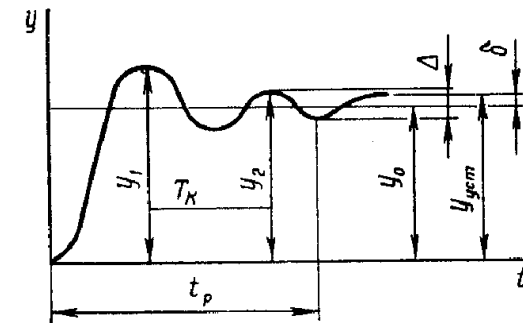


Рис. 1.26. График переходной характеристики САУ

Величина перерегулирования определяется по выражению:

$$h = \frac{y_1 - y_0}{y_0} 100,$$

где y_1 — амплитуда первого отклонения;
 y_0 — значение задания.

Перерегулированием оценивают разность между максимальным значением y_1 переходной характеристики и значением задания y_0 . Перерегулирование косвенно определяет также запас устойчивости.

В большинстве случаев считается, что запас устойчивости является достаточным, если величина перерегулирования не превышает 10–30 %.

Статическая ошибка:

$$\varepsilon = \frac{y_{уст} - y_0}{y_0},$$

иногда берут значение абсолютной статической ошибки:

$$\delta = y_{уст} - y_0.$$

Время переходного процесса t_p характеризует быстроедействие системы, под которым понимается промежуток времени от начала приложения воздействия до вхождения $y(t)$ в коридор $y_0 \pm \Delta$, где Δ – допустимая динамическая погрешность. Обычно принимают $\Delta = 0,01$ – $0,05$ иногда до $0,2$, т. е. переходный процесс в САУ считают закончившимся, когда $y(t)$ отличается от своего установившегося значения не более чем на 1,5 %. Обычно Δ выбирают равным 5 %.

Период колебаний – время между двумя максимумами $y(t)$ (или минимумами) – T_k .

Колебательность или число колебаний за время переходного процесса определяется числом максимумов или числом минимумов за время t_n . Иногда колебательность оценивают отношением соседних максимумов переходной характеристики:

$$c = y_1 / y_2,$$

где y_2 – амплитуда второго положительного отклонения.

Если $1 \leq c \leq 2$, то запас устойчивости САУ считается достаточным.

Степень затухания:

$$\psi = \frac{y_1 - y_2}{y_1 - y_0}.$$

Всякая САУ кроме отработки задающего воздействия осуществляет и подавление возмущений. Поэтому качество регулирования оценивают также по переходной характеристике $y(t) = yf(t)$ системы по возмущению. Особенность этой характеристики состоит

в том, что ее установившееся значение должно быть весьма мало в статической системе и равно нулю в астатической системе. Понятие перерегулирования для характеристики $yf(t)$ не имеет смысла и его оценивают непосредственно максимальным значением $yf(t)_{\max}$.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое статические и динамические характеристики автоматических систем?
2. Назовите основные типы воздействий на автоматические системы. Каково их назначение при исследовании систем?
3. Как математически описываются элементы и системы автоматики?
4. Назовите передаточные функции звеньев и систем.
5. Что такое типовые динамические звенья?
6. Сформулируйте понятие об устойчивости систем автоматического управления.
7. Назовите критерии устойчивости, используемые в автоматике.
8. Что такое качество управления? Перечислите его показатели.

ЛЕКЦИЯ 4. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ, ИХ ВЫБОР И НАСТРОЙКА

План лекции

1. Объекты автоматизации и их характеристики.
2. Понятие о законах регулирования.
3. Классификация автоматических регуляторов, их выбор и настройка.

1. Объекты автоматизации и их характеристики

Любая САУ или САР состоит из автоматического управляющего устройства (регулятора) и объекта управления, соединенных между собой определенным образом.

Объектом управления может быть любое устройство (двигатель, трактор, транспортер, комбайн, котел и т. д.), в котором некоторые параметры нуждаются в стабилизации, регулировании и т. п.

Состояние объекта определяется рядом параметров (величин), характеризующих как воздействие на объект внешней среды и управляющих

устройств, так и протекание процессов внутри самого объекта. Одни из этих величин измеряются в процессе работы и называются контролируемыми, другие, влияющие на режим работы объекта, не измеряются и называются неконтролируемыми. Если контролируемых координат (g ; y) достаточно, чтобы определить состояние объекта, то объект называется полностью наблюдаемым. Если с помощью управляющих воздействий u_i , можно однозначно задать состояние объекта (вектор x), то объект называется *полностью управляемым*.

Если объект характеризуется одной управляющей и одной управляемой величиной, т. е. векторы u и y имеют по одной координате, то объект называется *простым*, или *односвязным*. При наличии нескольких взаимно связанных координат векторов u и y объект называется *многосвязным*.

В зависимости от характера изменения регулируемого параметра под действием постоянного по величине возмущения объекты бывают статические (рис. 1.27, а, кривая 1), астатические (кривая 2) и неустойчивые (кривая 3).

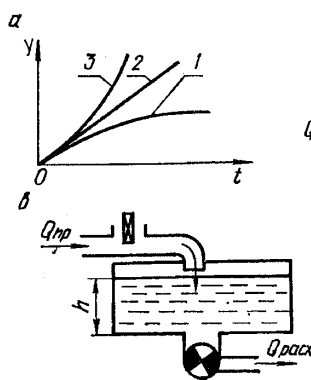


Рис. 1.27. Объекты автоматизации и их характеристики

Примером статического объекта может служить, например, подогреватель, в котором с увеличением подачи тепла повышается температура. Одновременно возрастает и отдача тепла подогревателем в окружающую среду. Тем не менее, повышение температуры не может быть безграничным, так как при определенном значении ее рост потерь приводит к новому состоянию равновесия.

Статический объект можно проиллюстрировать и на примере резервуара с водой при подаче воды под уровень (рис. 1.27, б). В установившемся состоянии приток равен расходу $Q_{пр} = Q_{расх}$ и $h = const$. Если увеличить приток, то уровень начинает увеличиваться, но вместе с тем возрастает и противодействие притоку, что приводит к его уменьшению, и постепенно установится новое значение уровня $h + \Delta h = const$, при котором также $Q_{пр} = Q_{расх}$.

Примером астатического объекта может служить резервуар с водой при подаче ее над уровнем. Расход ее обеспечивается насосом, вращающимся с постоянной скоростью (рис. 1.27, в). В этом резервуаре величина уровня h не влияет как на ее приток $Q_{пр}$, так и на ее расход, зависящий от производительности насоса.

В зависимости от способности сохранять состояние равновесия объекты разделяются на устойчивые, неустойчивые и нейтральные. Устойчивые объекты называются также объектами с самовыравниванием.

В зависимости от вида дифференциальных уравнений, описывающих поведение объекта, объекты бывают линейными и нелинейными.

Классификация объектов автоматизации сельскохозяйственного назначения целесообразна по видам выполняемых работ, назначению машин и механизмов. Например, почвообрабатывающие, посевные, уборочные машины в полеводстве, машины для заготовки, транспортировки и смешивания кормов в животноводстве и т. п.

Каждый объект регулирования можно охарактеризовать одним или несколькими количественными и качественными величинами (параметрами). Такие величины, как мощность, расход, скорость, напряжение и т. д., могут изменяться в широких пределах. Как правило, законы этих изменений во времени произвольны и носят случайный характер. Однако можно выделить ряд величин, которые присущи любому объекту автоматического управления.

Емкость объекта. Уравнение динамики объекта регулирования в общем виде можно записать (для бесконечно малого отрезка времени, когда зависимость между y и $E_1 - E_2$ можно считать линейной):

$$c \frac{dy}{dt} = E_1 - E_2,$$

где c – постоянная объекта, называемая емкостью объекта, характеризующая его способность запасать энергию;

dy/dt – скорость изменения регулируемого параметра;
 E_1, E_2 – подводимая и отводимая к объекту энергия.

Если $\Delta E = E_1 - E_2 > 0$, то в объекте накапливается энергия, что сопровождается увеличением регулируемого параметра y , т. е. $\Delta y = y_1 - y_2 > 0$.

Если $\Delta E = E_1 - E_2 < 0$, то запас энергии в объекте снижается и $\Delta y < 0$, т. е. регулируемый параметр уменьшается.

Для многих объектов величины подводимой и затрачиваемой энергии в той или иной степени зависят от значения регулируемого параметра.

Условие $E_1 = E_2$ соответствует состоянию равновесия объекта. При отклонении регулируемого параметра y от заданного y_0 в ту или иную сторону равновесие объекта нарушается.

Механические объекты, например резервуар, обладают способностью накапливать в себе жидкость, газ, сыпучие тела. Понятие емкости здесь связано с объемом резервуара. Печь, термостат, сушильный шкаф способны накапливать тепло. Понятие их емкости связано с теплоемкостью и т. д.

Время разгона – это время, в течение которого регулируемый параметр изменяется от нуля до номинального значения при 100 % или максимальном возмущении (управлении) при условии, что нагрузка отсутствует и скорость изменения dy/dt остается в течение этого времени постоянной (рис. 1.28).

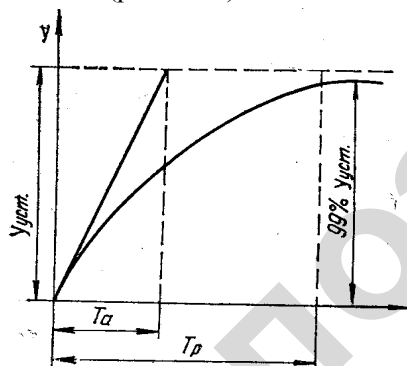


Рис. 1.28 График временной характеристики автоматической системы

Время разгона может быть определено экспериментально по переходной характеристике или аналитически по формуле:

$$T_p = c \frac{y_{\max}}{Q_{\max}},$$

где $y_{\max}$ – максимальное значение регулируемого параметра;

$Q_{\max}$ – максимальное значение притока или стока вещества или энергии.

Время разгона для одноемкостного объекта может быть определено как $T_p = T/k$.

Чувствительность объекта. Чувствительность, или скорость разгона, объекта представляет величину, обратную времени разгона $\varepsilon = 1/T_p$. Если $\varepsilon \rightarrow \infty$, $T_p \rightarrow 0$ – объект представляет собой усиленное звено. Если $\varepsilon \rightarrow 0$, $T_p \rightarrow \infty$ – объект нерегулируемый, т. е. y не зависит от x .

Постоянная времени объекта представляет собой время, в течение которого регулируемый параметр достигает нового установившегося значения при неизменных притоке и расходе вещества или энергии для данного объекта, лишенного самовыравнивания. Постоянная времени T_a определяется аналитически или графически, путем проведения касательной к кривой разгона объекта. Значение T_a можно принимать равным:

$$T_a = \frac{1}{3 \dots 4} T_p.$$

Самовыравнивание объекта – это свойство объекта после возникновения возмущения приходить в состояние равновесия без внешнего вмешательства (без регулятора), причем каждому возмущению соответствует свое значение регулируемого параметра. Оценивается самовыравнивание степенью или коэффициентом самовыравнивания δ (иногда его называют коэффициентом статизма или саморегулирования).

Например, для одноемкостного объекта (резервуара):

$$\delta = \frac{H}{Q} \left[\left(\frac{dQ_p}{dH} \right)_0 + \left(-\frac{dQ_n}{dH} \right)_0 \right],$$

где Q_p , Q_n – расход и приток вещества;

H – обобщенная координата уровня (индекс «нуль» означает установившееся состояние).

Если при любом значении относительного возмущения (ΔQ или ΔH), отличном от нуля, регулируемая величина изменяется непрерывно в одну сторону (увеличивается или уменьшается), то такой объект называется объектом без самовыравнивания ($\delta = 0$). Если же при скачкообразном изменении притока или расхода вещества (возмущения) управляемая величина через некоторое время принимает установившееся значение (без регулятора), то такой объект называется объектом с самовыравниванием (рис. 1.29, а).

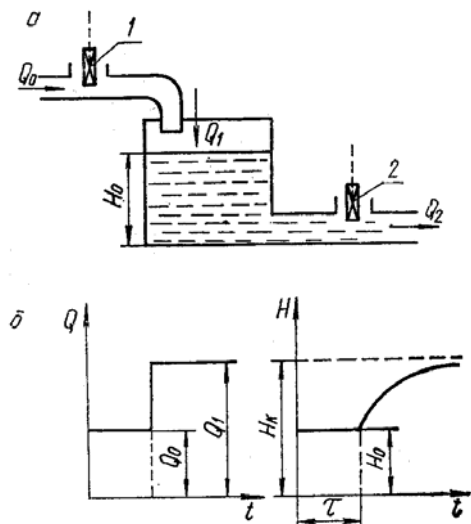


Рис. 1.29. Объекты автоматизации с самовыравниванием

Если оба вентиля 1 и 2 будут иметь одинаковую степень открытия, то приток будет неизменным, а расход будет зависеть от уровня воды в баке. Если теперь при установившемся режиме ($Q_0 = Q_2$) и при высоте уровня воды, равной H_0 , увеличить приток до Q_1 (рис. 1.29, б) путем открытия вентиля 1, то уровень воды в баке начнет возрастать, что приведет к повышению давления на нижние слои воды, а это вызовет больший расход Q_2 . Через некоторое время, когда $Q_1 = Q_2$, уровень воды примет новое установившееся значение H_k .

Самовыравнивание объекта значительно облегчает работу регулятора за счет стабилизации регулируемой величины самим объектом. Самовыравниванием обладают двигатели любого типа (электрические, гидравлические, тепловые, пневматические).

Самовыравнивание характеризуется и временем самовыравнивания t , т. е. временем, за которое в объекте устанавливается новое установившееся состояние:

$$t \approx 3T_a \approx 3T_p / \delta.$$

Запаздывание в объекте. Одной из важнейших характеристик объекта регулирования является так называемое запаздывание. Сущность его состоит в том, что с увеличением или уменьшением нагрузки (расходе энергии, вещества) в объекте параметры изменяют свое значение не сразу, а спустя некоторое время с момента возмущения (рис. 1.29, б). При этом различают два вида запаздывания: передаточное (транспортное) τ_t и переходное τ_n . Время общего запаздывания $\tau_{об} = \tau_t + \tau_n$.

Транспортное запаздывание τ_t может быть вызвано тем, что датчик и регулирующий орган находятся на значительном расстоянии, наличием в объекте участков (транспортных устройств), передача сигналов по которым требует некоторого времени.

Переходное запаздывание τ_n (иногда его называют емкостным) – это промежуток времени от момента возмущения до начала изменения параметра. Например, для изменения температуры воздуха в помещении необходимо некоторое время на прогрев потолка, стен, пола и предметов, находящихся в помещении, после чего в нем установится заданная температура.

2. Понятие о законах регулирования

Законом регулирования называют математическую зависимость, в соответствии с которой управляющее воздействие на объект U формировалось бы безынерционным регулятором в функции от ошибки системы x .

Наиболее распространенными (типовыми) являются следующие законы регулирования.

Пропорциональный закон регулирования характеризуется пропорциональной зависимостью (рис. 1.30, а) между управляющим воздействием на объект U и ошибкой регулирования x :

$$U = k_1 x.$$

Интегральный закон: управляющее воздействие на объект формируется пропорционально интегралу ошибки (рис. 1.30, б):

$$U = k_2 \int_0^t x dt.$$

Интегральное регулирование может быть осуществлено с помощью каких-либо интегрирующих звеньев.

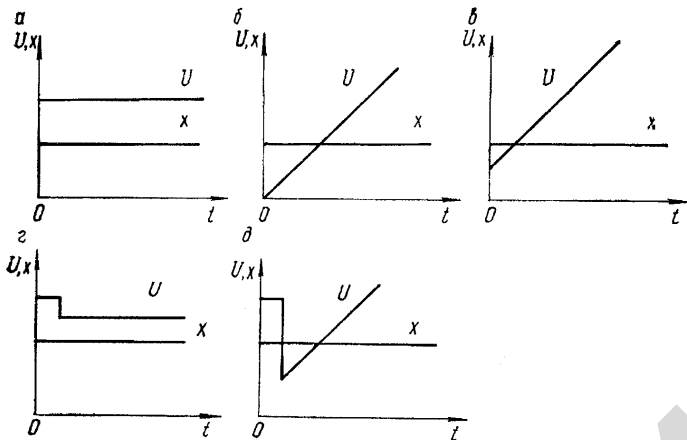


Рис. 1.30. Законы регулирования

Пропорционально-интегральный закон объединяет два закона регулирования: пропорциональный и интегральный (рис. 1.30, в). Управляющее воздействие на объект формируется пропорционально ошибке и интегралу ошибки:

$$U = k_3 \int_0^t x dt + x k_1.$$

Регулирование по интегральному и пропорциональному законам называется также изодромным регулированием. Последнее сочетает

в себе высокую точность интегрального регулирования (астатизм) с большим быстродействием пропорционального регулирования.

Пропорционально-дифференциальный закон. Регулирование по первой производной от ошибки (принцип Сименсов) не имеет самостоятельного значения из-за того, что в установившемся состоянии производная от ошибки равна нулю (регулирование прекращается):

$$U = k_4 \frac{dx}{dt} = k_4 p x \text{ — (дифференциальный закон).}$$

Поэтому используется пропорционально-дифференциальный закон регулирования (рис. 1.30, з), что позволяет учитывать не только наличие ошибки, но и тенденцию к росту или уменьшению ее, управляющее воздействие на объект формируется пропорционально ошибке и производной ошибки:

$$U = k_1 x + k_4 \frac{dx}{dt}.$$

Пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования объединяет три закона (рис. 1.30, д) и математически выражается:

$$U = k_1 x + k_2 \int_0^t x dt + k_4 \frac{dx}{dt}.$$

Включение интеграла в закон регулирования приводит к исключению статической ошибки (т. е. к астатичности регулятора), а включение в этот закон производной позволяет регулятору работать с предварением (постоянная дифференцирования называется временем предварения).

Позиционные законы управления, когда управляющее воздействие на объект принимает ряд дискретных значений в зависимости от ошибки системы.

3. Классификация автоматических регуляторов, их выбор и настройка

Автоматический регулятор – устройство или совокупность устройств, с помощью которых осуществляется управление главным технологическим параметром (физической величиной).

Основной классификационный признак автоматических регуляторов – закон регулирования. В соответствии с этим признаком основные типы регуляторов – позиционные и непрерывного действия. Последние, в свою очередь, делятся на пропорциональные; интегральные; пропорционально-интегральные; пропорционально-дифференциальные и пропорционально-интегрально-дифференциальные.

Пропорциональным (П-регулятором) называется регулятор, у которого перемещение рабочего органа пропорционально ошибке регулирования.

Основным достоинством П-регуляторов является их относительная простота, отсутствие корректирующих устройств. Однако точность работы этих регуляторов невысока, т. е. реализация пропорционального закона регулирования приводит к появлению статической ошибки. Поэтому П-регуляторы иногда называются статическими.

Параметром настройки для П-регулятора является коэффициент усиления k_p . Величина обратная статическому коэффициенту передачи регулятора $1 / k_p$ называется коэффициентом неравномерности, а величина $(1 / k_p) 100$ – степенью неравномерности, или диапазоном дросселирования D .

Интегральным или астатическим, называется регулятор, у которого при отклонении регулируемого параметра от заданного значения регулирующий орган будет перемещаться до тех пор, пока регулируемый параметр не достигнет заданного значения.

В динамическом отношении И-регулятор представляет собой интегрирующее звено.

И-закон регулирования в регуляторах получается тогда, когда структурная схема составлена из последовательно включенных усилительного и интегрирующего звеньев.

Если в состав регулятора входят и другие звенья, то последние должны быть охвачены глубокой отрицательной обратной связью. В качестве интегрирующего звена может быть какой-либо интегрирующий привод (гидравлический сервопривод, электродвигатель постоянного тока и др.).

Параметром настройки для И-регулятора является постоянная времени интегрирования $T_{ин}$.

Пропорционально-интегральным (ПИ-регулятором) называется регулятор, который перемещает рабочий орган на величину, пропорциональную сумме отклонения и интеграла отклонения регулируемой величины.

Пропорционально-интегральный регулятор в динамическом отношении эквивалентен пропорциональному с коэффициентом передачи k_p и И-регулятору с коэффициентом передачи $1 / T_{ин}$, соединенным параллельно.

Параметрами настройки ПИ-регулятора являются коэффициент передачи k_p и постоянная времени $T_{ин}$.

Пропорционально-дифференциальным (ПД-регулятором) называется регулятор, который перемещает рабочий орган пропорционально отклонению и скорости отклонения регулируемой величины.

Параметрами настройки ПД-регулятора являются коэффициент передачи k_p и время предварения $T_{п}$ (время дифференцирования). Регуляторы ПД выполняются обычно непрямого действия.

Предварение у ПД-регуляторов бывает прямое и обратное. Прямое предварение проявляется во временном увеличении коэффициента передачи, а обратное – в уменьшении его.

ПД-регуляторы уменьшают колебания и ускоряют затухание переходного процесса.

Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД-регуляторы) перемещают рабочий орган пропорционально отклонению, интегралу и скорости отклонения регулируемой величины.

ПИД-регуляторы применяются на объектах регулирования, не допускающих статической неравномерности, у которых нагрузка меняется часто и резко и имеется запаздывание. ПИД-регулятор имеет три параметра настройки: k_p , $T_{ин}$, $T_{п}$.

Автоматические регуляторы так же, как и системы автоматического регулирования, классифицируются по различным признакам.

По роду используемой для привода энергии регуляторы бывают электрические, гидравлические, пневматические и сочетающие их модификации.

Достоинства электрических регуляторов: широкие возможности по усилению, преобразованию, управление на больших расстояниях, возможность применения стандартных электро- и радиоэлементов. Недостатки: сложность исполнительных элементов, небольшой крутящий момент, развиваемый исполнительным элементом,

особенно при малых скоростях, невысокая безопасность, особенно в помещениях с агрессивной средой и др.

Преимуществом гидравлических регуляторов являются высокая надежность работы, хорошие динамические свойства исполнительных механизмов, значительные выходные усилия и моменты, высокое быстродействие. В случае применения минеральных масел – взрывобезопасны.

Достоинства пневматических регуляторов: взрывобезопасность, отсутствие сливных трубопроводов, высокое быстродействие, значительные усилия и моменты исполнительных механизмов и т. п. Недостаток – сжимаемость воздуха и значительная инерционность (по отношению к гидравлическим).

В зависимости от характера и числа регулируемых величин, принципа регулирования, источников энергии различают регуляторы давления, скорости вращения, напряжения, температуры и т. п.; работающие по отклонению (ошибке), по возмущению и комбинированные; прямого и непрямого действия; одномерные и многомерные.

Выбор регуляторов. Выбор регулятора зависит от свойств объекта регулирования, которые в основном определяются его динамической характеристикой (k_0 – коэффициентом передачи, τ – запаздыванием, T – постоянной времени).

П-регуляторы целесообразно применять в объектах с небольшим запаздыванием и изменением нагрузки, в системах, где допускается статическая ошибка. П-регуляторы не рекомендуются при колебательной нагрузке.

И-регуляторы используются для объектов со значительным самовыравниванием и небольшим запаздыванием, а также при малой и большой емкостях объекта и при медленно изменяющейся нагрузке.

ПИ-регуляторы применяются в объектах с любой емкостью, с большим запаздыванием ($\tau > 0,1T_n$), а также при больших и малых изменениях нагрузки. ПИД-регуляторы применяются в объектах с любой емкостью, при очень малой статической ошибке регулирования и при существенных запаздываниях в объекте.

Импульсные регуляторы лучше применять в объектах без большого запаздывания, при средней емкости объекта, где нагрузка постоянная или мало изменяется.

Двухпозиционные релейные регуляторы рекомендуется применять в объектах с большой емкостью, без большого запаздывания при

постоянной или мало изменяющейся нагрузке. Если сведений о динамических свойствах объекта недостаточно или они отсутствуют, выбор регуляторов производится по аналогии с действующими САУ.

Тип регулятора может быть ориентировочно выбран и по отношению τ / T . При $\tau / T < 0,2$ применяют релейный регулятор, при $\tau / T = 0,2-1$ – непрерывный и при $\tau / T > 1$ – импульсный. Если кривые разгона могут быть экспериментально сняты с действующих аналогичных объектов или они известны заранее для проектируемых объектов, то выбор регуляторов следует производить на основании расчета. Методика расчета для статических и астатических объектов изложена в специальной литературе.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое объект автоматизации? Назовите его характеристики.
2. Сформулируйте пропорциональный закон регулирования.
3. Сформулируйте интегральный закон регулирования.
4. Сформулируйте пропорционально-интегральный закон регулирования.
5. Сформулируйте пропорционально-дифференциальный закон регулирования.
6. Сформулируйте пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования.
7. Назовите основные правила выбора автоматических регуляторов.

ЛЕКЦИЯ 5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИБОРАХ И СРЕДСТВАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

План лекции

1. Понятие технического средства автоматики.
2. Классификация технических средств автоматики.
3. Основные характеристики средств автоматики.
4. Электронно-информационные системы сложной сельскохозяйственной техники.

1. Понятие технического средства автоматики

Любая самая сложная автоматическая система состоит из определенного комплекса элементов. Многообразие автоматических

систем порождает и многообразие элементов, которые представляют собой некие технические средства.

Технические средства (ТС) автоматизации – приборы, устройства и технические системы, предназначенные для автоматизации производства. ТС обеспечивают автоматическое получение, передачу, преобразование, сравнение и использование информации в целях контроля и управления производственными процессами и автоматизации производства. Развитие ТС автоматизации является сложным процессом, в основе которого лежат экономические интересы и технические потребности автоматизируемых производств, с одной стороны, и те же интересы и технологические возможности производителей ТС автоматизации, – с другой. Первичным стимулом развития является повышение экономической эффективности работы предприятий, благодаря внедрению новых, более совершенных ТС автоматизации.

В развитии экономических и технических предпосылок внедрения и использования ТС автоматизации ТП можно выделить следующие этапы:

1. Начальный этап, для которого характерны избыток дешевой рабочей силы, низкая производительность труда, малая единичная мощность агрегатов и установок. Благодаря этому самое широкое участие человека в управлении ТП, т. е. наблюдение за объектом управления, а также принятие и исполнение управляющих решений, на данном этапе было экономически оправданным. Механизации и автоматизации подлежали только те отдельные процессы и операции, управление которыми человек не мог осуществлять достаточно надежно по своим психофизиологическим данным, т. е. технологические операции, требовавшие больших мускульных усилий, быстроты реакции, повышенного внимания и др.

2. Переход к этапу комплексной механизации и автоматизации производства произошел благодаря росту производительности труда, укрупнению единичной мощности агрегатов и установок, развитию материальной и научно-технической базы автоматизации. На этом этапе, при управлении ТП человек-оператор все более занимается умственным трудом, выполняя разнообразные логические операции при пусках и остановках объектов, особенно при возникновении всевозможных непредвиденных обстоятельств, предаварийных и аварийных ситуаций, а также оценивает состояние объекта, контролирует и резервирует работу автоматических систем.

На данном этапе формируются основы крупносерийного производства ТС автоматизации, ориентированного на широкое применение стандартизации, специализации и кооперации. Широкие масштабы производства средств автоматизации и специфика их изготовления приводят к постепенному выделению этого производства в самостоятельную отрасль.

2. Классификация технических средств автоматики

ТС автоматики чрезвычайно разнообразны по выполняемым функциям, конструкции, принципу действия, характеристикам, физической природе преобразуемых сигналов и т. д.

В зависимости от того, как элементы получают энергию, необходимую для преобразования входных сигналов, они делятся на:

- пассивные;
- активные.

Пассивные элементы автоматики – это элементы, у которых входное воздействие (сигнал $x_{вх}$) преобразуется в выходное воздействие (сигнал $x_{вых}$) за счет энергии входного сигнала (например, редуктор). Активные элементы автоматики для преобразования входного сигнала используют энергию от вспомогательного источника (например, двигатель, усилитель).

В зависимости от энергии на входе и выходе элементы автоматики подразделяются на:

- электрические;
- гидравлические;
- пневматические;
- механические;
- комбинированные.

По выполняемым функциям в системах регулирования и управления элементы автоматики подразделяются на:

- датчики;
- усилители;
- исполнительные устройства;
- переключающие устройства;
- вычислительные элементы;
- согласующие элементы;
- вспомогательные элементы и т. д.

3. Основные характеристики средств автоматики

Любой элемент в САУ может рассматриваться в виде структуры, осуществляющей преобразование входного сигнала в выходной. В соответствии с таким представлением все элементы автоматики имеют общие технические характеристики и свойства, из которых можно выделить пять основных групп: статические, динамические, точностные, эксплуатационные и экономические.

К *статическим характеристикам* относятся: коэффициент передачи (чувствительность), линейность характеристики, предельные значения входных и выходных параметров (порог чувствительности, зоны нечувствительности или неоднозначности, параметры насыщения, рабочие диапазоны изменения сигналов и параметров), входная и выходная мощность, номинальные значения параметров и сигналов и т. п.

В качестве *динамических характеристик* рассматривают переходные характеристики, показатели качества переходного процесса (постоянные времени, демпфирования, перерегулирование, запаздывание) и ряд других параметров.

К *точностным характеристикам* относят статическую и динамическую погрешность.

Эксплуатационные характеристики связаны со стабильностью характеристик и параметров в условиях нормальной эксплуатации, устойчивостью к внешним возмущениям (термостойкостью, вибростойкостью и т. п.), временем подготовки к работе, безопасностью при эксплуатации, ремонтпригодностью и взаимозаменяемостью, размерами, энергоемкостью, сохраняемостью, энергообеспечиваемостью и т. п.

К *экономическим характеристикам* относятся надежность, стоимость, энергетический КПД, ресурс работы.

Статические характеристики описывают соотношения, существующие между величинами и их производными, когда система находится в установившемся состоянии. Существует несколько способов представления статических характеристик:

- графический;
- в виде таблиц;
- в виде алгебраических уравнений.

На рис. 1.31 приведены примеры статических характеристик элементов автоматики.

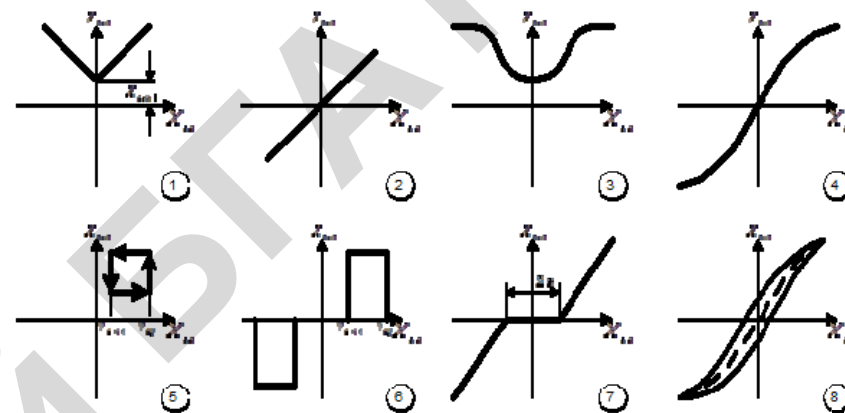


Рис. 1.31. Примеры статических характеристик элементов автоматики:

- 1 – линейная нереверсивная;
- 2 – линейная реверсивная;
- 3 – нелинейная нереверсивная;
- 4 – нелинейная реверсивная;
- 5 – релейная нереверсивная;
- 6 – релейная реверсивная;
- 7 – с зоной нечувствительности (явление сухого трения);
- 8 – для ферромагнитных элементов

Динамические характеристики задаются:

- графически, в виде временных характеристик;
- в виде дифференциальных уравнений или передаточных функций;
- в виде частотных характеристик.

По виду характеристик элементы подразделяются на *линейные* и *нелинейные*.

Общим для статических характеристик релейных элементов является наличие явления неоднозначности (гистерезиса), которое проявляется в неоднозначной связи выходного и входного параметров. Значение выходного параметра определяется не только значением входного параметра, но также предшествующим ему состоянием элемента.

4. Электронно-информационные системы сложной сельскохозяйственной техники

В последнее время многие производители приборов и оборудования для точного земледелия (ТЗ) придерживаются системы

стандартов ISOBUS (ISO11783), которая обеспечивает интеграцию и совместимость их продукции. При этом используют общие интерфейсы связи в тракторах и машинах, осуществляющие обмен данными между приборами разных производителей без дополнительных специальных устройств управления. Рассмотрим средства автоматизации, приборы и оборудование для высокоэффективной реализации точной технологии производства зерна на базе современной техники: системы точного позиционирования агрегатов на местности; полевые и бортовые компьютеры; приборы автоматического и параллельного вождения, автоматического учета урожая, дистанционного зондирования состояния посевов, контроля качества проведения технологических операций. Отдельное внимание уделено важнейшему компоненту систем ТЗ – программному обеспечению.

Системы точного позиционирования агрегата на поле. Применение систем позиционирования дает возможность наиболее эффективно провести вспашку, дифференцированно внести удобрения, средства защиты растений, посеять сельскохозяйственные культуры, составить карты плодородия и урожайности.

Система позиционирования включает антенну-приемник глобальных позиционных систем GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия), устанавливаемую на агрегат и пеленгующую сигналы со спутников, находящихся в зоне приема. Для точного определения местонахождения объекта в пространстве и во времени достаточно получать сигналы с 3–4 спутников (из 24), вращающихся вокруг Земли. Точность определения местонахождения объекта находится в диапазоне от нескольких метров до 1 см.

Автоматические почвопробоотборники. Отбор проб для получения информации об уровне плодородия почвы на каждом элементарном участке поля является первым, наиболее сложным и трудоемким элементом системы ТЗ.

До конца не решен вопрос о выборе размера и формы элементарного участка для каждого конкретного поля, что зависит от многих факторов. Уменьшение площади элементарного участка повышает количество проб, точность и качество дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений, но увеличивает затраты на агрохимическое обследование поля.

Почвопробоотборники позволяют автоматизировать и многократно ускорить процесс отбора проб для их последующего анализа

и создания электронной карты плодородия почвы. Для автоматизированного и ускоренного взятия почвенных проб и образцов на элементарных участках поля у нас и за рубежом созданы почвопробоотборники, монтируемые на различные энергетические средства.

Системы параллельного вождения (навигационные системы). Система параллельного вождения (автопилотирования) на базе GPS/ГЛОНАСС-навигации – технически совершенная и экономически выгодная технология управления сельскохозяйственными агрегатами, особенно широкозахватными.

Интегрированные системы автопилотирования встраиваются в гидравлическую систему самоходной техники. Специальный контроллер принимает указания GPS/ГЛОНАСС-приемника и преобразует их через дополнительный гидравлический контур в движение агрегата, так что с помощью этого устройства легко перенести номинальную точность GPS/ГЛОНАСС-приемника в точность на земле. При этом движение может быть прямо- или криволинейным. Перекрытия и пропуски между соседними проходами сводятся к минимуму (до 20 см), а при использовании базовых станций RTK – до 5 см; нет необходимости расставлять вешки, использовать маркеры. Система обеспечивает возможность работать ночью, в условиях плохой видимости, снижает утомляемость тракториста, повышает производительность труда.

Как правило, настройка автопилота заключается в выборе допустимых отклонений техники от курса. Оптимальная калибровка зависит от состояния почвы (влажность, тип), величины нагрузки, скорости движения, поэтому проводится каждый раз, когда меняются условия эксплуатации автопилота.

Все автопилоты оснащены системами-предохранителями, которые сами отключают автопилот в следующих случаях: перехват руля механизатором; отклонение трактора от курса; нажатие кнопки (педаль, рычага и т. п.); движение за пределами заданного скоростного интервала (чаще всего 2–40 км/ч). Кроме того, некоторые автопилоты отключаются при вставании механизатора с места. Любой автопилот можно также отключить вручную. В систему автопилота обычно входят гироскопы, которые позволяют свести к нулю погрешности, возникающие при движении по склону. Некоторые автопилоты могут самостоятельно остановить агрегат (приподнять культиватор, сеялку, остановить разбрасывание)

и развернуть технику, однако чаще всего эти действия должен совершить механизатор. Он же должен постоянно контролировать помехи, которые автопилот распознать не может.

Помимо гидравлических, существуют электрические интегрированные автопилоты, типичные для гусеничной техники, так как согласованием гусениц управляют дополнительные электронные устройства. Ход руля у такой техники, как правило, очень точный, без люфтов, так что реальной альтернативой интегрированному автопилоту на гусеничную технику может стать подруливающее устройство.

Экономический эффект применения системы состоит в том, что при обработке поля параллельными полосами отсутствуют перекрытия и огрехи, обеспечивается круглосуточная работа, снижается расход горючего, семян, удобрений и ядохимикатов, повышается производительность агрегата.

В настоящее время существуют системы двух уровней: полностью автоматизированная система, когда вмешательство механизатора в управление не требуется, и вспомогательная система – подруливающее устройство, когда механизатору нужно следить за препятствиями на пути и брать управление на себя при разворотах и на концах загона.

Системы картирования урожайности. Для измерения урожайности по ходу движения зерноуборочный комбайн оснащают датчиком урожайности, представляющим собой набор сенсоров (механических, оптических, радиационных, тензометрических). Датчик определяет массу потока зерна, прошедшего через элеватор за единицу времени. При этом одновременно определяется и влажность зерна, что позволяет исключить ошибки определения его массы, вызванные различием влажности. Навигационная система (GPS/ГЛОНАСС-приемник) определяет координаты комбайна на поле, которые записываются одновременно с сигналами датчиков урожайности зерна через определенные промежутки времени. Все сигналы обрабатываются компьютером. Итогом работы является детальная карта урожайности убранного поля, где разными цветами выделены зоны (участки) с разной урожайностью.

Компьютерный мониторинг урожайности – эффективный способ определения влажности и урожая на полях хозяйства. С учетом этих данных и исходя из оптимизации затрат и максимальной прибыли,

принимают решение о дифференцированной обработке средствами химизации. Возможна постановка и обратной задачи: снижение затрат в соответствии с потенциалом урожая на бедных почвах.

Сенсорные датчики. Применяются различные типы и системы сенсорных датчиков, которые устанавливаются на агрегатах, выполняющих, преимущественно, операции внесения жидких минеральных удобрений (ЖУ) и средств защиты растений (СЗР).

Датчики в реальном времени определяют основные параметры состояния почвы (или биомассы), которые необходимо учитывать для регулирования роста растений. С помощью компьютера и соответствующего программного обеспечения происходит обработка данных, определяется количество удобрений, необходимое для конкретного участка земли. Затем данные передаются на агрегаты, которые вносят удобрения.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений – одно из важнейших экономических и экологических аспектов ТЗ. Применение данной технологии и соответствующего оборудования позволяет значительно сократить затраты на удобрения, т. е. вносить их в зависимости от потребности почвы, а также обеспечивает оптимальное содержание питательных веществ в почве. Во время проведения работ, при условии наличия GPS-оборудования, строится карта внесения удобрения.

Полевые компьютеры и бортовые компьютерные системы. Внедрение ТЗ невозможно без использования переносных компьютеров. Однако они должны быть надежно защищены от неблагоприятных воздействий, типичных для полевых условий эксплуатации (грязь, масло, вибрация, удары при транспортировке, дождь, высокая влажность, солевые испарения и другие экстремальные воздействия окружающей среды). Различными компаниями выпускаются такие полевые компьютеры в «блочном» (Note Book, а в последнее время их уменьшенная разновидность – субноутбуки), «планшетном» (Tablet PC) и «карманном» (Pocket PC), или «наладонном», исполнении. Они могут использоваться и непосредственно как компьютеры специалистами хозяйств (для получения и передачи необходимой информации в полевых условиях) и в качестве основы бортовых компьютерных систем автомобилей, тракторов и других сельскохозяйственных машин. В состав таких систем обычно входят также GPS-приемники, различные датчики, коммутационные

блоки и контроллеры. Системы выполняют задачи, предусмотренные специальными пакетами программного обеспечения.

Программное обеспечение ТЗ. Успешное ведение современным агропромышленным предприятием производственной деятельности практически невозможно без использования ГИС-технологий и различных пакетов специального программного обеспечения, повышающего эффективность контроля и управления производством сельскохозяйственной продукции.

Геоинформационные системы (ГИС) – современные информационные комплексы для картографирования и анализа объектов реального мира. ГИС хранят информацию в виде набора тематических слоев, которые объединены на основе географического положения. Каждый слой представляет собой определенный набор однотипных объектов (дороги, реки, земельные участки, населенные пункты и т. п.). Путем отображения на электронной карте определенных слоев можно добиться составления картографического произведения любого типа (от картосхемы до топографической или тематической карты).

Программное обеспечение и оборудование, установленные на мобильном комплексе, позволяют создавать привязанные к координатам пространственные объекты, которые являются элементами геоинформационной базы данных для обследуемого поля. Программное обеспечение классифицируют по следующим признакам:

- 1) по срокам действия поддерживаемых процессов:
 - стратегические – планирование севооборотов, размеров посевных площадей, приобретение техники и т. д.;
 - тактические – планирование технологического цикла работ данного сезона;
 - оперативные – корректировка сроков и содержания работ данного сезона;
- 2) по специализации пользователей:
 - существует ряд специализированных пакетов программного обеспечения для агрономов, агроменеджеров, диспетчеров, бухгалтеров и др.; они используются при решении задач обмера и учета полей, планирования и проведения агрохимического обследования почв, мониторинга маршрута движения и функционирования подвижных объектов и др.;

- 3) по способу реализации:
 - в виде автономного пакета, используемого в одном предприятии;
 - в виде распределенной многофункциональной информационной системы, обеспечивающей сбор, обработку, анализ, хранение и отображение данных на множестве компьютеризированных рабочих мест, связанных между собой различными видами связи.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое ТС автоматизации?
2. Приведите классификацию ТС автоматизации.
3. Назовите основные характеристики средств автоматизации.
4. Назовите системы точного позиционирования агрегата на поле.
5. Приведите пример автоматического почвопробоотборника.
6. Приведите примеры полевых компьютеров и бортовых компьютерных систем.
7. Приведите пример системы параллельного вождения.
8. Приведите пример программного обеспечения ТЗ.

ЛЕКЦИЯ 6. ПЕРВИЧНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ДАТЧИКИ)

План лекции

1. Основные сведения о датчиках, характеристики, классификация.
2. Механические датчики.
3. Механические датчики с электроконтактами.
4. Потенциометрические датчики.
5. Тензометрические датчики.
6. Электромагнитные датчики.
7. Датчик Холла.
8. Электронные датчики.
9. Емкостные датчики.
10. Пьезоэлектрические датчики.
11. Фотоэлектрические датчики.
12. Радиотехнические и ультразвуковые датчики.
13. Датчики температуры.
14. Гидравлические и пневматические датчики.

1. Основные сведения о датчиках, характеристики, классификация

Датчиком называется устройство, предназначенное для преобразования информации, поступающей на его вход в виде некоторой физической величины, в другую функциональную физическую величину, удобную для использования в последующих элементах автоматической системы. Следовательно, датчик в общем виде можно представить состоящим из чувствительного элемента ЧЭ и преобразователя ПЭ (рис. 1.32). В случае, если в датчике не происходит преобразования сигналов, он включает только чувствительный элемент.

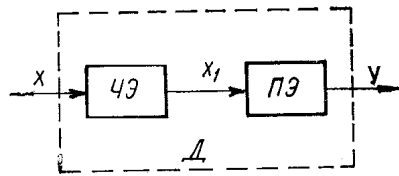


Рис. 1.32. Общий вид датчика

Большинство известных в автоматике и телемеханике датчиков преобразуют неэлектрическую контролируемую величину x в электрическую величину y (например, механическое перемещение в индуктивность или напряжение, температуру в ЭДС и т. п.) или неэлектрическую величину в неэлектрическую (например, механическое перемещение в давление воздуха или жидкости и др.). Следовательно, по роду энергии выходной величины различают электрические и неэлектрические датчики.

Все электрические датчики по принципу действия или производимого ими преобразования сигналов подразделяются на параметрические, преобразующие неэлектрические величины в электрические (сопротивление R , емкость C , индуктивность L), и генераторные, преобразующие неэлектрические величины в ЭДС. Наличие постороннего источника энергии является обязательным условием работы параметрического датчика.

К *параметрическим датчикам* относятся контактные, реостатные, потенциометрические, тензодатчики, терморезисторы, емкостные, индуктивные, электронные, фоторезисторные и др., к *генераторным* – термоэлектрические (термопары), индукционные, пьезоэлектрические, вентильные фотоэлементы.

Неэлектрические датчики подразделяются на механические, пневматические, гидравлические и др.

Датчики классифицируют по различным признакам, но прежде всего по виду измеряемой величины и принципу действия.

Основными характеристиками датчиков являются: статическая характеристика, чувствительность, порог чувствительности, динамическая характеристика, погрешность преобразования, выходная мощность и выходное сопротивление.

Статическая характеристика показывает зависимость выходной величины y от входной величины x :

$$y=f(x).$$

Чувствительность, или *коэффициент преобразования*, представляет собой отношение выходной величины y к входной величине x .

Для датчиков с линейной статической характеристикой (рис. 1.33, кривая 1) чувствительность постоянная:

$$k_c = \frac{y}{x}.$$

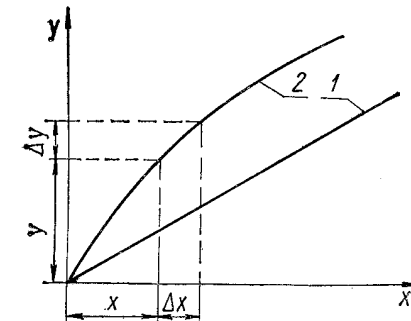


Рис. 1.33. Статические характеристики датчиков

Для датчиков с нелинейной характеристикой кривую 2 чувствительности называют дифференциальной и для разных точек характеристики определяют по формуле:

$$k_d \approx \frac{dy}{dx} = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

Порогом чувствительности называется минимальная величина на входе датчика, которая вызывает изменение его выходной величины.

Порог чувствительности вызывается как внешними, так и внутренними факторами (трение, люфты, гистерезис, помехи и др.).

Абсолютная погрешность датчика (ошибка) есть разность между действительным значением выходной величины y' и ее расчетным значением y , т. е.:

$$\Delta y = y' - y.$$

$$\text{Относительная погрешность } \gamma = \frac{\Delta y}{y} 100.$$

Динамические свойства датчиков определяются по динамическим (временным и частотным) характеристикам.

2. Механические датчики

Наиболее простыми средствами получения информации о различных параметрах сельскохозяйственных технологических процессов (о расположении растений, корней свеклы, маркерной борозды, наличии корма на транспорте, уровня воды в емкости и др.) служат механические датчики – щупы, стержни, ползки, катки и т. п.

Механический чувствительный элемент (щуп) связан, как правило, с преобразовательно-усилительным силовым замыканием с источником информации (рис. 1.34). звеном и находится в состоянии Определенная силовая настройка щупа позволяет выделить полезный сигнал, например, культурные растения, поэтому его тип выбирают в зависимости от физико-механических свойств источника информации.

На рис. 1.34, *а* ползков *1* кинематически через тягу *2* связан с преобразователем *3* типа сопло-заслонка, формирующим давление p_y , пропорциональное усилию сжатия пружины *4*. Поршень *5* выполняет функцию заслонки. На рис. 1.34, *б* посредством рычажной системы и демпфирующего устройства *2* ползков *1* соединен с гидрораспределителем *3*, который вырабатывает управляющий сигнал.

На рис. 1.34, *в* копиры *1*, движущиеся по рядам свеклы, при сближении на угол рассогласования ϵ посредством тяги *2* вызывают смещение x золотника гидрораспределителя *3*.

Если пренебречь упругостью механизма передачи, то для малых отклонений $x = k\phi$.

На рис. 1.34, *г* приведена схема чувствительного элемента системы регулирования высоты среза ботвы корнеуборочными машинами.

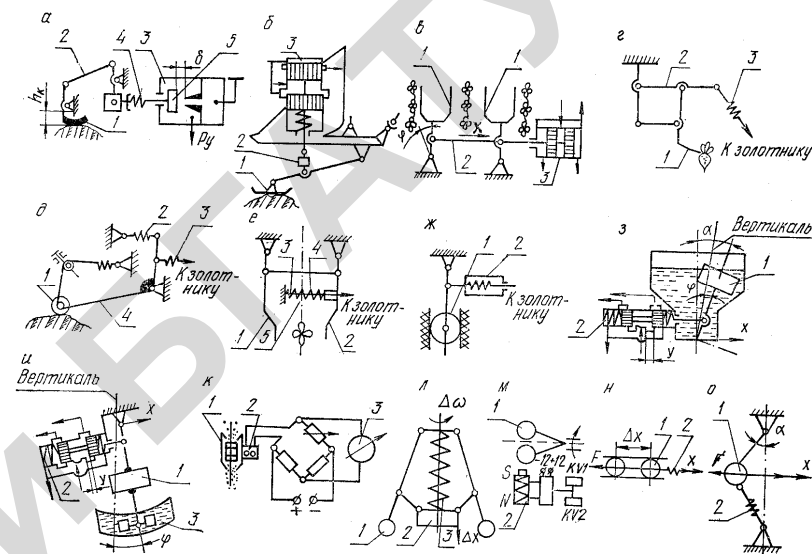


Рис. 1.34. Механические датчики

Чувствительный элемент (рис. 1.34, *д*) состоит из копирующих катков *1* (обычно их четыре), связанных кинематически, уравнивающей пружины *2*, демпфера *3* и рычажной системы *4*, воздействующей на золотник гидрораспределителя.

На рис. 1.34, *е* приведена схема чувствительного элемента системы автоматизации пропашного культиватора при наличии пропусков растений в рядах. Щупы *1, 2* самоустанавливаются в нейтральное положение при отсутствии растений под действием пружин *8, 4*, надетых на штангу *5*, соединенную с золотником гидрораспределителя.

Механический чувствительный элемент для пропашного культиватора в виде копирующего колеса *1*, катящегося по дну борозды, прокладываемой при посеве, показан на рис. 1.34, *ж*. Для него из-за сухого трения в подвижных соединениях и зазоров в шарнирах характерна нелинейность типа «люфт»:

$$y = \begin{cases} -k_1(\alpha - x), & x > 0 \\ k_1(\alpha + x), & x < 0 \end{cases},$$

где k_1 – коэффициент усиления чувствительного элемента;
 α – величина люфта.

Для устранения угловых перемещений молотилок зерноуборочных комбайнов или крена остова машин при работе на склонах применяют следящие системы с измерительно-преобразующими устройствами, в которых поплавковый (рис. 1.34, з) или подвешенный (рис. 1.34, и) чувствительный элемент (маятник) 1 кинематически связан с золотниковым гидрораспределителем 2 и демпфером 3. Входной величиной для них является отклонение маятника от вертикального положения на угол φ , выходной – смещение у золотника из нейтрального положения.

В механическом устройстве для определения потерь зерна на конечном участке соломотряса зерноуборочного комбайна (рис. 1.34, к) зерно поступает на лопастное колесо 1, которое выполняет роль чувствительного элемента и установлено на валу электродвигателя 2 постоянного тока. Для измерения нагрузки на лопастном колесе применена мостовая схема, одним плечом которой является ротор электродвигателя 2. В измерительную диагональ включен показывающий прибор 3.

К механическим чувствительным элементам относятся также различные типы пружинных, маятниковых и осевых акселерометров. Так, в регуляторах скорости дизельных двигателей применяют центробежный преобразователь угловой скорости ω в механическое перемещение x муфты 2 (рис. 1.34, л), связанный с рейкой топливного насоса. Роль чувствительного элемента выполняет груз 1, роль задающего устройства – пружина 3.

На рис. 1.34, м показан регулятор загрузки двигателя. Он состоит из центробежного преобразователя 1 и магнитно-индукционного измерительного устройства 2 с электромагнитными реле KV^1 и KV^2 . Сигнал поступает через усилительно-преобразовательное устройство на вход индикатора, проградуированного в процентах относительно загрузки.

На рис. 1.34, н изображена упрощенная схема осевого акселерометра. Отклонение Δx груза 1 (чувствительного элемента) под действием силы инерции P от среднего положения определяется по формуле:

$$\Delta x = \frac{m}{c} \cdot \frac{dv}{dt},$$

где m и dv/dt – масса и ускорение груза;
 c – коэффициент жесткости пружины 2.

На рис. 1.34, о изображено как в маятниковом акселерометре с чувствительным элементом 1 и противодействующей пружиной 2 маятник с грузом отклоняется под действием силы инерции P . Жесткость пружины 2, препятствующей этому отклонению, подбирается так, чтобы угол отклонения маятника ее был пропорционален силе P и, следовательно, ускорению dv/dt . Вместо пружины ввиду ее неустойчивых свойств чаще используют электромагнитные устройства.

3. Механические датчики с электроконтактами

Механические измерительные устройства с электроконтактами могут быть построены по принципу непосредственного измерения регулируемой величины электрическим методом или определения ее механическим чувствительным элементом, воздействующим на электрические контакты. В устройствах первого типа используется принцип электрической проводимости сельскохозяйственных материалов.

На рис. 1.35, а показано механическое измерительное устройство с электроконтактами, используемое в электрогидравлическом регуляторе высоты среза зерноуборочного комбайна. Оно состоит из чувствительных элементов 1, вала 2, шарнирно закрепленного под режущим аппаратом жатки 3, и контактной группы. На конце вала установлен кулачок 4, воздействующий на конечный выключатель 5, который замыкает цепи электромагнитов управляющего золотника. При встрече с препятствием копиры приподнимаются и поворачивают вал с кулачком, который нажимает на кнопку конечного выключателя 5, последовательно размыкающего цепь электромагнита опускания и замыкающего цепь электромагнита подъема.

На рис. 1.35, б показан механический чувствительный элемент (щуп) 1 с электроконтактами 2, используемый в системе автоматического направления движения пропашного тракторного агрегата по борозде. Щуп 1, отклоняясь под воздействием стенок борозды, замыкает контакты 2, которые включены в цепь электромагнитов электрогидрозолотникового распределителя, управляющего гидрорегулятором.

Аналогичное устройство (рис. 1.35, в) используется в системе автоматического направления движения культиватора. При отклонениях рабочих органов культиватора в защитную зону рядков растений щуп 1, выполненный в виде поводка, поворачивается и замыкает один из контактов 2 реле 3 или 4 электрогидравлического золотника.

На рис. 1.35, *а* показан измеритель крена с чувствительным элементом в виде несвободного (двухстепенного) гироскопа. Он состоит из ротора 1, подвижной рамки 2, демпфера 3, упругой пластины 4, контактов 5, корпуса 6 и ограничительной пружины 7. Когда машина начинает наклоняться, корпус 6 гироскопа поворачивается вокруг оси подвижной рамки и пластина 4 замыкает посредством одного из контактов 5 цепь соответствующего реле электрогидравлического распределителя.

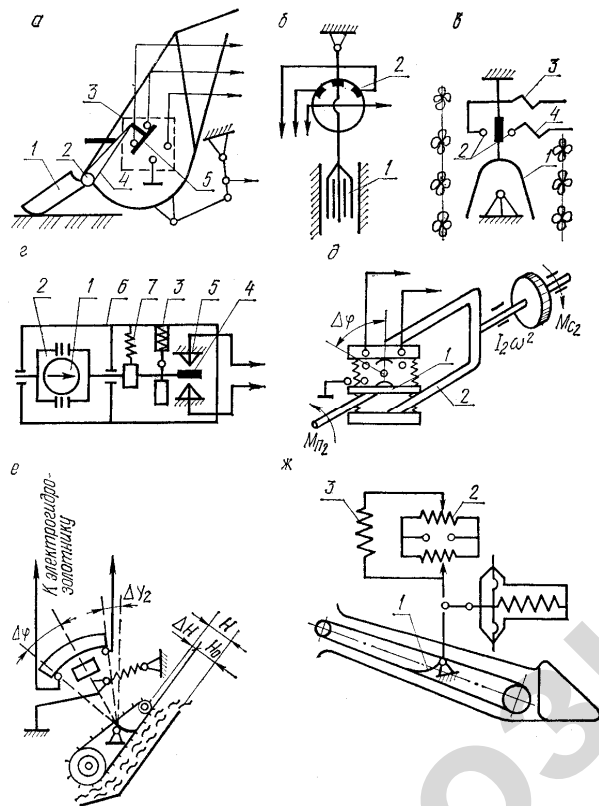


Рис. 1.35. Механические датчики с электроконтактами

На рис. 1.35, *б* показано электроконтактное измерительное устройство регулятора загрузки молотилки комбайна, выполненное на базе пружинного динамометра 1. Датчик встраивается между ведомым шкивом 2 и приводимым от него в движение молотильным барабаном.

Это устройство существенно изменяет свойства объекта, так как жесткая связь между барабаном и шкивом заменяется упругой.

Механический чувствительный элемент с электроконтактами (рис. 1.35, *в*) используется в электромеханическом регуляторе толщины слоя растительной массы, поступающей в молотилку зерноуборочного комбайна. Смещение $\Delta\varphi$ подвижного контакта относительно неподвижных пропорционально изменению толщины слоя ΔH и смещению контактной панели Δy_2 :

$$\Delta\varphi = k_2 \Delta y_2 - k_1 \Delta H.$$

Механический чувствительный элемент 1 с электроконтактами (рис. 1.35, *ж*), включенными в мостовую схему 2, используется в релейной системе загрузки молотилки зерноуборочного комбайна. Сигнал от чувствительного элемента 1 преобразуется мостовой схемой 2 в электрический сигнал, управляющий поляризованным реле 3 и электрогидрораспределителем.

4. Потенциометрические датчики

Потенциометрические устройства широко используются для преобразования линейного x или углового φ перемещений (входная величина) в электрический сигнал постоянного или переменного тока (выходная величина). Преобразование перемещений в напряжение (или ток) осуществляется в соответствии с требуемыми функциональными зависимостями $U = f(x)$, $U = f(\varphi)$.

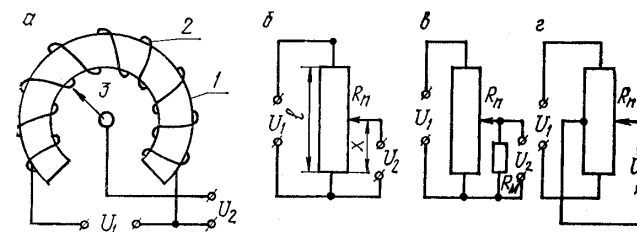


Рис. 1.36. Потенциометрические датчики

Конструктивно потенциометрическое измерительное устройство (рис. 1.36, *а*) состоит из каркаса 1 (прямого или кругового), обмотки 2 (из константы, манганина, изабелина, никелина) и движка 3. В последнее время находят применение непроволочные (пленочные)

потенциометры, в которых функцию обмотки выполняет пленка из благородного металла радия, нанесенная на стекло.

Если движок потенциометра связать с каким-либо первичным чувствительным элементом (мембрана, поршень и т. п.), то входной величиной может быть ускорение, усилие, давление и т. п.

Для устройств согласно схемам на рис. 1.36, а, б напряжение на выходе определяется из выражений:

$$U_2 = IR_\varphi = \frac{U_1}{R_n} R_\varphi = U \frac{\varphi}{\varphi_0} = k\varphi;$$

$$U_2 = IR_x = \frac{U_1}{R_n} R_x = U \frac{x}{l} = k_1 x.$$

Для схемы на рис. 1.36, в зависимость $U_2 = f(x)$ имеет нелинейный характер и только при значениях $R_m \rightarrow \infty$ приобретает линейный характер. Уменьшение нелинейности статической характеристики может быть достигнуто включением датчиков в мостовые схемы.

Для схемы на рис. 1.36, г:

$$U_2 = \frac{U_1}{2} \frac{x}{l} = \frac{k_1 x}{2}.$$

Применение потенциметрических измерительных устройств в системах сельскохозяйственной автоматики иллюстрирует рис. 1.37.

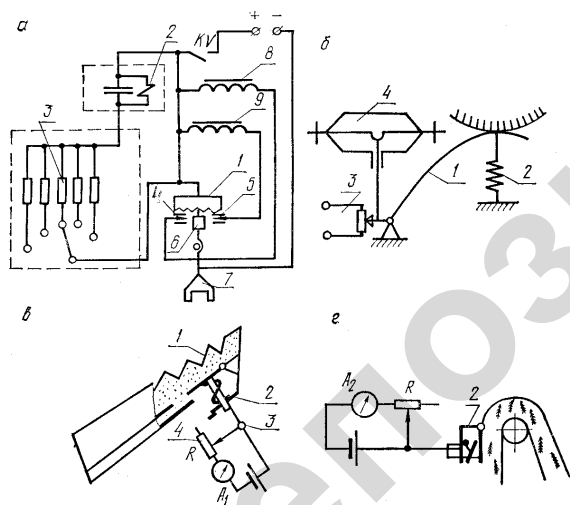


Рис. 1.37. Примеры применения потенциметрических датчиков

В автоматической системе управления тракторным агрегатом (рис. 1.37, а) копирующий щуп 7 нажимным контактом 6 соединяется с одним из контактов 4 или 5, замыкающих цепь управляющих соленоидов 8 и 9. Одновременно замыкается потенциометр 1 и через соответствующее сопротивление блока 3 подается сигнал в цепь импульсного элемента 2. После зарядки конденсатора срабатывает реле и его контакт KV размыкает цепь соленоида. Тем самым регулируется длительность и амплитуда управляющего сигнала.

Механический контактный щуп 1 (рис. 1.37, б) в системе автовождения комбайна, выполненный в виде флюгер-копира, закрепляется на левом полевом делителе и прижимается к бровке пружиной 2. Отклонение копира 1 с помощью потенциометра 3 преобразуется в электрический сигнал. Демпфер 4 служит для гашения высокочастотных колебаний флюгера. Усилие, действующее на флюгер со стороны бровки нескошенного хлеба, зависит от жесткости растений, от плотности хлебостоя, поэтому при изменении плотности хлебостоя будут выдаваться ложные сигналы.

Известна конструкция потенциметрических преобразователей для определения потерь зерна комбайном (рис. 1.37, в, г). К корпусу одной из клавиш соломотряса на конечном его участке шарнирно прикреплена плоская пластина 1, которая опирается на пружину 2 и соединяется рычажной передачей 3 с движком реостата 4. Отклонение пластины и соответствующее перемещение движка реостата зависят от количества находящегося на ней зерна.

Такое же устройство (рис. 1.37, г) размещено в верхней головке колосового элеватора и служит для определения потерь зерна недомолотом.

5. Тензометрические датчики

Тензометрирование широко используют для измерения малых перемещений, деформаций деталей. Принцип действия тензорезисторов основан на явлении тензоэффекта – изменении величины активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов под воздействием приложенных к ним механических напряжений. Основной их характеристикой является коэффициент тензочувствительности K , определяемый как отношение изменения сопротивления $\Delta R / R$ изменению деформации $\Delta L / L$.

У большинства проволочных тензорезисторов $K \cong 2$, а у полупроводниковых – $K \cong 100$.

Тензорезисторы бывают трех типов (рис. 1.38, а, б, в): проволочные на бумажной (типа 2ПКБ) и пленочной (типа 2ПКП) основе; фольговые прямоугольные (типа 2ФКПА и 2ФКПД), розеточные (типа 2ФКРВ, 2ФКРГ); полупроводниковые (типа КТД, КТДМ, КТЭ, КТЭМ, гедисторы Ю-8, Ю-12). Номинальный рабочий ток (допустимый) для проволочных тензорезисторов составляет примерно 30 мА, для фольговых – 0,5 А. Максимальная допустимая относительная деформация не превышает 0,3 %.

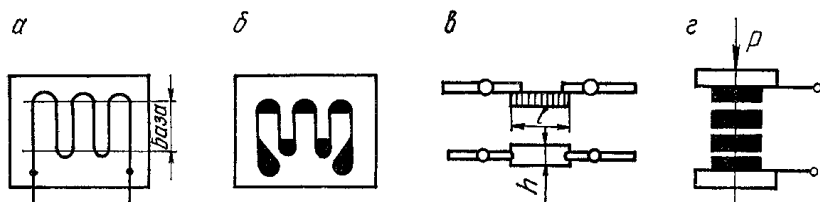


Рис. 1.38. Тензометрические датчики

К числу резисторных преобразователей относятся также угольные преобразователи (рис. 1.38, г). Принцип их действия основан на изменении контактного сопротивления R между частицами при изменении усилия P . Характеристика $R = f(P)$ угольного преобразователя нелинейна, т. е. он имеет переменную чувствительность. Поэтому выбирают рабочий диапазон с линейным участком характеристики.

При измерениях включают либо по потенциметрической (рис. 1.39, а) либо по мостовой (рис. 1.39, б) схемам.

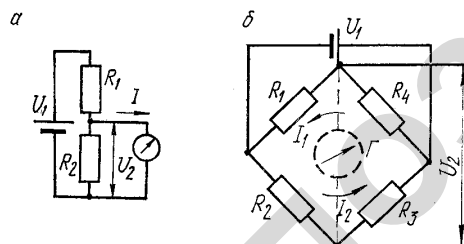


Рис. 1.39. Схемы включения тензометрических датчиков

Тензометрические измерительные устройства широко используют для измерений усилий, давлений, моментов.

6. Электромагнитные датчики

Принцип действия электромагнитных преобразователей основан на изменении индуктивности L магнитной системы под воздействием входной величины (перемещения, деформации, уровня, давления и т. п.). По виду преобразования электромагнитные устройства делятся на четыре группы: индуктивные, трансформаторные, магнитоупругие и индукционные.

Индуктивные датчики преобразуют изменения регулируемой величины в изменение индуктивного сопротивления обмотки. Они работают на переменном токе и состоят из катушки индуктивности 1, сердечника 2 и якоря 3 (рис. 1.40, а).

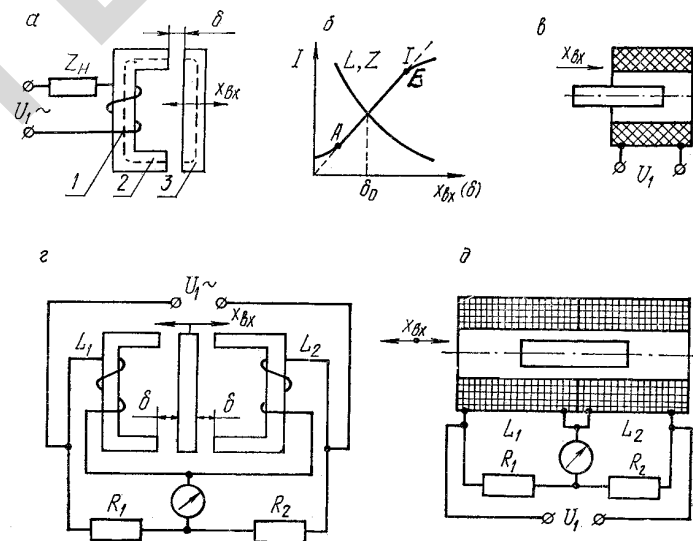


Рис. 1.40. Электромагнитные датчики

При перемещении якоря изменяется воздушный зазор δ , индуктивность катушки и ее полное сопротивление переменному току $Z = \sqrt{R_{ок}^2 + R_L^2}$.

Чувствительность индуктивного преобразователя обратно пропорциональна начальному зазору, т. е. $S = \frac{\Delta Z/Z}{\Delta \delta/\delta}$. Поэтому индуктивные

устройства особенно чувствительны при малых значениях входной величины и реагируют на ее изменения при 0,1–0,5 мкм. Статическая характеристика индуктивного преобразователя $I = f(\delta)$ (рис. 1.40, б) имеет изгибы в точках А и Б, поэтому величину первоначального зазора δ_0 следует выбирать в середине прямолинейного участка. Для устройства, изображенного на рис. 1.40, а, входное перемещение допускается от 0,01 до 5 мм, а для соленоидного преобразователя (рис. 1.40, в, д) от 3 до 100 мм.

Реверсивная схема включения (дифференциальный преобразователь), изображенная на рис. 1.40, д, з, является совокупностью двух нереверсивных схем при небольших отклонениях якоря. Выходной сигнал (ток, напряжение на нагрузке) в этом случае изменяется практически линейно, т. е. $I = k\delta$.

При переходе якоря через нулевое положение фаза выходного напряжения меняется на 180° .

Трансформаторные датчики являются разновидностью индуктивных. Принцип их действия основан на изменении взаимной индуктивности обмоток при перемещении относительно друг друга или при перемещении якоря датчика.

Трансформаторные датчики являются генераторными и подразделяются на две основные группы в зависимости от способа изменения взаимной индуктивности: а) с перемещающимся или поворотным якорем (рис. 1.41, а, б, в); б) с поворотной (обмотка укреплена на поворотной рамке) или перемещающейся обмоткой (обмотка находится на якоре). Датчики этого типа позволяют получить любое напряжение на выходе нагрузки независимо от величины напряжения источника питания. Во вторичной обмотке W_2 (рис. 1.41, а) датчика индуцируется ЭДС E_2 , величина которой находится в определенной зависимости от величины зазора δ . При $I = \text{const}$:

$$E_2 = w W_2 \Phi = f(\delta),$$

где w – угловая частота,
 Φ – магнитный поток.

На рис. 1.41, б приведена схема трехстержневого датчика с поворотным якорем. Первичная обмотка 1 питается от сети переменного тока. Вторичные обмотки 2 и 3 соединены последовательно и встречно. При нейтральном положении якоря магнитные потоки

Φ_1 и Φ_2 равны, и напряжение на выходе равно нулю. Отклонение якоря в ту или другую сторону приводит к изменению магнитного сопротивления цепей потоков Φ_2 и Φ_1 и на выходе появляется напряжение, которое пропорционально отклонению якоря:

$$U_{\text{вых}} = k\alpha.$$

Для трансформаторного датчика соленоидного типа (рис. 1.41, в)

$$U_{\text{вых}} = kU_1 \frac{W_2}{W_1} x_{\text{вх}},$$

где $x_{\text{вх}} = (0,1 - 0,2)l$.

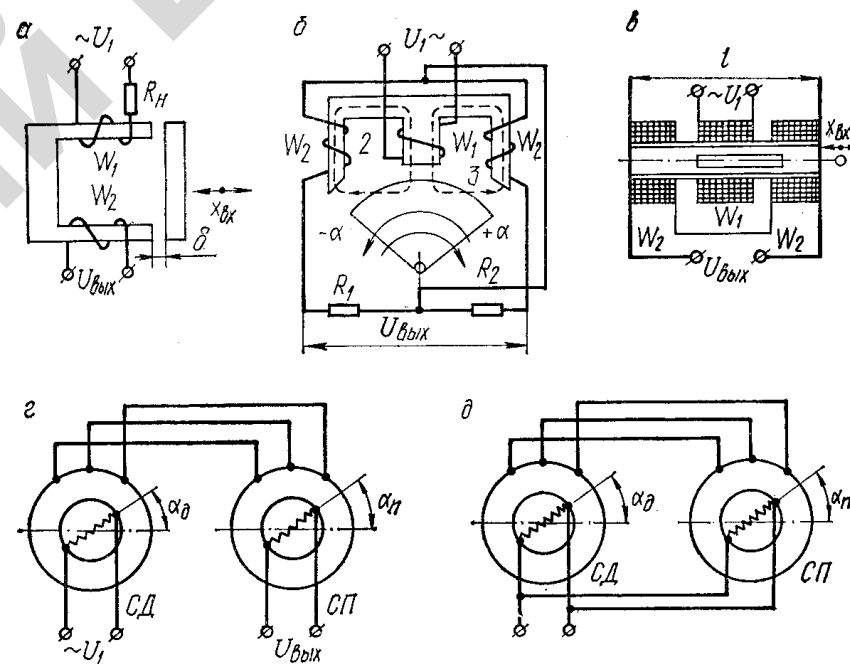


Рис. 1.41. Трансформаторные датчики

Чувствительность трансформаторных преобразователей составляет 0,5–3 мВ/мк на 1 В первичного напряжения.

Для измерения угловых перемещений трансформаторные датчики выполняются часто в виде электрических машин (вращающиеся

трансформаторы, сельсины), у которых первичная обмотка располагается на статоре, а вторичная – на роторе. Вращающиеся трансформаторы имеют по две перпендикулярные обмотки на статоре и роторе и приспособлены для работы в режиме синусно-косинусного вращающегося трансформатора и режима линейного вращающегося трансформатора.

Разновидностью вращающихся трансформаторов являются сельсины – специальные индуктивные миниатюрные машины. Контактные и бесконтактные сельсины подразделяют на сельсины-датчики, сельсины-приемники, дифференциальные сельсины и сельсины-трансформаторы. В пазах ротора обычного сельсина уложена одна обмотка возбуждения, а в пазах статора – три обмотки синхронизации, магнитные оси которых сдвинуты на 120° одна относительно другой. У бесконтактных сельсинов обмотка возбуждения и обмотка синхронизации располагаются на статоре. Индуктивная связь между обмотками осуществляется с помощью вращающегося ротора. Сельсины используются в основном в двух режимах: индикаторном (рис. 1.41, з) и трансформаторном (рис. 1.41, д).

Трансформаторный режим работы применяется при использовании сельсинов в качестве датчиков угла рассогласования следящих систем. В этом режиме выходное напряжение снимается с однофазной обмотки сельсина-приемника и при малых углах рассогласования $U_{\text{вых}} = k_{\text{вх}} = k (\alpha_{\text{д}} - \alpha_{\text{п}})$.

Из этого выражения видно, что сельсины могут быть использованы в трансформаторном режиме как устройства, измеряющие разность угловых перемещений.

В индикаторном режиме работы при повороте ротора сельсина-датчика под влиянием возникающего момента будет поворачиваться и ротор сельсина-приемника. Так как этот момент весьма мал, то индикаторный режим в системах автоматического управления не применяется. При повороте сельсином-приемником указателя какого-либо прибора (с малым моментом нагрузки) ошибка сельсинной передачи угла колеблется от $0,5$ до 5° .

В тех случаях, когда необходимо, чтобы угол поворота одного вала равнялся сумме углов поворота нескольких валов, используются дифференциальные сельсины. В роторе и статоре дифференциального сельсина уложено по три обмотки, магнитные оси которых сдвинуты на 120° .

Магнитоупругие датчики (рис. 1.42) конструктивно представляют собой магнитные сердечники той или иной конфигурации с расположенными на них одной или несколькими обмотками.

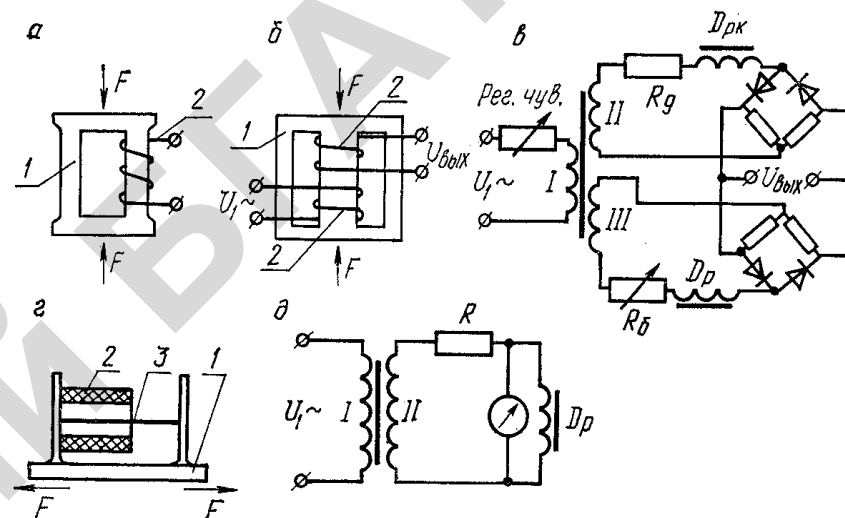


Рис. 1.42. Магнитоупругие датчики

Действие магнитоупругих датчиков основано на изменении магнитной проницаемости ферромагнитных тел, испытывающих воздействие сил или температуры (магнитоупругий эффект).

На этом принципе строятся датчики для измерения усилий или температуры. Под действием нагрузки происходит одновременное изменение магнитной проницаемости и линейных размеров сердечника.

Подобно тензорезисторам для этих датчиков определяют магнитоупругую чувствительность:

$$k = \frac{\Delta\mu/\mu}{\Delta l/l} = \frac{E}{\sigma} \frac{\Delta\mu}{\mu},$$

где $\Delta\mu/\mu$ – относительное изменение магнитной проницаемости;
 $\Delta l/l$ – относительная деформация.

Для железоникелевых сплавов типа пермаллой $k \approx 200\text{--}300$, несколько ниже эти значения для мягких и кремнистых сталей.

Нелинейность характеристики $\mu = f(F)$ ограничивает рабочий диапазон магнитоупругих преобразователей в пределах 15–20 % от предела упругости материала. На рис. 1.42, *з* представлен магнитоупругий датчик для измерения деформации с помощью пермаллового провода 3, помещенного внутри соленоида 2 и связанного с деталью 1. Деформация пермаллового провода приводит к изменению индуктивности соленоида.

Недостатком магнитоупругих преобразователей является зависимость магнитной проницаемости от температуры (погрешность составляет несколько процентов), величины тока в катушке, наличие в характеристике управления гистерезиса (погрешность около 1 %) и остаточных деформаций в железоникелевых сплавах.

На рис. 1.42, *б*, *в*, *д* показаны схемы включения магнитоупругих датчиков. Последовательная схема (рис. 1.42, *д*) состоит из последовательно включенных постоянного резистора R и датчика D_p . Недостатком этой схемы является наличие большого начального напряжения, что сужает разрешающую способность измерителя. Для компенсации начального напряжения применяется дифференциальная схема включения (рис. 1.42, *в*), состоящая из двух цепей, в которые включены измерительный дроссель D_p и компенсационный D_{pk} .

Индукционные датчики (рис. 1.43) относятся к типу генераторных. Принцип их действия основывается на явлении электромагнитной индукции – наведения ЭДС в электрическом контуре, в котором меняется магнитный поток. ЭДС E наводится независимо от причины изменения магнитного потока Φ (перемещается ли магнит в неподвижной обмотке или обмотка в постоянном магнитном поле):

$$E = -W_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Индукционные преобразователи подразделяются на два типа: с катушкой, имеющей линейное или угловое перемещение относительно постоянного магнита (рис. 1.43, *а*), т. е. $E = k\Phi dx/dt$, и с ферромагнитной деталью, перемещающейся относительно неподвижных магнита и катушки. Для большинства индукционных преобразователей статическая характеристика $E = f(x; \varphi)$ является линейной, погрешности составляют 0,5–1,5 %.

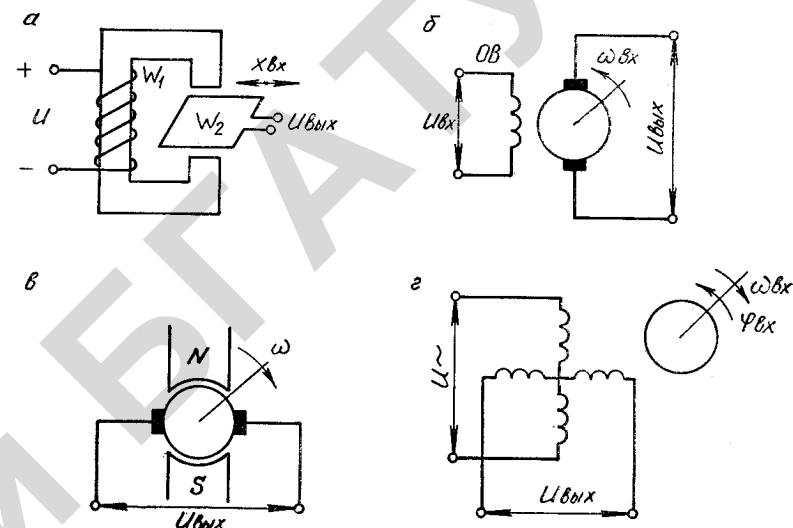


Рис. 1.43. Индукционные датчики

К индукционным датчикам относятся также тахогенераторы постоянного (рис. 1.43, *б*, *в*) и переменного тока (рис. 1.43, *г*), которые представляют собой миниатюрную электрическую машину с независимым возбуждением от магнитов или обмотки возбуждения. Для тахогенератора постоянного тока поток возбуждения Φ остается неизменным, следовательно, высокое напряжение $U_{\text{вых}}$, снимаемое со щеток тахогенератора, пропорционально скорости вращения вала. Поэтому тахогенераторы используются для определения угловых скоростей и ускорения.

7. Датчик Холла

Датчики магнитного поля в своем большинстве используют эффект Холла, открытый американским физиком Эдвином Холлом (E. Hall) в 1879 г. Эффект Холла состоит в следующем. Если проводник с током помещен в магнитное поле, то возникает ЭДС, направленная перпендикулярно и току, и полю. Эффект Холла иллюстрируется на рис. 1.44. По тонкой пластине полупроводникового материала протекает ток I . При наличии магнитного поля на движущиеся носители заряда (электроны) действует сила Лоренца. Эта сила искривляет траекторию движения электронов, что приводит

к перераспределению объемных зарядов в полупроводниковой пластине. Вследствие этого на краях пластины, параллельных направлению протекания тока, возникает ЭДС, называемая ЭДС Холла.

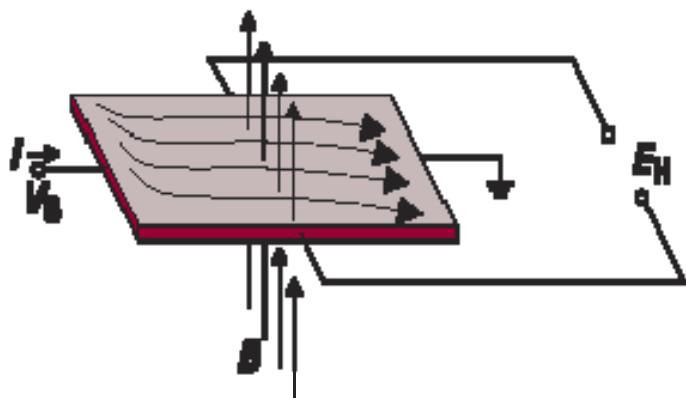


Рис. 1.44. Иллюстрация эффекта Холла

Эта ЭДС пропорциональна векторному произведению индукции B на плотность тока j :

$$E_H = \frac{d}{q_n} [B \times j],$$

где d – ширина пластины,
 q – заряд частицы-носителя,
 n – концентрация носителей.

При снижении концентрации носителей ЭДС Холла возрастает, поэтому в качестве материала для датчиков Холла предпочтительно использование таких полупроводников, как кремний, арсенид галлия и др. Для прямоугольной пластины с однородным током и магнитным полем, направленными, как показано на рис. 1.44, эта ЭДС равна:

$$E_H = k_H V_s B,$$

где k_H – постоянная Холла,
 V_s – напряжение, создаваемое на токоподводящих выводах датчика Холла.

Для кремния k_H составляет величину по рядка 70 мВ/(В·Тл), поэтому, как правило, ЭДС датчика Холла требуется усиливать.

Датчик Холла (рис. 1.45) применяется в автомобиле-тракторостроении для определения углового положения газораспределительного механизма в соответствии с положением коленчатого вала двигателя. Информация, поступающая от датчика положения распределительного вала, используется системой управления двигателем для управления впрыском и зажиганием. Функционально датчик связан с датчиком частоты вращения коленчатого вала двигателя.



Рис. 1.45. Датчик Холла

Принцип действия датчика Холла основан на изменении направления движения носителей заряда (изменении напряжения) в полупроводнике при изменении пересекающего его магнитного поля. Магнитное поле создается постоянным магнитом, расположенным в датчике. Изменение магнитного поля происходит при замыкании магнитного зазора репером (металлическим зубом). Репер располагается на зубчатом колесе распределительного вала или на специальном задающем диске, закрепленном на валу.

При прохождении репера мимо датчика в нем возникает импульс напряжения, передаваемый в электронный блок управления. В зависимости от частоты вращения распределительного вала сигнал от датчика Холла поступает в разные промежутки времени. На основании этих сигналов блок управления двигателем распознает положение поршня первого цилиндра в верхней мертвой точке такта сжатия, обеспечивает впрыск бензина и зажигание топливно-воздушной смеси.

На двигателях, оборудованных системой изменения фаз газораспределения, датчик положения распределительного вала используется

для управления данной системой. Датчики устанавливаются на распределительных валах впускных и выпускных клапанов.

Несколько иначе датчик Холла работает в системе управления дизельным двигателем. Здесь сигналы датчика используются для установления положения поршня каждого цилиндра двигателя в верхней мертвой точке такта сжатия. За счет этого достигается точное определение положения распределительного вала относительно коленчатого вала, соответственно быстрый пуск дизеля и устойчивая его работа на всех режимах.

Для реализации данных функций внесены конструктивные изменения в задающий диск, на котором установлены реперы для каждого цилиндра двигателя. Это могут быть сегменты разной угловой ширины или набор зубьев, расположенных на разном расстоянии друг от друга. Так, в четырехцилиндровом дизеле на задающем диске устанавливается семь зубьев: четыре основных – по одному на каждый цилиндр под углом 90° и три дополнительных – для распознавания конкретного цилиндра. Дополнительные зубья расположены на разных расстояниях от основных зубьев, чем достигается установление положения поршня в верхней мертвой точке такта сжатия для конкретного цилиндра.

При возникновении неисправности датчика Холла (отсутствии сигнала) система управления двигателем в своей работе использует информацию от датчика частоты вращения коленчатого вала. Двигатель продолжает работать и даже может повторно запускаться после остановки.

8. Электронные датчики

Электронный датчик (механотрон, рис. 1.46, а), преобразующий механические величины в электрический сигнал, представляют собой электронную лампу, отдельные электроды которой под влиянием внешних воздействий могут смещаться относительно других. Конструктивно механотрон представляет собой диод с перемещаемым анодом 2 или триод с перемещаемым анодом или сеткой. Механотрон выполняется так, чтобы под воздействием измеряемой величины (перемещения, усилия, ускорения) подвижный анод 2 перемещался параллельно неподвижному катоду 1. С увеличением расстояния между катодом и анодом напряженность электрического поля уменьшается, что приводит к уменьшению анодного тока.

Свойства любого механотрона характеризуются чувствительностью к перемещению по току K_i , напряжению K_u и силе K_p :

$$K_i = \frac{\Delta I_d}{\Delta L}; \quad K_u = \frac{\Delta U_d}{\Delta L}; \quad K_p = \frac{\Delta I_d}{\Delta p}.$$

При измерениях необходимо, чтобы механотрон был защищен от прямых потоков теплого и холодного воздуха, а колебания окружающей температуры не превышали $\pm 1^\circ\text{C}$ и направление механического воздействия было перпендикулярно к плоскости анодов. Линейность выходной характеристики механотрона с точностью не ниже 1 % сохраняется при сопротивлении анодных нагрузок, большем внутреннего сопротивления каждого диода в 2–2,5 раза.

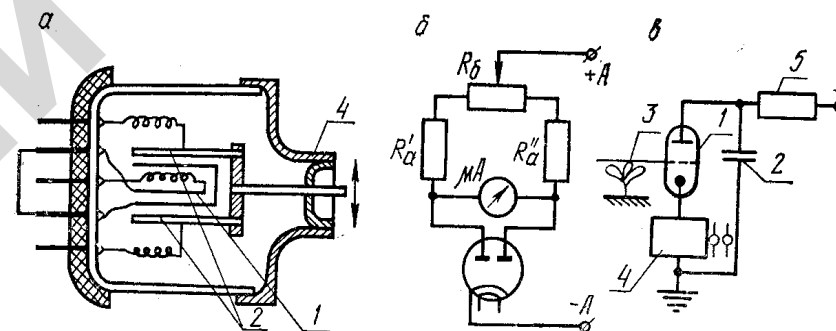


Рис. 1.46. Электронные датчики

На рис. 1.46, б показана схема включения механотрона в измерительную цепь. На рис. 1.46, в представлен тиратронно-механический преобразователь для обнаружения растений. В исходном состоянии тиратрон 1 потушен, а конденсатор 2 заряжен до напряжения источника питания. В случае прикосновения электродов 3 к растению тиратрон зажигается, срабатывает электромагнитное реле 4, являющееся источником информации о наличии растений. В момент включения тиратрона конденсатор разряжается через тиратрон и катушку до уровня напряжения затухания. Затем тиратрон гаснет, реле выключается, а конденсатор заряжается через резистор 5 до напряжения источника, и схема возвращается в исходное состояние.

9. Емкостные датчики

Емкостные датчики (рис. 1.47) представляют собой конденсаторы с изменяющимся зазором d (см) между обкладками, площадью перекрытия пластин F (см²) или диэлектрической проницаемостью ε (нФ/см). Изменение входной величины вызывает изменение емкости конденсатора.

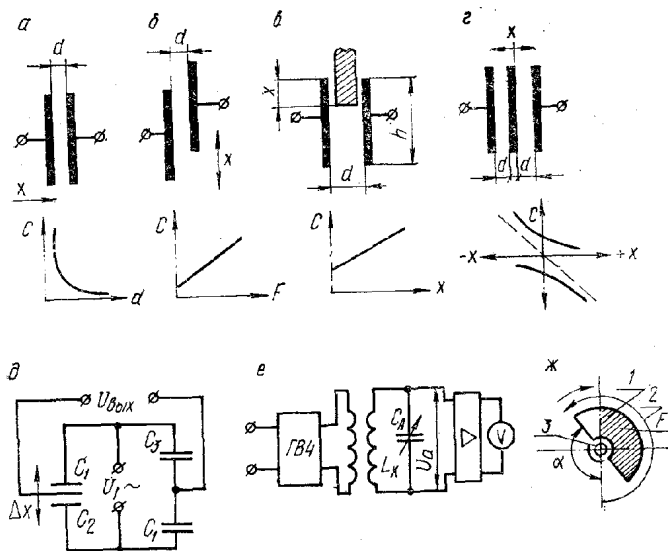


Рис. 1.47. Емкостные датчики

Емкость плоского конденсатора C и его сопротивление R_c определяются формулами:

$$C = 0,088 \frac{\varepsilon F}{d}, \text{ нФ},$$

$$R_c = \frac{1}{2\pi f C},$$

где f – частота питающей сети.

Емкостные преобразователи с переменным зазором между пластинами (рис. 1.47, а, б) служат для измерения линейных перемещений

с точностью до 0,1–0,01 мкм; с переменной площадью (рис. 1.47, б) для измерения линейных и угловых перемещений; с изменением диэлектрической проницаемости среды (рис. 1.47, в) – для измерения уровней, влажности, температуры, химического состава и пр.

Для повышения точности измерения и чувствительности применяется дифференциальное устройство (рис. 1.47, з), емкости которого включены в соседние плечи мостовой схемы (рис. 1.47, д). На рис. 1.47, е показана резонансная схема включения.

10. Пьезоэлектрические датчики

Пьезоэлектрические датчики (рис. 1.48) используются в сельскохозяйственной автоматике при измерении усилий, давлений, вибраций, для ориентации машин и в других случаях.

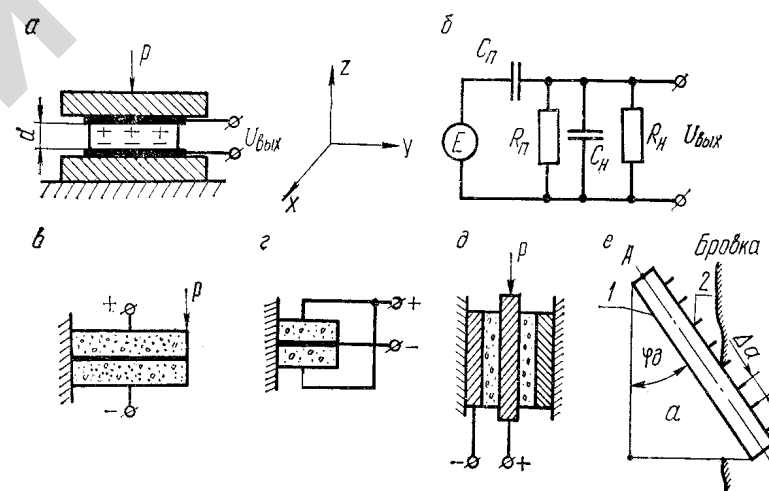


Рис. 1.48. Пьезоэлектрические датчики:

а, б – пьезоэлемент, работающий на сжатие, и его схема включения; в, г – элементы, работающие на изгиб; д – элемент, работающий на сдвиг

В них используется пьезоэлектрический эффект, сущность которого заключается в том, что под действием приложенного усилия на гранях некоторых кристаллов (кварца, титаната бария, турмалина, сегнетовой соли и др.) появляются электрические заряды (прямой пьезоэффект). При внесении пьезоэлемента в электрическое поле он деформируется (обратный пьезоэффект). В пьезоэлементах

различают три оси: оптическую Z и перпендикулярные к ней электрическую (пьезоэлектрическую) X и механическую Y . При действии силы P вдоль оси X (сжатие или растяжение), на гранях, перпендикулярных к оси X , возникают разнополярные электрические заряды Q (продольный пьезоэффект). При действии силы вдоль оси Y на тех же гранях также возникают разнополярные электрические заряды (поперечный пьезоэффект). При действии силы вдоль оси Z пьезоэффект отсутствует. Знаки зарядов определяются направлением силы P (растяжение или сжатие).

Количественно пьезоэффект оценивается пьезомодулем k_0 :

при продольном пьезоэффекте: $k_0 = Q_x / P_x$;

при поперечном пьезоэффекте: $-k_0 = \frac{f_y Q_y}{f_x P_y}$.

Пьезоэлемент представляет собой пластину кристалла 1 с обкладками 2 на гранях f_x (см. рис. 1.48, a). Напряжение между обкладками 2 при отсутствии нагрузки и без учета емкости измерительной схемы (см. рис. 1.48, b):

$$U_{\text{вых}} = \frac{Q_x d}{\epsilon f_x},$$

где ϵ – диэлектрическая постоянная материала пластины;

d – толщина пластины.

Промышленностью освоен выпуск пьезоэлементов на базе кварца и турмалина (ТБ-1, ТБК-3, ТБКС, НБС-1, ЦТС-19, ЦТС-23, ЦТБС-1, ЦТБС-3).

Выпускаются пьезоэлементы, работающие на изгиб (см. рис. 1.48, b , z) и на сдвиг (см. рис. 1.48, d). Пьезоэлемент, работающий на изгиб, состоит из двух одинаковых, склеенных между собой балок или пластинок 1 , между которыми находится металлическая фольга 2 .

При соответствующей поляризации элементов можно получить либо сумму напряжений (см. рис. 1.48, b), либо сумму зарядов (см. рис. 1.48, z). Пьезоэлементы, работающие на сдвиг, выполняют в виде колец 1 , в которые вклеен внутренний электрод 2 , вклеенных во внешний электрод 3 . При такой конструкции пьезоэлементы обладают малой боковой чувствительностью.

Если приложенная сила P_x постоянна, то с течением времени ($t \rightarrow \infty$) происходит стекание заряда и напряжение на выходе изменяется по экспоненциальному закону. Поэтому пьезоэлектрические элементы применяют в основном для измерения усилий, изменяющихся с частотой выше 15 кГц.

Выходное напряжение их обычно невелико, поэтому в системах автоматики они используются с усилителями.

На рис. 1.48, e показан пьезоэлектрический преобразователь системы автоматического вождения зерноуборочных комбайнов по бровке нескошенного хлеба. В стержневом корпусе 1 установлены пьезоэлементы в виброзащитных блоках из резины. Их воспринимающие части 2 в виде игл с одним или несколькими зубьями выступают на величину до 1 мм через отверстия в корпусе. Механические колебания воспринимающей части 2 вызывают появление механических напряжений в пьезоэлементе, вследствие которых возникает пропорциональная им ЭДС на основе пьезоэффекта. Преобразователь устанавливается на левом полевом делителе жатки комбайна под углом ϕ_d к продольной оси комбайна на высоте примерно 0,6 высоты растений.

11. Фотоэлектрические датчики

Широкое применение при автоматизации различных производственных процессов находят фотоэлектрические устройства, преобразующие световой поток в электрический сигнал. В настоящее время выпускают три вида таких преобразователей: с внешним фотоэффектом (вакуумные или газонаполненные, рис. 1.49, a); с внутренним фотоэффектом (фотосопротивления, рис. 1.49, b) и вентильные (полупроводниковые, рис. 1.49, $в$).

Основными характеристиками фотоэлементов являются:

– *световая* – зависимость фототока от освещенности $I_\phi = f(\Phi)$ (рис. 1.49);

– *спектральная* – зависимость чувствительности S_λ от длины волны λ падающих лучей $S_\lambda = f(\lambda)$;

– *вольт-амперная* – зависимость фототока от величины напряжения, поступающего на фотоэлемент $I_\phi = f(U)$;

– *частотная* – зависимость чувствительности от частоты изменения светового потока.

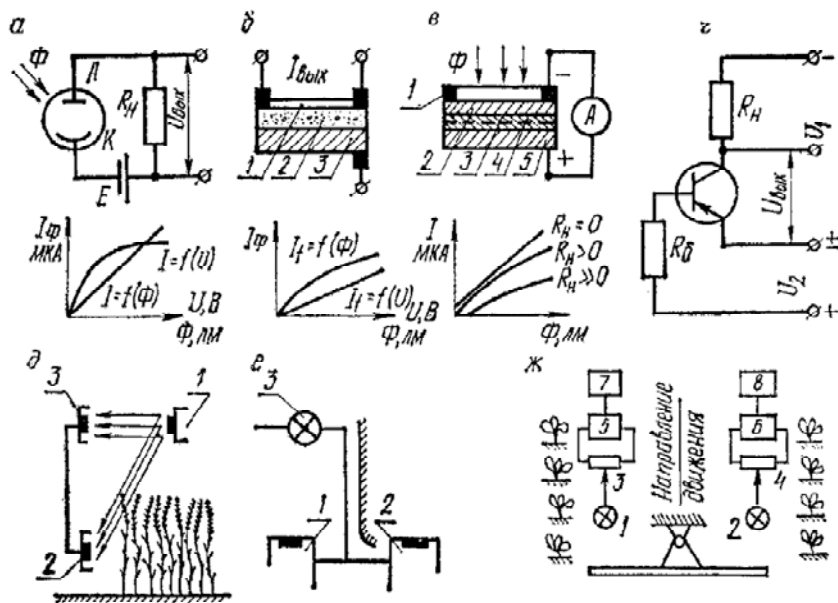


Рис. 1.49. Фотоэлектрические датчики

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом (рис. 1.49, а) представляют собой вакуумную или газонаполненную лампу, на внутреннюю стенку которой нанесен фоточувствительный слой, являющийся катодом. Под действием светового потока в катode возникают свободные электроны, которые под действием электрического поля перемещаются к аноду, создавая внутри фотоэлемента ток (фототок).

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом (рис. 1.49, б) представляют собой фотосопротивления (фоторезисторы), принцип действия которых состоит в том, что свободные электроны, образующиеся под действием светового потока в слое светочувствительного проводника 2, остаются (перераспределяются) в веществе, резко изменяя его сопротивление. Светочувствительный материал наносится на изоляционную подложку 3 и сверху покрыт защитной тонкой прозрачной лаковой пленкой 1. Наиболее часто применяются сернисто-кадмиевые (ФС-К), сернисто-свинцовые (ФС-А), сернисто-висмутовые (ФС-Б) и селенисто-кадмиевые (ФС-Д) фоторезисторы.

Фотоэлементы с вентильным фотоэффектом (рис. 1.50, в) работают на использовании явления, происходящего в переходе $p-n$

под воздействием светового потока. Они состоят из металлического основания 5, выполняющего роль нижнего электрода, слоя полупроводника 4, запирающего слоя 3, полупрозрачного слоя металла 2 и контактного кольца 1.

На рис. 1.50, д показан фотоэлектрический преобразователь бровки нескошенного хлеба, применяемый в системах автовождения комбайнов. При движении комбайна бровка находится между источником инфракрасного излучения и приемником 2. Электрический сигнал на выходе приемника 2 пропорционален толщине слоя растений между излучателем и приемником. Выходной сигнал приемника 8, расположенного выше растений, не зависит от смещения бровки и используется для компенсации влияния общей освещенности в поле на сигнал приемника 2. В качестве приемников 2 и 3 используют фоторезисторы. Недостатком преобразователя является то, что при изменении плотности хлебостоя или его высоты формируются ложные сигналы.

На рис. 1.50, е показано трехпозиционное оптическое устройство обнаружения бровки нескошенного хлеба для автоматического направления самоходного зернового комбайна. Оно содержит источник света 3 и два фоторезистора 1 и 2, которые при движении комбайна расположены по обе стороны бровки.

В устройстве обнаружения ряда растений системы автовождения пропашного агрегата (рис. 1.50, ж) при отклонении агрегата в сторону поворачиваются жестко связанные с ним и между собой источники света 1, 2 и фотосопротивления 3, 4. При этом луч света между соответствующим источником и приемником перекрывается растениями ряда и на выходе усилителя 5 или 6 изменяется сигнал, вызывающий срабатывание исполнительного механизма 7 или 8. Такое устройство может быть использовано, когда растения обладают достаточной высотой, чтобы перекрывать луч между источником и приемником, расположенными над почвой.

12. Радиотехнические и ультразвуковые датчики

В системах сельскохозяйственной автоматики находят применение бесконтактные радиотехнические и ультразвуковые устройства. Они используются там, где нельзя осуществить непосредственное измерение или контроль измеряемой величины.

На рис. 1.51, а показано бесконтактное радиотехническое устройство для обнаружения растений в начальной стадии их развития.

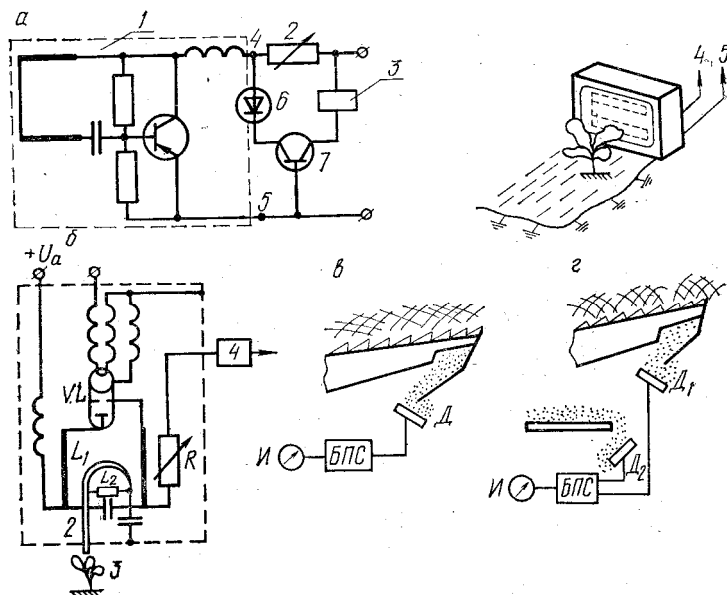


Рис. 1.51. Радиотехнические и ультразвуковые датчики

Воспринимающая часть 1 представляет собой транзисторный автогенератор метровых волн с колебательной системой, помещенный в экран с вырезом в стенке, обращенным в сторону набегающего ряда растений, и располагается вблизи поверхности почвы под углом к оси ряда. При наличии растений вблизи колебательной системы автогенератора изменяется его комплексное сопротивление, что вызывает дополнительные потери высокочастотной энергии, восполняемые источником питания. Вследствие этих изменений внутреннее сопротивление автогенератора увеличивается, напряжение в точках 4 и 5 повышается, что приводит к возрастанию величины тока через измерительный стабилитрон 6. Ток, протекающий через стабилитрон и вход усилителя 2, открывает его и вызывает срабатывание исполнительного реле 3.

В качестве чувствительного элемента к высокочастотному генератору может быть использован емкостный или антенный чувствительный элемент.

Другой тип высокочастотного устройства для обнаружения растений (рис. 1.51, б) содержит ультравысокочастотный генератор 1 с резонансной линией L_1 в качестве колебательного контура. К петле связи L_2 подключен чувствительный элемент 2. Подбором резистора R и величины анодного напряжения U_a автогенератор настраивается в недонапряженный режим, при котором значение сеточного тока лампы VL близко к нулю. Прикосновение электрода 2 к растению 3 приводит к резкому изменению сопротивления нагрузки генератора. Режим работы переходит в перенапряженный, что сопровождается скачкообразным увеличением тока лампы, который через резистор R поступает в блок обработки сигналов 4 и на вход исполнительного устройства. Подбором резистора R генератор настраивается таким образом, чтобы устройство реагировало на среду с определенной проводимостью.

Наиболее простые акустические датчики показаны на рис. 1.51, в, г у которых косвенным показателем потерь зерна служит проход зерна через конечный участок соломотряса. У датчиков (рис. 1.51, г) применен дополнительный чувствительный элемент, расположенный за станом очистки. Зерно, падая на чувствительный элемент — мембрану, возбуждает электрические импульсы, которые затем поступают в электронную часть прибора. Общим недостатком этих устройств является влияние на них показания не только зерна, но и примесей, находящихся в сходах соломотряса.

13. Датчики температуры

Датчики температуры, применяемые в системах сельскохозяйственной автоматики, подразделяются на тепломеханические (с механическими выходными сигналами) и термоэлектрические (с электрическими выходными сигналами).

Тепломеханические датчики (термобиметаллические, dilatометрические) используются в качестве воспринимающих элементов, преобразующих изменение фактического значения регулируемой температуры в перемещение (рис. 1.52, а).

Термобиметаллический датчик представляет собой узкую пластинку из биметалла, один конец которой закреплен неподвижно. При длине плоской пластинки l , значительно превышающей ее

толщину δ , перемещение свободного конца $x_{\text{вых}}$ при нагревании будет линейно зависеть от температуры $T_{\text{вх}}$ окружающей среды:

$$x_{\text{вых}} = kT_{\text{вх}} = k_1 \frac{l^2}{\delta} T_{\text{вх}},$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств материалов и толщины биметаллической пластинки.

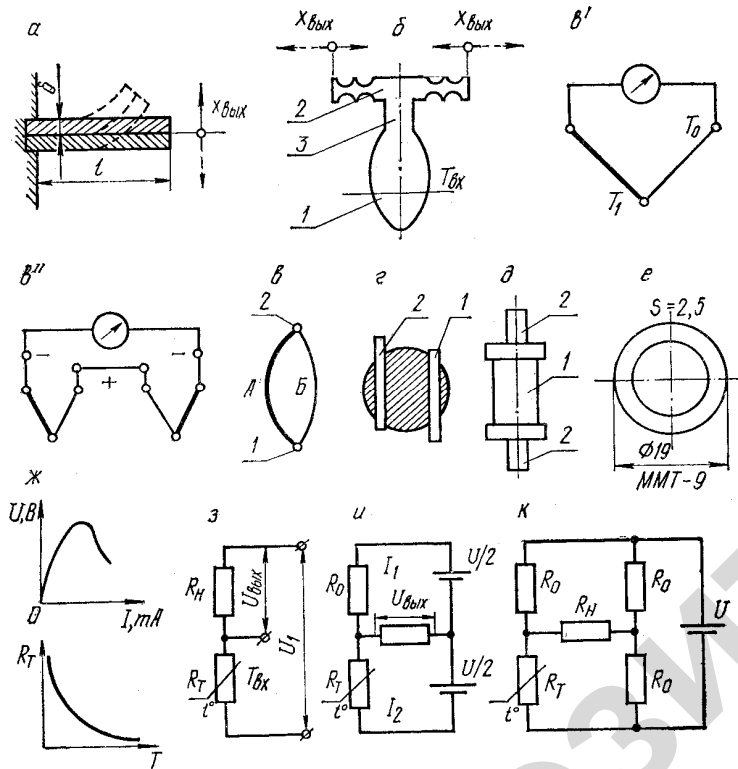


Рис. 1.52. Датчики температуры

Величину $k = k_1 \frac{l^2}{\delta}$ называют чувствительностью термобиметаллического датчика. При толщине пластинки в 1 мм и длине 100 мм свободный конец перемещается на 0,1–0,15 мм на 1 °C изменения температуры.

Термобиметаллические и дилатометрические датчики применяются для измерения температур в диапазоне от –60 до +450 °C. Погрешность преобразования составляет 1–5 %.

На рис. 1.52, б показан тепломеханический преобразователь с расширяющейся жидкостью или газом. Изменение температуры $T_{\text{вх}}$ металлического баллона 1 связано с изменением давления находящихся в нем жидкостей или газа, так как коэффициенты объемного расширения жидкостей и газов гораздо выше, чем металлов. При изменении давления перемещается свободный конец мембраны 2, связанный с баллоном через капилляр 3. В качестве термометрических жидкостей применяются амиловый спирт, ацетон, ртуть. Погрешности жидкостных преобразователей составляют 1–3 %.

В качестве газовых наполнителей применяют азот, гелий и др. Для азота нижний предел измерения составляет –195 °C, для гелия –269 °C, а верхний предел ограничивается теплостойкостью баллона.

Теплоэлектрические датчики – металлические и полупроводниковые терморезисторы (рис. 1.52, г, д, е), термопары (рис. 1.52, в), полупроводниковые диоды и триоды преобразуют изменение фактического значения регулируемой температуры и изменение электрического сопротивления, напряжения или тока.

Металлические терморезисторы изготавливают из чистых металлов (платины, меди, никеля, вольфрама) зависимость сопротивления которых от температуры может быть с весьма высокой точностью описана уравнениями третьей степени. Однако при обычных требованиях к точности ограничиваются квадратной или линейной зависимостью:

$$R_t = R_0(1 + \alpha_m T),$$

где R_0 – величина сопротивления проводника при 0 °C;

α – температурный коэффициент электрического сопротивления.

Чувствительный элемент металлического терморезистора помещается в стальной или латунный корпус с клеммной головкой и представляет собой обмотку из проволоки диаметром 0,04–0,08 мм, размещенную на изолированном корпусе, к концам которой припаиваются выводы из серебряной, а при температуре до 100 °C – из медной проволоки.

Чувствительность проволочных терморезисторов характеризуется температурным коэффициентом сопротивления:

$$K_{TC} = \frac{dR_T}{dT} = \alpha_{TC} R_0.$$

Из металлических терморезисторов наибольшее распространение получили термометры сопротивления типа ТСП (платиновые) и ТСМ (медные).

К числу достоинств следует отнести: высокую степень точности измерения (они позволяют измерять температуру с точностью до 0,001 °С), возможность выпуска измерительных приборов к ним со стандартной градуировкой шкалы, возможность использования их с информационно-вычислительными машинами.

Основными недостатками являются: большие размеры, не позволяющие использовать их для измерения температуры в малых объемах, значительная инерционность (постоянная времени до нескольких минут), необходимость в постороннем источнике питания и учете сопротивления подводящих проводов.

Полупроводниковые терморезисторы (термисторы, позисторы) конструктивно оформляются шариковой (рис. 1.52, з), трубчатой (рис. 1.52, д), дисковой (рис. 1.52, е) и другими формами. Характеристика управления термистора подчиняется убывающему экспоненциальному закону (рис. 1.52, ж), а вольт-амперная $U = f(I)$ имеет при определенном токе максимум.

Нелинейность характеристик ограничивает применение термисторов при измерениях температуры в узких пределах. Большой разброс по номинальному сопротивлению затрудняет их взаимозаменяемость.

Отечественной промышленностью выпускаются медно-марганцевые (ММТ), кобальто-марганцевые (КМТ), косвенного подогрева (ТКП) и другие термисторы для температур от –100 °С до +300 °С. Чувствительность термисторов в 5–30 раз выше чувствительности металлических терморезисторов. Для позисторов в области плюсовых температур сопротивление резко возрастает с увеличением температуры до предельного ее значения, а затем резко падает. В области отрицательных температур сопротивление позистора с увеличением температуры уменьшается.

Терморезисторы могут включаться в простейшие нереверсивные (рис. 1.52, з), дифференциальные (рис. 1.52, и) и мостовые (рис. 1.52, м) схемы.

Для измерения температуры могут использоваться также диоды и триоды (силовые диоды Д7А–Д7Ж). Полупроводниковые триоды обеспечивают чувствительность до 0,4 мВ/град, диоды до 2,2 мВ/град.

Термопары (рис. 1.52, в, в', в'') представляют собой спай из двух разнородных металлических проводников А и Б или полупроводников. Если спаи 1 и 2 поместить в среды с разными температурами T_1 и T_0 (горячий и холодный спай), то в контуре этих проводников возникает термоэлектродвижущая сила (термо-ЭДС).

Термопары применяются в системах автоматического регулирования и контроля в диапазоне температур от –200 до +2500 °С.

При температуре холодного спаи T_0 , равной нулю, величина термо-ЭДС:

$$E \approx aT_1 + bT_1^2 + cT_1^3,$$

где a, b, c – постоянные коэффициенты материалов термопары.

Чувствительность термопары обычно невелика и составляет для разных термопар 0,01–0,07 мВ/1 °С. Поэтому для увеличения выходного сигнала применяют последовательное соединение нескольких термопар (рис. 1.52, в''). Погрешности от нелинейности характеристик термопар достигают 5 %.

14. Гидравлические и пневматические датчики

Гидравлические и пневматические датчики преобразуют контролируемые и регулируемые величины различной физической природы в гидравлические и пневматические сигналы. Они состоят из гидравлических или пневматических измерительных устройств и преобразователей.

В качестве чувствительных органов в этих датчиках используют эластичные и упругие мембраны, сильфоны, трубчатые пружины, поплавки, термометрические баллоны, диафрагмы.

На рис. 1.53, а показан чувствительный элемент с упругой круглой мембраной 1 (резина, сталь), которая под воздействием давления p

прогибается, заставляя шток 2 смещаться на величину, пропорциональную приложенному давлению. Такие мембраны могут измерять давление от 10^4 до 10^8 Па.

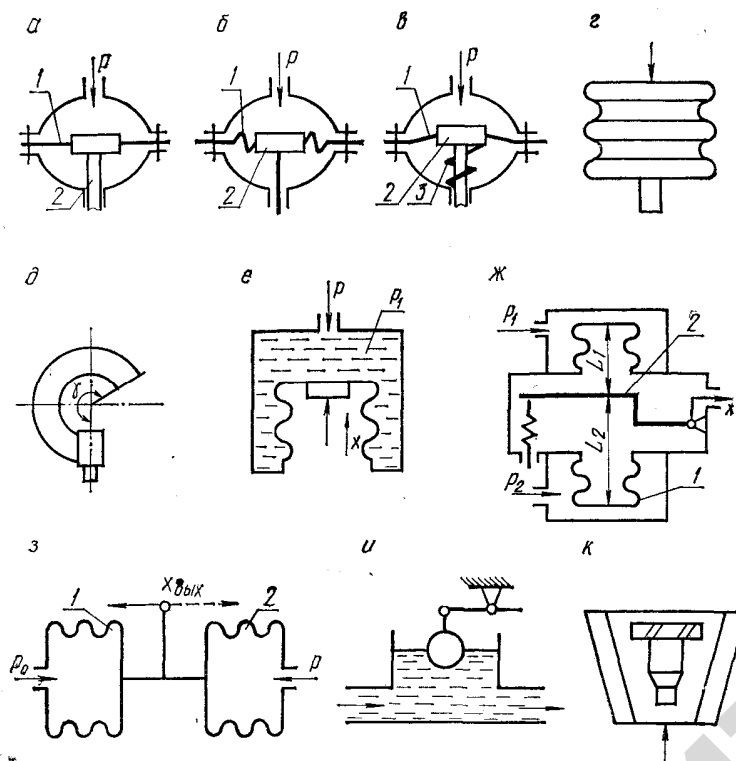


Рис. 1.53. Гидравлические и пневматические датчики

Чувствительный элемент с гофрированной мембраной 1 (рис. 1.53, б) служит для измерения давления от 1 до 10^6 Па. Гофрировка увеличивает чувствительность и ход штока 2, который может достигать нескольких миллиметров.

На рис. 1.53, в изображен чувствительный (релейный) элемент с хлопающей мембраной 1. Мембрана имеет вид купола из материала с высоким пределом упругости. С увеличением давления до какого-то максимального значения мембрана практически не прогибается. При давлении $p > p_{\text{макс}}$ мембрана достаточно быстро меняет свой прогиб на противоположный. При уменьшении давления ниже $p_{\text{макс}}$

под воздействием пружины 3 мембрана также скачкообразно восстанавливает свое исходное положение и форму.

Сильфонный упругий чувствительный элемент (рис. 1.53, г) представляет собой гофрированную трубку, имеет перемещения до нескольких сантиметров и используется в широком диапазоне давлений (от 10^{-1} до 10^5 кПа). Сильфон обычно устанавливают так, чтобы он работал на сжатие. При этом он выдерживает большое давление и имеет меньшую нелинейность характеристики, чем при растяжении.

На рис. 1.53, д показан трубчатый упругий элемент (пружина Бурдона), запаянный с одного конца и изогнутый в форме незамкнутого кольца. Сечение трубки чаще всего бывает овальным или эллипсным. Для увеличения хода свободного конца трубки применяют винтовые трубки.

На рис. 1.53, е показан чувствительный элемент с гармониковой мембраной, а на рис. 1.53, ж, з – дифференциальная и компенсационная измерительные схемы с сильфонными элементами. На рис. 1.53, и, к показаны поплавковые чувствительные элементы, применяемые для контроля уровня или расхода жидкости и газа. Поплавковые элементы представляют собой, как правило, полое тело, плавающее на поверхности жидкости и повторяющее все изменения ее уровня.

При изменении расхода жидкости или газа поплавков перемещается вверх потоком, протекающим снизу вверх по конусообразному трубопроводу. Каждому значению расхода соответствует одно устойчивое положение поплавка в трубопроводе. Косые прорезы на поверхности поплавка способствуют его вращению. Такое устройство называют ротаметром. Погрешность ротаметров составляет 2–2,5 %.

Гидравлические и пневматические преобразователи преобразуют контролируемую величину (скорость течения, расход и др.) в давление или расход жидкости или газа, входят в состав измерительно-преобразующих устройств и по принципу действия могут быть золотниковыми, струйными или дроссельными.

Золотниковый преобразователь (рис. 1.54, а) представляет собой втулку 1 с окнами, в которой перемещается плунжер 2 с поясками 3. Различают золотники с нулевым ($\Delta = 0$), положительным (отсечение, $\Delta > 0$) и отрицательным (проточные, $\Delta < 0$) перекрытиями.

При нейтральном положении ($x_{\text{вх}} = 0$) жидкость под давлением от насоса поступает через щель 5 в полости I и II в одинаковых количествах и через щели 4 и 6 на слив. Равенство расходов и перепадов давления во всех щелях обеспечивает одинаковые давления в камерах I и II и отсутствие расхода через исполнительный механизм.

Статические характеристики золотниковых преобразователей в общем случае нелинейны и зависят от величины $\delta_p \Delta$ и гидравлического сопротивления золотника.

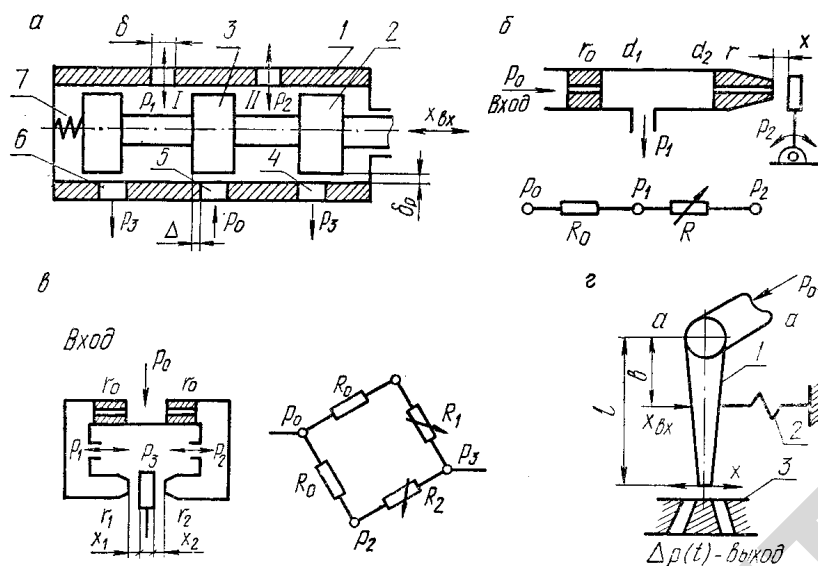


Рис. 1.54. Гидравлические и пневматические преобразователи

Для золотников с $\Delta = 0$ линейность характеристик сохраняется лишь в определенных пределах величины смещения x . Для золотников с $\Delta > 0$ управление становится существенно нелинейным. Однако эти золотники устраняют бесполезный расход рабочей жидкости при нейтральном положении плунжера.

Механопневматические золотниковые распределители по конструкции и принципу действия практически не отличаются от гидравлических.

Преобразователи типа сопло-заслонка (рис. 1.54, б, в) состоят из двух дросселей, один из которых представляет собой регулируемый

щелевой дроссель с соплом диаметром d_2 и заслонкой, другой – нерегулируемый дроссель диаметром d_1 и междроссельной камерой, давление в которой зависит от положения заслонки.

При полном перекрытии дросселя заслонкой ($x = 0$) давление p_1 в междроссельной камере определяется расходом жидкости через исполнительный механизм. По мере увеличения расстояния x расход Q через регулируемый дроссель возрастает, а давление в междроссельной камере уменьшается за счет увеличения перепада давлений на нерегулируемом дросселе R_0 .

Характеристика $Q = f(x)$ в общем случае нелинейна. Поэтому надо стремиться выбирать рабочую точку на линейном участке характеристики, которой соответствует начальный зазор x_0 между соплом и заслонкой. Обычно $x_0 = 0,5x$.

Если в качестве рабочей жидкости применяются минеральные масла, то $0 < x < (0,1 \dots 0,08)d_2$, а в пневматических устройствах $0 < x < 0,25d_2$.

Преобразователи типа сопло-заслонка имеют недостаток – в исходном положении бесполезно расходуют жидкость. При этом вырывающийся из сопла поток стремится отбросить заслонку, поэтому удержать ее в исходном положении способны лишь сравнительно мощные управляющие устройства.

С целью реверсивного управления, увеличения крутизны статической характеристики и уменьшения силового воздействия струй на заслонку применяют дифференциальные преобразователи (рис. 1.54, в). На этом же рисунке показаны аналоги преобразователей типа сопло-заслонка. Преобразователи с соплом и заслонкой обладают высокой чувствительностью к малым перемещениям заслонки.

Преобразователи со струйной трубкой (рис. 1.54, г) состоят из струйной трубки 1, способной поворачиваться вокруг оси, и силовой приемной головки 2 с двумя близко расположенными приемными соплами. В нейтральном положении, когда трубки расположены точно посередине между приемными соплами, жидкость, поступающая в нее от насоса, ускоряясь в конической насадке и формируясь в компактную струю, обладающую большой кинетической энергией, ударяет в приемные сопла, перекрывая одинаковые площади в каждом из них. Кинетическая энергия струи переходит в потенциальную энергию давления. При небольшом смещении трубки в ту или иную сторону под воздействием чувствительного

элемента давление в одном из сопел увеличивается, а в другом падает, что вызывает соответствующее смещение исполнительного механизма.

К недостаткам струйного преобразователя относятся малое быстродействие, холостой расход жидкости при нейтральном положении трубки.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите характеристики датчиков и приведите классификацию.
2. Приведите пример механических датчиков.
3. Приведите пример применения датчиков: потенциометрических; тензометрических; электромагнитных; электронных; емкостных; пьезоэлектрических; фотоэлектрических; радиотехнических и ультразвуковых; температуры; гидравлических и пневматических; Холла.

ЛЕКЦИЯ 7. ПРЕОБРАЗУЮЩИЕ, УСИЛИТЕЛЬНЫЕ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

1. Сравнивающие устройства.
2. Задающие устройства.
3. Усилительные устройства.
4. Исполнительные механизмы.

1. Сравнивающие устройства

Сравнивающие устройства в наиболее распространенном случае измеряют разность $x(t) = g(t) - y(t)$, пропорциональную отклонению управляемой величины $y(t)$ от ее заданного значения $g(t)$. На рис. 1.55 приведены некоторые наиболее распространенные в сельскохозяйственной автоматике сравнивающие устройства.

Например, сравнивающее рычажное устройство (рис. 1.55, е) выполняет функцию сложения (вычитания) двух сигналов. Оно состоит из стержней 1, 2, 3 и рычага 4. При перемещении стержня 1 на

величину $S_{\text{вх1}}$, а стержня 2 на величину $S_{\text{вх2}}$ стержень 3 переместится на величину $S_{\text{вых}}$.

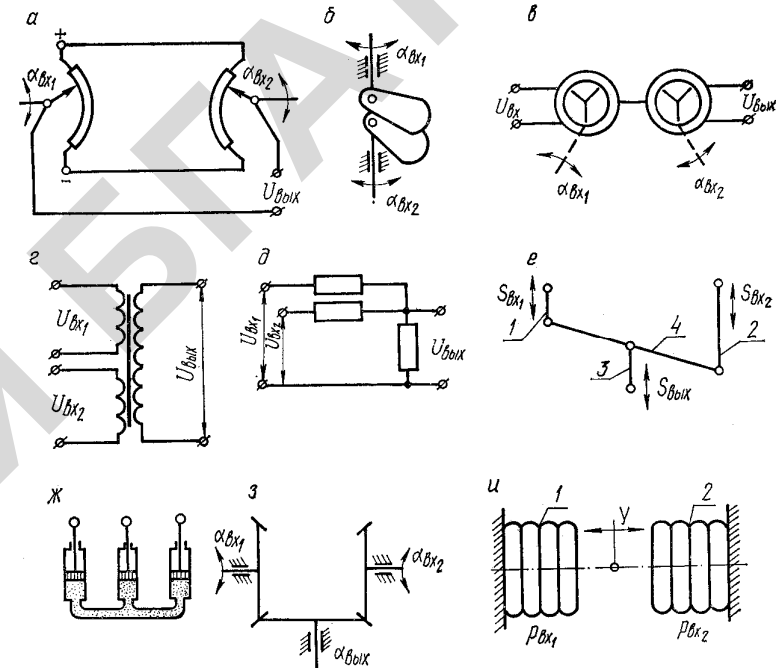


Рис. 1.55. Сравнивающие устройства

Из плана перемещений можно определить:

$$S_{\text{вых}} = S_{\text{вх1}} \frac{l_2}{l_1 + l_2} + S_{\text{вх2}} \frac{l_1}{l_1 + l_2}.$$

В механических суммирующих устройствах выполняется алгебраическое суммирование усилий или перемещений, при этом выходной величиной суммирующих устройств является перемещение.

В ряде случаев задача суммирования выполняется настолько просто, что специальное суммирующее устройство отсутствует. Примером может служить простейшее суммирующее (вычитающее) устройство, показанное на рис. 1.55, ж.

Эти схемы часто используются для сравнения двух сопротивлений в реверсивных схемах усилителей.

2. Задающие устройства

Задающее устройство формирует задающее воздействие $g_1(t)$, определяющее требуемое значение управляемой величины и преобразует его в однозначно соответствующую величину $g(f)$, удобную для сравнения с $y(t)$.

В качестве задающего устройства могут быть различные носители программы: кулачковые механизмы, функциональные потенциометры, перфокарты, магнитные пленки и т. п.

Программные задающие устройства бывают в виде механических копиров с механической передачей программы (кулачки) и с электромеханической передачей программы (рис. 1.56, а). Двигатель 1 поворачивает токопроводящий кулачок 6, при этом создается контакт с рычагом 4 и замыкается цепь реверсивного двигателя 2, который переместит рычаг в сторону от кулачка до разрыва цепи. Рычаг связан с контактной системой 3 регулирующего устройства. Пишущее перо 5 осуществляет запись параметра.

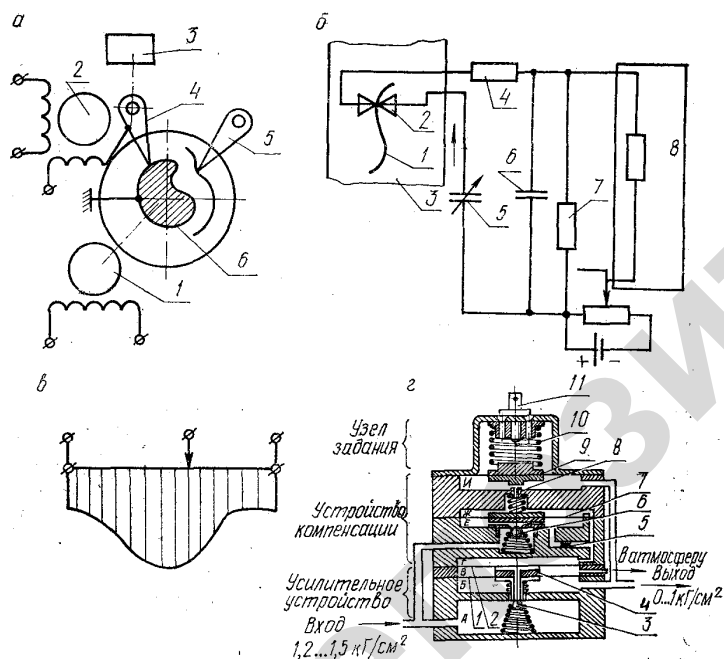


Рис. 1.56. Задающие устройства

Потенциометрические задатчики бывают в виде профильных (рис. 1.56, б), ступенчатых с переменным шагом намотки и шунтированных сопротивлениями потенциометров.

Программоносители в виде токопроводящей линии с контактным слежением (рис. 1.56, в) представляют собой диаграммную бумагу 3 с программой в виде кривой 1 из токопроводящей массы (девять частей – тушь, одна часть – графит). Слежение за линией осуществляет головка, снабженная двумя ламелями (щупами) 2. При выходе контактов на полосу сопротивление между контактами резко падает и равновесие мостовой схемы, куда включено сопротивление, нарушается. Сигнал разбаланса поступает на усилитель 8, на выходе которого включено поляризованное реле, управляющее реверсивным двигателем, при этом головка устанавливается в необходимое положение. Другой разновидностью программоносителя является диаграммная лента 3, на которую обычным карандашом типа 2М наносится программная линия 1 шириной 2 мм. Когда оба щупа находятся на программной линии, происходит замыкание электрической цепи заряда конденсатора 6 от источника 5 через сопротивление 4. При этом на усилитель самописца 8 поступает сигнал, и каретка со щупами смещается к левому краю программной линии; при сходе одного щупа с линии зарядная цепь обрывается, и конденсатор 6 разряжается через сопротивление 7; напряжение, поступающее на самописец, уменьшается, и каретка перемещается вправо на линию, и весь цикл повторяется.

Часто задающее устройство конструктивно объединяется в одно целое с измерительным или сравнивающим устройствами. В современных пневматических регуляторах, построенных по принципу компенсации сил, задание вводится в виде давления, создаваемого задатчиком (рис. 1.56, г).

Давление питания подводится через камеру А к шариковому клапану 3 усилительного реле и одновременно через камеру в дополнительное клапанное устройство, в котором зазор между шариком 6 и седлом обеспечивает прохождение воздуха к дросселю 5. При вращении ручки задатчика 11 движение передается на винт пружины 10, которая, сжимаясь, воздействует на мембрану 9, в центре которой находится заслонка сопла 8. При приближении заслонки 9 к соплу 8 давление в полостях Ж и Г повышается,

и мембраны 4 усилительного реле, прогибаясь, открывают шариковый клапан 3 усилительного реле. При этом воздух поступает на выход задатчика и в систему обратной связи под давлением, которое будет повышаться до тех пор, пока усилие, вызванное этим давлением на мембраны 9, не уравнивает усилие сжатия пружины 10. Таким образом, создается постоянное соответствие между сжатием и давлением на выходе задатчика.

3. Усилительные устройства

Усилителем называется устройство, в котором происходит усиление выходного сигнала датчика или сигнала, прошедшего через преобразовательный элемент до значений, при которых они достаточны для питания исполнительных элементов за счет энергии дополнительного источника. В усилителях входная и выходная величины имеют одинаковую физическую природу. Усилитель может быть выполнен как самостоятельный элемент автоматической системы или входит в состав датчика или исполнительного механизма.

По виду используемой энергии усилители подразделяются на гидравлические, пневматические, электрические, механические, а по виду статических характеристик на линейные, нелинейные (нелинейность обусловлена зоной нечувствительности) и релейные.

Основными характеристиками усилителя являются: коэффициент усиления, чувствительность, быстродействие, точность воспроизведения на выходе изменений входной величины, линейность.

Выбор и расчет усилительных устройств автоматической системы производится после выбора первичных преобразователей и исполнительных устройств.

Гидравлические и пневматические усилители. Основной принцип действия гидравлических и пневматических усилителей – управление с помощью механического перемещения каких-либо элементов потоком жидкости или газа. С точки зрения герметизации питающей системы гидравлические усилители уступают пневматическим, в которых используются маломощные системы для привода и не требуется компенсация гидродинамических усилий.

Широкое применение находят дроссельные и струйные усилители. Среди дроссельных усилителей наиболее распространены золотниковые и типа сопло-заслонка.

Золотниковые усилители. Основной частью усилителя является золотниковая пара, состоящая из втулки (цилиндра) со щелями, внутри которой перемещается золотник. В зависимости от назначения применяют одно-, двух- и четырехщелевые золотниковые пары, изготовленные с высокой точностью (поле допуска не превышает нескольких микрон).

В пневматических усилителях золотниковые пары работают без смазки при малом зазоре между золотником и втулкой. Это требует высокой точности изготовления и качества применяемых материалов. Гидравлические сопротивления окон золотниковых пар определяют по экспериментальным расходным характеристикам $Q = f(\delta)$ при $\Delta p = \text{const}$, где Δp – перепад давления на щели, Q – расход, δ – зазор между золотником и втулкой.

Диаметр золотника $d_{\text{зол}}$ определяется в зависимости от расхода жидкости Q при постоянном давлении p_0 в магистрали.

На рис. 1.57, а приведена схема гидравлического поршневого усилителя с золотниковым управлением. В исходном положении под воздействием пружин 1, 2 полностью перекрыты соединительные каналы между золотниковым 3 и силовым 4 цилиндрами. При перемещении x (например влево) штока 5 золотника открываются каналы 6, и жидкость под давлением p_0 поступает в левую полость силового цилиндра 4 и вытесняется из правой его части.

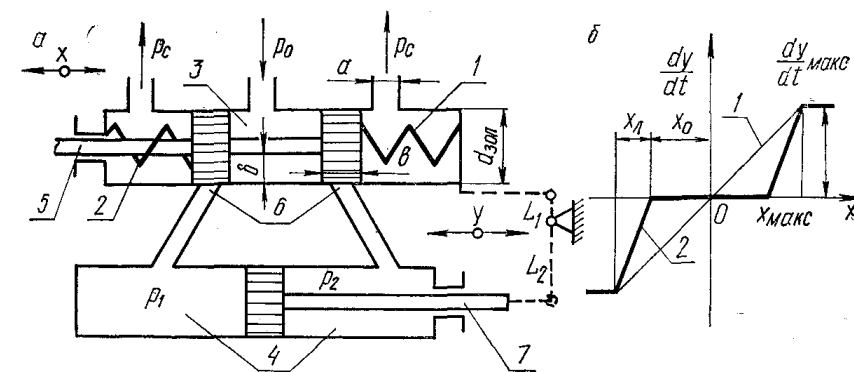


Рис. 1.57. Схема гидравлического поршневого усилителя

При этом давление p_1 превысит давление p_2 , и шток 7 силового цилиндра будет перемещаться вправо. При изменении направления

движения золотника изменяется также направление перемещения поршня силового цилиндра.

Статическая скоростная характеристика этого усилителя нелинейная (рис. 1.57, б). Наличие зоны нечувствительности $2x_0$ объясняется тем, что в исходном положении золотник перекрывает входное ($b > a$) отверстие, т. е. используется отсечной золотник. Для устранения зоны нечувствительности применяют проточные золотники, обеспечивающие дополнительный небольшой расход жидкости, что позволяет использовать усилители при низких температурах.

Тогда скоростная характеристика в рабочей части может быть аппроксимирована прямой (линия 1 на рис. 1.57, б).

Усиление обеспечивается вспомогательной энергией жидкости, нагнетаемой насосом и стабилизируемой по давлению гидросопротивлением.

Для того чтобы движение поршня силового цилиндра точнее повторяло входное перемещение золотника, используют жесткую обратную связь в виде рычага длиной $L_1 + L_2$, концы которого соединены с золотниковым цилиндром и штоком поршня силового цилиндра (штриховая линия на рис. 1.57, а). В отличие от рассматриваемой выше схемы золотниковый цилиндр подвижный. Входное перемещение штока золотника будет вызывать движение поршня силового цилиндра и цилиндра золотника до тех пор, пока отверстия не будут перекрыты.

Коэффициент усиления k достигает 10^3 – 10^4 .

Усилитель типа сопло-заслонка (рис. 1.58, а) состоит из дросселя 1 с постоянным гидравлическим сопротивлением, заслонки 3 и силового цилиндра 4. Рабочая жидкость под постоянным давлением подается в усилитель через дроссель 1. В зависимости от положения заслонки 3 между дросселями 1, 2 устанавливается давление p , которое передается под поршень 4 и заставляет его перемещаться до тех пор, пока не установится новое равновесие между силой упругости пружины 5 и силой, приложенной к поршню 4. При изменении h изменяется расход рабочей жидкости через сопло 2, вследствие чего изменяется давление p этой жидкости, действующей на перемещение поршня 4, и поршень перемещается в ту или другую сторону. Подбор профиля заслонки позволяет получить линейную зависимость между положением заслонки и давлением p .

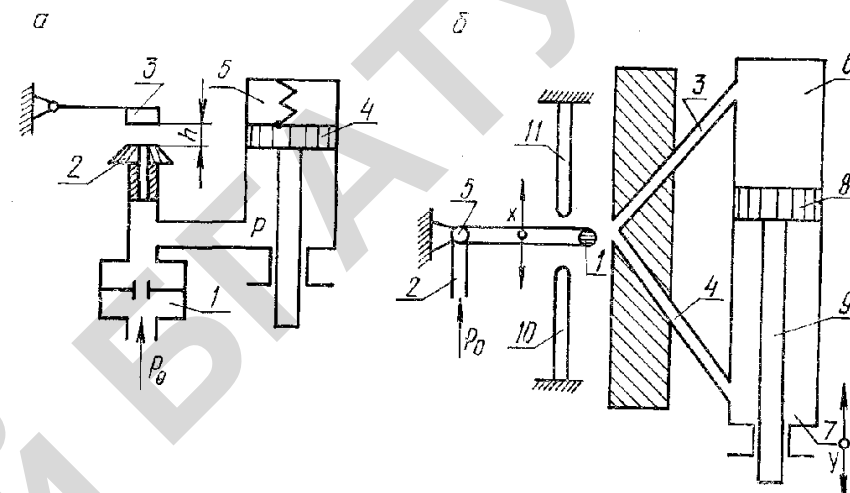


Рис. 1.58. Усилитель типа сопло-заслонка

Конструктивное исполнение усилителей типа сопло-заслонка может быть весьма различно. Наиболее часто применяют дифференциальные схемы, обладающие большой чувствительностью и усилением. Коэффициент усиления их достигает 10^6 .

Схема гидравлического усилителя со струйной трубкой приведена на рис. 1.58, б. Скоростной напор жидкости, вытекающей из мундштука 1 струйной трубки 2, превращается при ее отклонении от среднего положения в переменное давление рабочей жидкости в отходящих от сопла трубках 3, 4. Струйная трубка 2 вращается около полой цапфы 5, в которую подается рабочая жидкость (масло) под давлением p_0 . Вытекающая из мундштука 1 струя жидкости попадает в оба канала приемного сопла, где скоростной напор превращается в давление, передаваемое через жидкость в полости 6, 7 сервомотора. При среднем положении струйной трубки 2 струя масла развивает одинаковое давление в приемных соплах 3, 4 и в связанных с ними полостях 6, 7 сервомотора, и поршень 8 остается неподвижным. При отклонении струйной трубки 2 от среднего положения давление в одном из сопел, в сторону которого отклонилась трубка, увеличивается, а в другом падает. Появляется разность давлений в полостях сервомотора, и его поршень 8 начинает двигаться, перемещая шток 9 и связанный с ним регулирующий орган

в определенном направлении. Разность давлений, а следовательно, и скорость движения поршня, пропорциональны отклонению струйной трубки от своего среднего положения. Это отклонение в свою очередь пропорционально изменению регулируемой величины. Следовательно, скорость перемещения регулирующего органа приблизительно пропорциональна отклонению регулируемой величины от своего заданного значения. При значительном отклонении струйной трубки (до ограничителя) скорость перемещения регулирующего органа становится постоянной.

Расход масла через струйную трубку составляет 300–500 л/ч. Максимальное отклонение конца струйной трубки в пределах, определяемых ограничителями 9, 10, составляет 1–2 мм. Коэффициент усиления гидроусилителей со струйной трубкой достигает 10^4 .

Гидроусилители изготавливаются без обратной связи и с жесткой обратной связью по положению поршня гидравлического исполнительного механизма.

Рассмотренные схемы гидроусилителей являются однокаскадными, существуют и многокаскадные схемы, где исполнительный орган предыдущего усилителя воздействует на управляющий орган последнего. Выходная мощность гидроусилителей составляет 1–200 кВт.

Магнитные усилители. Магнитные усилители относятся к параметрическим усилителям, принцип действия которых основан на использовании нелинейных характеристик кривой намагничивания ферромагнитных материалов (μ – магнитная проницаемость > 1). Они обладают высоким коэффициентом усиления по мощности и току, надежно работают при повышенной влажности, при вибрации, при высокой и низкой температурах, нечувствительны к качеству электрической энергии, простотой суммирования нескольких сигналов высоким коэффициентом полезного действия.

Магнитный усилитель (рис. 1.59, а) представляет собой два одинаковых трансформатора с замкнутыми ферромагнитными сердечниками, которые подмагничиваются постоянным током. Вторичные обмотки трансформаторов включаются последовательно с нагрузкой R_H в сеть переменного напряжения $U_{\text{вых}}$. Первичные обмотки W_1 называются управляющими и соединены последовательно и встречно, чтобы в них не индуцировался переменный ток.

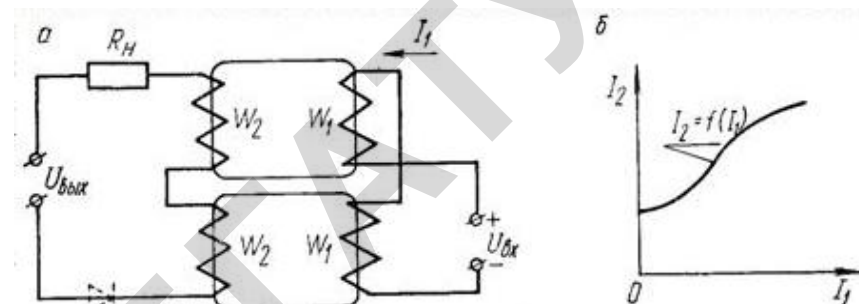


Рис. 1.59. Магнитный усилитель

Входной величиной усилителя является ток в обмотке W_1 , выходной переменный ток в обмотках W_2 и в нагрузочном сопротивлении R_H .

При увеличении постоянного тока насыщение сердечников увеличивается, а индуктивное сопротивление уменьшается, в результате чего сила тока в выходной цепи возрастает (рис. 1.59, б).

Коэффициент усиления по току:

$$k = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{I_2}{I_1},$$

по мощности

$$k_1 = \frac{N}{N_{\text{п}}} \approx \frac{50}{200},$$

где N – мощность на выходе;

$N_{\text{п}}$ – мощность на подмагничивание сердечников.

Как видим, затрачивая небольшую мощность на подмагничивание сердечника, можно управлять значительной мощностью на выходе.

Чтобы снизить наведенный переменный ток в управляющей обмотке (помимо встречного соединения обмоток W_1), в цепь этих обмоток включают дроссель, резко снижающий наведенный переменный ток.

Если вторичные обмотки W_2 включить в сеть переменного напряжения, то по сердечникам трансформаторов будут проходить

магнитные потоки, величина которых определяется намагничивающей силой вторичной обмотки $\Phi = I_0' W_2$ (I_0' – ток холостого хода, т. е. ток при разомкнутых первичных обмотках).

Если замкнуть первичные обмотки на какой-либо прибор или накоротко, то по этим обмоткам ток протекать не будет и, следовательно, не изменится величина тока во вторичных обмотках. Но если в первичные обмотки подать постоянный ток, то он вызовет уменьшение действующей магнитной проницаемости, так как увеличится напряженность магнитного поля. С уменьшением магнитной проницаемости будут уменьшаться индуктивность L вторичных обмоток и реактивное сопротивление этих обмоток, что приведет к увеличению тока во вторичных обмотках.

Нагрузка R_H в цепи управляемой обмотки является выходом усилителя.

Магнитные усилители могут быть с обратной связью и без нее. Усилители без обратной связи применяются для усиления мощностей более 20–50 Вт. С увеличением мощности магнитного усилителя возрастает постоянная времени обмоток управления и, следовательно, уменьшается быстродействие.

Магнитные усилители несмотря на их инерционность в автоматике используются в качестве дросселей насыщения или управляемой индуктивности усилителей-преобразователей сигналов постоянного тока в переменный, магнитных модуляторов, усилителей мощности для управления двигателями переменного тока, бесконтактных магнитных реле, регуляторов напряжения, частоты и температуры.

Электромашиным усилителем (ЭМУ) называется усилитель, работа которого основана на эффекте усиления электрического сигнала в генераторах за счет механической энергии приводного двигателя. Он представляет собой машину постоянного тока, в которой механическая энергия приводного двигателя преобразуется в энергию выходного сигнала (электрического). ЭМУ нашли широкое применение в системах автоматического регулирования электроприводами (особенно в подъемно-транспортных машинах), в следящих электроприводах.

ЭМУ бывают с независимым возбуждением (независимые) (рис. 1.60, а) и с самовозбуждением с поперечным и продольным полем.

ЭМУ с независимым возбуждением состоит из электродвигателя Д (обычно с короткозамкнутым ротором) и генератора постоянного тока Г.

При подаче на обмотку статора генератора $U_{ВХ}$ (управляющая обмотка) на нагрузку R_H , включенной в цепь обмотки ротора генератора, появится напряжение $U_{ВЫХ}$, пропорциональное $U_{ВХ}$. Так как в обычном генераторе постоянного тока мощность возбуждения составляет 1–2 % от его выходной мощности, то коэффициент усиления по мощности для него равен 50–100. При повышении числа оборотов вала приводного двигателя Д коэффициент усилителя ЭМУ также растет. Для того чтобы статическая характеристика в рабочем диапазоне была линейна, магнитопровод генератора в этом диапазоне не должен насыщаться.

Следовательно, генератор ЭМУ должен быть высокооборотным с характеристикой, не имеющей насыщения в рабочем диапазоне. В этом случае коэффициент усиления достигает величины 350–500.

Для повышения коэффициента усиления практикуется каскадное включение генераторов, когда один двигатель приводит во вращение два генератора, соединенные так, что первый генератор является возбудителем второго.

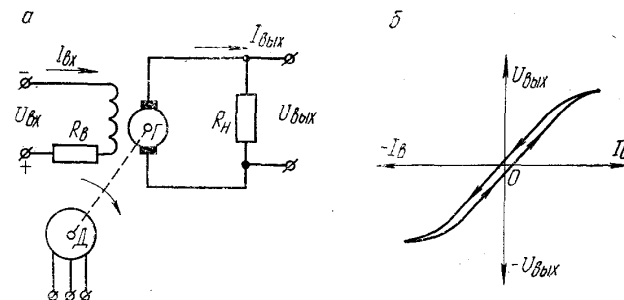


Рис. 1.60. Электромашиный усилитель

Наибольший коэффициент усиления можно получить на ЭМУ с поперечным полем (рис. 1.60, б), т. е. генератор такого ЭМУ имеет четыре щетки. Работает такой ЭМУ следующим образом. При подаче небольшого по величине входного напряжения $U_{ВХ}$ на обмотку возбуждения в генераторе создается небольшой продольный магнитный поток возбуждения $\Phi_{В}$, пронизывающий витки обмотки якоря, вращающегося с постоянной частотой от асинхронного двигателя. В результате этого в поперечной цепи якоря возникает ЭДС.

Поперечная цепь якоря имеет малое сопротивление, поэтому по ней протекает значительный ток I_1 , который вызывает магнитный поток Φ_1 значительно больший потока Φ_b . Под действием магнитного потока Φ_1 в продольной цепи якоря индуцируется ЭДС. Эта ЭДС вызывает появление тока I_2 , под действием которого в якоре создается продольный магнитный поток реакции якоря Φ_a . Магнитный поток Φ_r во много раз больше потока возбуждения Φ_b , и эти потоки направлены навстречу друг другу. Магнитный поток Φ_2 размагничивает генератор, т. е. он создает как бы эффект внутренней отрицательной обратной связи. Поэтому, чтобы не произошло полного размагничивания ЭМУ и потери эффекта усиления, на статоре располагают компенсационную обмотку K , которая включается в продольную цепь якоря последовательно с якорной обмоткой и нагрузкой R_H и образующей магнитный поток Φ_k , компенсирующий поток Φ_2 . Для изменения значения потока Φ_k параллельно обмотке K включен переменный резистор $P_{ш}$. В ЭМУ с поперечным магнитным полем можно получить коэффициент усиления по мощности, равный 10^3 – 10^5 .

Полупроводниковые усилители. Соответственно трем типам ламповых схем: с общей сеткой (рис. 1.61, а), общим катодом (рис. 1.61, б) и анодом (рис. 1.61, в) полупроводниковые триоды (транзисторы) могут быть включены по схеме с общей базой (рис. 1.61, г), общим эмиттером (рис. 1.61, д) и общим коллектором (рис. 1.61, е). Принципиальное отличие усилительного каскада на транзисторе от каскада на лампе заключается в том, что транзистор (кроме полевых) всегда работает при наличии входного тока, протекающего через базу, тогда как лампа может работать и без сеточных токов.

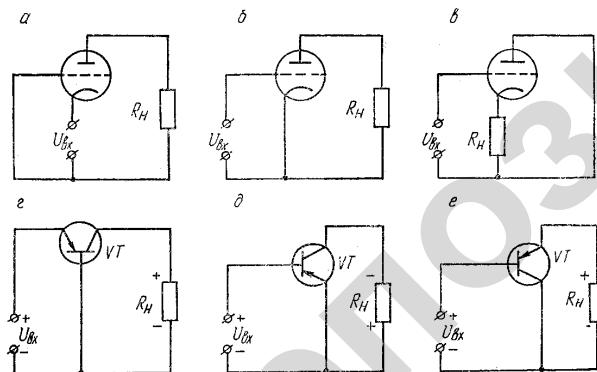


Рис. 1.61. Полупроводниковые усилители

Рассмотрим работу усилителя напряжения низкой частоты на транзисторе, включенном по схеме с общей базой (рис. 1.62, а). В схеме усилительного каскада без источника смещения E_c при отсутствии входного сигнала (транзистор VT будет закрыт, так как по отношению к эмиттеру база p - n - p -транзистора будет иметь положительный потенциал. При подключении к входным клеммам источников синусоидального напряжения $\sim U_{BX}$ на входе каскада появится выпрямленный ток, так как в этом режиме будут усиливаться только отрицательные полуволны входного напряжения (рис. 1.62, б, верхний график). Выходной ток в этой схеме всегда меньше входного, так как коэффициент усиления по току:

$$\alpha = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_e} < 1,$$

где ΔI_k – приращение тока коллектора;
 ΔI_e – приращение тока эмиттера.

Если между базой и эмиттером включить источник напряжения смещения E_c , то по коллекторной цепи потечет постоянный ток. При подведении к входным клеммам синусоидального сигнала коллекторный ток будет соответственно этому сигналу изменять свою величину в обе стороны от среднего значения (рис. 1.62, нижний график). Этот принцип работы транзисторного каскада соответствует режиму A . Установка рабочей точки и изменение режима работы каскада осуществляется изменением величины смещения E_c . Емкости конденсаторов C_1 и C_2 представляют собой практически короткое замыкание для переменного тока.

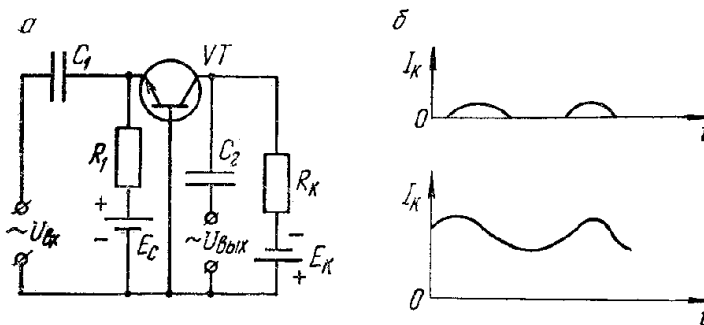


Рис. 1.62. Схема включения полупроводникового усилителя

Поэтому переменная составляющая падения напряжения на коллекторном резисторе R_k повторяет по форме входной сигнал. Мощность сигнала на нагрузке R_n (в схеме не показана) может в несколько раз превосходить мощность сигнала на входе.

Коэффициент усиления по мощности:

$$k_p = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = \alpha^2 \frac{R_n}{R_{\text{вх}}}.$$

Коэффициент усиления по напряжению:

$$k_u = \frac{k_p}{\alpha} = \alpha \frac{R_n}{R_{\text{вх}}}.$$

Чтобы без искажения увеличить коэффициент усиления, последовательно включают несколько каскадов, связь между которыми выбирается трансформаторной.

Усилителем постоянного тока (УПТ) называют устройство, предназначенное для усиления медленно изменяющихся электрических колебаний, в том числе постоянных входных сигналов (нулевой частоты), с сохранением формы кривой усиливаемого сигнала.

Различают две разновидности УПТ: с непосредственным усилением сигнала постоянного тока и с предварительным преобразованием (модуляцией) сигнала постоянного тока в переменный ток, его усилением и последующей демодуляцией.

4. Исполнительные механизмы

Исполнительными механизмами (ИМ) САР и дистанционного управления называют устройства, осуществляющие перемещение РО в соответствии с поступающими от управляющего устройства сигналами.

Регулирующими органами могут быть различного рода дроссельные заслонки, клапаны, задвижки, шиберы, направляющие аппараты и другие органы, способные производить изменение количества энергии или рабочего вещества, поступающего в ОУ. При этом перемещение рабочих органов может быть как поступательным, так и вращательным в пределах одного или нескольких оборотов. Следовательно, ИМ с помощью рабочего органа осуществляет непосредственное воздействие на ОУ.

Для управления ИМ сигнал управляющего устройства за счет энергии внешнего источника усиливается по мощности до необходимого уровня.

В совокупности вышеперечисленные элементы составляют исполнительное устройство, структурная схема которого и обозначение на функциональных схемах автоматики приведены на рис. 7.9.

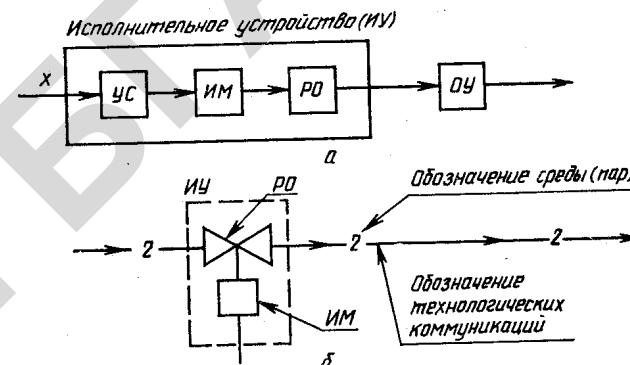


Рис. 1.63. Исполнительное устройство:
а – структурная схема; б – обозначения элементов исполнительного устройства на функциональной технологической схеме

В общем случае ИМ состоит из совокупности следующих элементов: исполнительного двигателя – источника силового воздействия на РО; передаточного или преобразовательного устройства, располагающегося между исполнительным двигателем и РО и предназначенного для получения определенной скорости, направления или характера перемещения РО; конечных выключателей, служащих для ограничения перемещения РО и фиксации его положения в схемах управления и автоматического регулирования; элементов управления (пускателей, реле, золотников, клапанов и др.), защиты (предохранительных и переливных клапанов, муфт ограничения крутящего момента и др.), сигнализации и контроля (дистанционных указателей положения и др.).

Основные параметры ИМ:

- номинальное значение крутящего момента на выходном валу или усилия на выходном штоке;
- максимальное значение вращающего момента или усилия;
- зона нечувствительности (в пределах которой изменение величины управляющего сигнала не вызывает движения ИМ);

– постоянная времени, характеризующая инерционное запаздывание начала движения ИМ после подачи на его вход управляющего сигнала;

– время оборота выходного вала ИМ или хода его штока; величина инерционного выбега выходного вала ИМ.

Перемещение выходного органа ИМ после выключения механизма, работавшего в установившемся режиме, называют *выбегом*. Движущиеся массы работающего ИМ приобретают кинетическую энергию, которая гасится на пути выбега. Инерционный выбег оказывает существенное влияние на качество процесса регулирования, особенно при сокращенном ходе ИМ. Так, если выбег составляет 2 % максимального хода ИМ и ход его ограничен 0,3–0,6 м, то при линейной характеристике РО перерегулирование составит значительную величину – 6,6–3,3 %. Уменьшение выбега осуществляют установкой и настройкой тормозных устройств.

На работу САР оказывает влияние свободный ход выходного органа ИМ при отсутствии управляющего сигнала. Он возникает из-за зазоров в рабочих частях ИМ и износа их контактных поверхностей, влияет на границы устойчивости САР и может быть причиной возникновения в ней автоколебаний. В зависимости от типа ИМ свободный ход ограничивается следующими значениями: 0,2–0,5 мм для прямоходовых; 0,75–1,00° для однооборотных; до 3,00° для многооборотных.

Важнейшие показатели ИМ – их различные статические и динамические характеристики. По своим динамическим свойствам ИМ – интегрирующее звено с передаточной функцией вида:

$$W(p) = 1/T_{\text{им}} p,$$

где $T_{\text{им}}$ – время полного перемещения выходного органа ИМ при максимальном выходном сигнале.

Для преобразования ИМ в пропорциональное звено, в котором положение выходного органа пропорционально входному сигналу, ИМ охватывают местной жесткой обратной связью.

Классификация. Исполнительные механизмы классифицируют по следующим основным признакам: виду потребляемой энергии; характеру движения выходного органа; виду используемого двигателя и в зависимости от скорости движения выходного органа.

По виду потребляемой энергии ИМ делят на: электрические; пневматические; гидравлические (гидравлические механизмы, в которых в качестве энергоносителя используется масло, иногда называются «сервоприводами» или «сервомоторами»); прочие ИМ (использующие потенциальную энергию груза или сжатой пружины, энергию взрыва и др.).

Электрические ИМ применяют на невзрывоопасных объектах. К ним могут быть отнесены теплоэнергетические установки и котельные. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с пневматическими и гидравлическими. Подвод энергии к электрическим ИМ проще, так как монтаж кабеля осуществляется легче, чем импульсных трубопроводов. Трассы кабельных линий не требуют такого пристального повседневного внимания эксплуатационного персонала, какое требуется для пневматических и гидравлических трасс.

Однако электрические ИМ хуже, чем пневматические и гидравлические, работают в местах повышенной влажности и температуры. Одни из главных недостатков электрических ИМ – это выбег сервомотора и люфт в редукторной передаче.

Пневматические ИМ по стоимости выгодно отличаются от электрических. Однако в некоторых случаях пневматические механизмы не могут быть применены. К этим случаям относятся необходимость больших перестановочных усилий РО (более 30 000–40 000 Н) и передача команды от управляющего устройства к ИМ на большое расстояние (более 300 м). В этом случае возникают значительные запаздывания в исполнении команды.

Гидравлические ИМ имеют в основном те же достоинства и недостатки, что и пневматические ИМ, однако могут развивать значительные перестановочные усилия и применяются преимущественно на мобильных машинах. По характеру движения выходного органа ИМ делят на поворотные и прямоходные.

Поворотные ИМ бывают однооборотные и многооборотные.

По виду используемого двигателя ИМ делятся на электродвигательные, электромагнитные, поршневые и мембранные.

В зависимости от скорости движения выходного органа различают ИМ с постоянной скоростью и ИМ, у которых скорость перемещения выходного органа пропорциональна выходному сигналу.

В сельскохозяйственном производстве наибольшее распространение получили электрические ИМ, которые можно разделить на 2 основные группы: электромагнитные и электродвигательные.

К первой группе относятся прежде всего соленоидные электроприводы, предназначенные для управления различного рода регулирующими и запорными клапанами, вентилями, золотниками и т. п. Сюда же можно отнести ИМ с различными видами электромагнитных муфт. Характерная особенность ИМ этой группы состоит в том, что необходимое для перестановки рабочего органа усилие создается за счет электромагнита. Являющегося неотъемлемой частью ИМ. Соленоидные механизмы обычно применяются только в системах двухпозиционного регулирования.

Ко второй группе относятся электрические ИМ с электродвигателями. Электродвигательные ИМ обычно состоят из двигателя, редуктора и тормоза (последнего может и не быть). Сигнал управления поступает одновременно к двигателю и тормозу, механизм растормаживается и двигатель приводит в движение выходной орган. При исчезновении сигнала двигатель выключается, а тормоз останавливает механизм. Простота схемы, малое число элементов, участвующих в формировании регулирующего воздействия, и высокие эксплуатационные свойства сделали ИМ с управляемыми двигателями основой для создания исполнительных устройств современных САР.

Существуют, хотя и не получили широкого распространения, ИМ с неуправляемыми двигателями, которые содержат управляемую электрическим сигналом механическую, электрическую или гидравлическую муфту. Характерная их особенность заключается в том, что двигатель работает непрерывно в течение всего времени работы системы регулирования, а сигнал управления передается рабочему органу через управляемую муфту.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите пример использования сравнивающего устройства на сельскохозяйственной машине.
2. Назовите основные характеристики задающих устройств.
3. Приведите классификацию усилительных устройств.
4. Назовите характеристики усилительных устройств.
5. Приведите пример использования исполнительных механизмов на сельскохозяйственных машинах.

МАТЕРИАЛЫ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторная работа № 1

«Исследование характеристик фотодатчиков и фотореле»

Цель работы: ознакомиться с устройством и характеристиками фотодатчиков с внешним (фотоэмиссионным) и внутренним (фоторезистивным и фотогальваническим) фотоэффектом; снять и построить вольтамперные и световые характеристики; изучить устройство и работу фотореле.

Задачи работы.

1. Изучить устройство и принцип действия фотодатчиков.
2. Ознакомиться с характеристиками фотоэлементов.
3. Определить экспериментально вольтамперные и световые характеристики фотоэлементов и их статическую, интегральную и удельную чувствительность.
4. Изучить устройство и принцип действия фотореле ФР-2.
5. Экспериментально определить порог срабатывания фотореле по освещенности.

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматики и автоматизация производственных процессов», с. 5–15.

Лабораторная работа № 2

«Измерительные схемы и преобразователи»

Цель работы: изучить мостовую и дифференциальную измерительную схемы; исследовать различные типы мостовых схем с тензометрическими датчиками и сравнить их чувствительность; исследовать дифференциальную схему; ознакомиться с работой преобразователей типа «напряжение – частота»; исследовать работу преобразователя «напряжение – частота».

Задачи работы.

1. Ознакомиться с мостовыми и дифференциальными измерительными схемами.
2. Собрать мостовую измерительную схему с тензодатчиками (по заданию преподавателя).
3. Снять и построить зависимость для собранной схемы.
4. Собрать дифференциальную схему включения тензодатчиков на переменном токе.

5. Изучить принцип действия преобразователя «напряжение – частота».

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматики и автоматизация производственных процессов», с. 16–26.

Лабораторная работа № 3

«Исследование термоизмерительных преобразователей»

Цель работы: ознакомиться с принципом действия и конструкцией первичных преобразователей температуры: термометрами сопротивления (металлическими и полупроводниковыми) и термоэлектрическими термометрами (термопарами); экспериментально определить статические характеристики первичных преобразователей температуры; ознакомиться с принципом действия и конструкцией вторичных измерительных устройств (вторичных приборов) для измерения и регулирования температуры: логометрами и электронными автоматическими потенциометрами.

Задачи работы.

1. Изучить конструкции и принципы действия первичных преобразователей температуры: термометров сопротивления, термисторов и термопар.

2. Изучить конструкции и принципы действия вторичных приборов: логометров и электронных автоматических потенциометров; составить принципиальные схемы приборов.

3. Исследовать зависимость сопротивления термометра сопротивления и термистора от их температуры.

4. Исследовать зависимость термоЭДС термопары от температуры рабочего спая.

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматики и автоматизация производственных процессов», с. 27–45.

Лабораторная работа № 4

«Изучение емкостных датчиков»

Цель работы: ознакомиться с конструктивными схемами и принципом действия емкостных датчиков различных типов; определить опытным путем значения напряжений на выходе датчика при разных диэлектриках в зависимости от частоты питающего напряжения; изучить принцип действия и схему емкостного измерителя уровня жидкости.

Задачи работы.

1. Ознакомиться с принципом действия и областью применения емкостных датчиков.

2. Снять зависимость напряжения на выходе емкостного датчика от частоты питающего напряжения.

3. Для снятия зависимости $I = f(h)$ необходимо определить чувствительность датчика уровня.

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматики и автоматизация производственных процессов», с. 46–56.

Лабораторная работа № 5

«Исследование потенциометрических датчиков»

Цель работы: изучить устройство и схемы включения потенциометрических датчиков; построить статические характеристики прямого и углового датчиков, определить статическую чувствительность; установить отличие статической характеристики датчика со средней точкой; ознакомиться с моделью системы автоматического контроля потерь зерна зерноуборочного комбайна.

Задачи работы.

1. Собрать схему ненагруженного потенциометра.

2. Снять статическую характеристику ненагруженного прямого и кругового потенциометров.

3. Снять статические характеристики для нагруженной схемы прямого и углового потенциометров.

4. Построить статические характеристики.

5. Определить статическую характеристику расчетным путем и сравнить ее с экспериментальной статической характеристикой при нагруженной схеме.

6. На основании статической характеристики определить статическую чувствительность потенциометра.

7. Определить относительную статическую погрешность измерений.

8. Указать, к какому типу динамического звена относится потенциометр, написать его передаточную функцию.

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматики и автоматизация производственных процессов», с. 57–66.

Лабораторная работа № 6 «Изучение прибора активного контроля АК-3М»

Цель работы: Изучить конструкцию и принцип действия индуктивного преобразователя перемещений и прибора АК-3М.

Задачи работы.

1. Изучить конструкцию и принцип действия индуктивного преобразователя перемещений и прибора АК-3М.

2. Изучить схему контроля и управления процессом обработки деталей с помощью прибора АК-3М.

3. Экспериментально определить точность автоматического контроля обработки деталей.

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматики и автоматизация производственных процессов», с. 67–83.

МАТЕРИАЛЫ К УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ ПО ТЕМЕ «ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ»

В соответствии с индивидуальным заданием (вариант схемы выбирается из приложения 1 по последней цифре шифра зачетной книжки, а исходные дифференциальные уравнения из приложения 2) необходимо:

– получить передаточные функции замкнутой и разомкнутой системы по задающему воздействию;

– выполнить анализ устойчивости системы по критериям Найквиста, Гурвица, Михайлова.

Если САР устойчива, определить запас устойчивости.

Пример выполнения индивидуального задания

Исходные данные:

1-е звено
2-е звено
Звено МОС
3-е звено
Звено ГОС

$$\begin{aligned} X_1 &= 2X \\ pX_3 + 2X_3 &= X_2 \\ pX_4 + X_4 &= 2pX_3 \\ 2p^2Y + 2pY + Y &= 2X_3 \\ 2Y_1 &= Y \end{aligned}$$

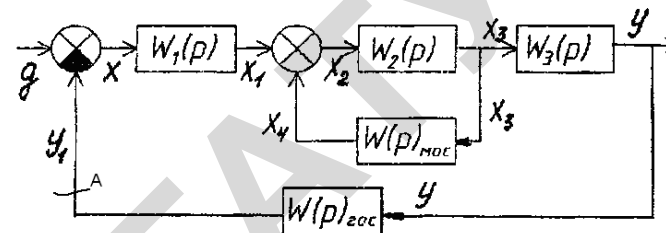


Рис.1.64. Схема автоматической системы регулирования

1. Определение передаточных функций звеньев.

$$W_1(p) = \frac{x_1(p)}{x(p)} = 2$$

$$W_2(p) = \frac{x_3(p)}{x_2(p)} = \frac{1}{p+2}$$

$$W_3(p) = \frac{y(p)}{x_3(p)} = \frac{2}{2p^2 + 2p + 1}$$

$$W_{\text{МОС}}(p) = \frac{x_4(p)}{x_3(p)} = \frac{2p}{p+1}$$

$$W_{\text{ГОС}}(p) = \frac{y_1(p)}{y(p)} = \frac{1}{2}$$

2. Определение передаточных функций системы по управляющему воздействию.

Передаточная функция замкнутой САР по управляющему воздействию определяет взаимосвязь между изменением регулируемой величины Y и изменением задающего воздействия G :

$$W_{\text{зв}}(p) = \frac{Y(p)}{G(p)} = \frac{W_n(p)}{1 \pm W_p(p)} = \frac{W_n(p)}{1 \pm W_n(p)W_{\text{ос}}(p)},$$

где $W_n(p)$ – передаточная функция прямой цепи системы;

$W_p(p)$ – передаточная функция разомкнутой системы;

$W_{\text{ос}}(p)$ – передаточная функция обратной связи системы.

Обычно мысленно размыкают главную обратную связь перед сравнивающим устройством. На рис. 1.64 место размыкания показано волнистой чертой в точке А.

Перед нахождением передаточных функций систему необходимо привести к одноконтурной, избавившись от перекрестных связей и заменив звенья, охваченные местными обратными связями и соединенные параллельно, на эквивалентные.

Предварительно заменим звено, охваченное местной обратной связью (МОС) (рис. 1.64), одним эквивалентным звеном. Передаточная функция звена или цепи, последовательно соединенных звеньев, охваченных обратной связью, определяется по формуле:

$$W_{\pm}(p) = \frac{W_n(p)}{1 \pm W_p(p)} = \frac{W_n(p)}{1 \pm W_n(p) \cdot W_{oc}(p)},$$

где $W_n(p)$ – передаточная функция прямой цепи;

$W_p(p)$ – передаточная функция разомкнутой цепи;

$W_{oc}(p)$ – передаточная функция обратной связи;

знак «+» в знаменателе соответствует отрицательной обратной связи;

знак «-» – соответствует положительной обратной связи.

В нашем случае:

$$W_{\pm}(p) = \frac{\frac{1}{p+2}}{1 - \frac{1}{p+2} \cdot \frac{2p}{p+1}} = \frac{p+1}{p^2 + p + 2}.$$

Передаточную функцию прямой цепи $W_n(p)$ системы найдем по формуле:

$$\begin{aligned} W_n(p) &= W_{\pm}(p) W_{\pm}(p) W_{oc}(p) = 2 \frac{p+1}{p^2 + p + 2} \cdot \frac{2}{2p^2 + 2p + 1} = \\ &= \frac{4p+4}{2p^4 + 4p^3 + 7p^2 + 5p + 2}. \end{aligned}$$

Передаточную функцию разомкнутой системы $W_p(p)$ системы найдем по формуле:

$$W_p(p) = W_n(p);$$

$$\begin{aligned} W_{\text{гос}}(p) &= \frac{4p+4}{2p^4 + 4p^3 + 7p^2 + 5p + 2} \cdot \frac{1}{2} = \\ &= \frac{2p+2}{2p^4 + 4p^3 + 7p^2 + 5p + 2}. \end{aligned}$$

Для рассматриваемого примера передаточная функция замкнутой САР по управляющему воздействию G :

$$\begin{aligned} W_G(p) &= \frac{Y(p)}{G(p)} = \frac{W_n(p)}{1 \pm W_p(p)} = \frac{\frac{4p+4}{2p^4 + 4p^3 + 7p^2 + 5p + 2}}{1 + \frac{2p+2}{2p^4 + 4p^3 + 7p^2 + 5p + 2}} = \\ &= \frac{4p+4}{1 + \frac{2p+2}{2p^4 + 4p^3 + 7p^2 + 5p + 2}} = \frac{4p+4}{2p^4 + 4p^3 + 7p^2 + 7p + 4}. \end{aligned}$$

Примечание.

Для системы без местной обратной связи приводить систему к одноконтурной нет необходимости, поскольку она уже является таковой.

3. Анализ устойчивости системы.

Устойчивость – это свойство системы возвращаться в исходный или близкий к нему установившийся режим после снятия воздействия, вызвавшего выход из установившегося режима.

Выходная величина устойчивой системы остается ограниченной в условиях действия на систему ограниченных по величине воздействий.

Неустойчивая система является неработоспособной, поэтому проверка устойчивости является обязательным этапом анализа системы.

Условием устойчивости линейной системы является отрицательность действительной части корней характеристического уравнения системы. При нулевых корнях система находится на границе устойчивости. Поскольку решение уравнений высокого порядка сопряжено с определенными трудностями, то анализ устойчивости линейных систем проводится по алгебраическим и частотным критериям. Наиболее часто используют алгебраический критерий Гурвица и частотные критерии Михайлова и Найквиста.

4. Анализ устойчивости по критерию Гурвица.

Передаточная функция линейной САР в общем случае имеет вид:

$$W(p) = \frac{b_0 p^{m-1} + \dots + b_{m-1} p + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n} = \frac{R(p)}{Q(p)}.$$

Полином $Q(p)$, находящийся в знаменателе передаточной функции, называется характеристическим полиномом системы, поскольку он определяет характер свободного движения системы. Уравнение $Q(p) = 0$ называется характеристическим уравнением системы.

Устойчивость по критерию Гурвица проверяется следующим образом. Из коэффициентов характеристического уравнения:

$$Q(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0$$

составляется определитель Гурвица по следующему правилу. По главной диагонали последовательно записываются n коэффициентов характеристического уравнения, начиная с a_1 . Сверху от элементов главной диагонали в каждом столбце записываются коэффициенты характеристического уравнения с последовательно возрастающими, а снизу с последовательно убывающими индексами. На месте коэффициентов с индексами большими n или меньшими 0 записываются нули. Полученный определитель содержит n строк и n столбцов:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_n & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

Далее составляются диагональные миноры определителя Гурвица:

$$\Delta_1 = a_1;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} \text{ и т. д.}$$

Критерий Гурвица формулируется следующим образом.

Для устойчивости линейной системы необходимо и достаточно, чтобы при $a_0 > 0$ все диагональные миноры определителя Гурвица были положительными.

Для характеристических уравнений первой и второй степеней условия устойчивости сводятся к требованию положительности всех коэффициентов.

Для уравнений третьей и четвертой степеней, помимо положительности всех коэффициентов характеристического уравнения, необходима положительность определителя Δ_{n-1} .

Поэтому условия устойчивости, для систем с характеристическим уравнением третьей степени:

$$A_0 > 0; A_1 > 0; A_2 > 0; A_3 > 0;$$

$$\Delta_2 = A_1 A_2 - A_3 A_0 > 0.$$

Условия устойчивости для систем с характеристическим уравнением четвертой степени:

$$a_0 > 0; a_1 > 0; a_2 > 0; a_3 > 0; a_4 > 0;$$

$$\Delta_3 = a_3 (a_1 a_2 - a_3 a_0) - a_4 a_1^2 > 0.$$

Определим устойчивость САР для нашего случая. Для этого можно воспользоваться любой из полученных ранее передаточных функций системы, из которых следует, что характеристическое уравнение системы:

$$Q(p) = 2p^4 + 4p^3 + 7p^2 + 7p + 4 = 0.$$

Для анализа устойчивости воспользуемся основными условиями устойчивости. Так как $a_0 = 2 > 0$, найдем значения диагональных миноров. Составим определитель Гурвица:

$$\begin{vmatrix} 4 & 7 & 0 & 0 \\ 2 & 7 & 4 & 0 \\ 0 & 4 & 7 & 0 \\ 0 & 2 & 7 & 4 \end{vmatrix}$$

Определим значения диагональных миноров:

$$\Delta_1 = 4 > 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 4 & 7 \\ 2 & 7 \end{vmatrix} = 4 \cdot 7 - 2 \cdot 7 = 14 > 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 4 & 7 & 0 \\ 2 & 7 & 4 \\ 0 & 4 & 7 \end{vmatrix} = 7 \begin{vmatrix} 4 & 7 \\ 2 & 7 \end{vmatrix} - 4 \begin{vmatrix} 4 & 0 \\ 2 & 4 \end{vmatrix} = 34 > 0;$$

$$\Delta_4 = \Delta_3 a_4 = 4 \cdot 34 = 136 > 0.$$

Полученный результат показывает, что система устойчива.

5. Анализ устойчивости по критерию Михайлова.

Этот критерий устойчивости был предложен советским ученым А. В. Михайловым и позволяет судить об устойчивости замкнутой системы на основании рассмотрения некоторой кривой.

Кривая Михайлова представляет собой годограф вектора (характеристический полином):

$$M(jw) = a_0(jw)^n + a_1(jw)^{n-1} + \dots + a_{n-1}(jw) + a_n,$$

получаемый из характеристического уравнения системы путем подстановки $p = jw$.

Выделив в правой части последнего уравнения вещественную $U(w)$ и мнимую $V(w)$ части, можно записать:

$$M(jw) = U(w) + jV(w).$$

Формулировка критерия Михайлова сводится к следующему: чтобы замкнутая система автоматического управления была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы кривая Михайлова при изменении частоты w от 0 до ∞ , начинаясь при $w = 0$ на вещественной положительной полуоси, обходила только против часовой стрелки последовательно n квадрантов, уходя в бесконечность в последнем квадранте, где n – порядок характеристического уравнения.

Признаком неустойчивости системы является нарушение числа и последовательности пройденных кривой Михайлова квадрантов плоскости $[U; jV]$.

Определим устойчивость САР для нашего случая.

В характеристическом уравнении для замкнутой АС вместо оператора p подставим значение (jw) и получим:

$$M(jw) = 2(jw)^4 + 4(jw)^3 + 7(jw)^2 + 7jw + 4 = 2w^4 - j4w^3 - 7w^2 + 7jw + 4,$$

где $j = \sqrt{-1}$, $j^2 = -1$, $j^3 = -j$, $j^4 = 1$ и т. д.

Выделим вещественную и мнимую части.

$$U(w) = 2w^4 - 7w^2 + 4;$$

$$V(w) = -4w^3 + 7w.$$

Давая различные значения частоте w , находим координаты $U(w)$ и $V(w)$ точек годографа Михайлова. Лучше начинать нахождение координат точек годографа с характерных точек, а именно: с точки при $w \rightarrow 0$, при $w \rightarrow \infty$, точек, в которых годограф пересекает оси координат, а затем найти координаты промежуточных точек годографа, при необходимости можно найти экстремумы годографа. Полученные значения заносим в таблицу. Строим годограф.

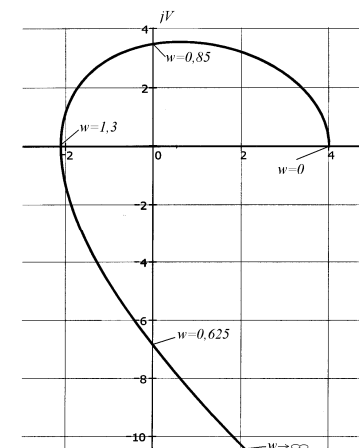


Рис. 1.65. Годограф Михайлова

Вывод: годограф Михайлова начинается на вещественно положительной полуоси и при изменении w от 0 до ∞ проходит против часовой стрелки 4 квадранта и в последнем уходит в бесконечность,

где 4 – порядок характеристического уравнения системы. Таким образом система является устойчивой.

6. Анализ устойчивости по критерию Найквиста.

Критерий устойчивости Найквиста основан на использовании АФЧХ разомкнутой системы.

Для расчета частотных характеристик линейных звеньев и систем пользуются частотной передаточной функцией.

Частотной передаточной функцией называется отношение изображения Фурье выходной величины Y к изображению Фурье входного воздействия X при нулевых начальных условиях.

Формально частотную передаточную функцию можно найти заменой в передаточной функции переменной p на переменную $j\omega$.

Частотная передаточная функция является комплексной функцией:

$$W(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = U(\omega) + jV(\omega) = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)},$$

где $Y(j\omega)$ и $X(j\omega)$ – изображения Фурье выходной величины и входного воздействия;

$U(\omega)$ – вещественная часть частотной передаточной функции;

$V(\omega)$ – мнимая часть частотной передаточной функции;

$A(\omega)$ – модуль частотной передаточной функции;

$\varphi(\omega)$ – аргумент частотной передаточной функции.

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)}.$$

Модуль $A(\omega)$ является АЧХ звена или системы, а аргумент $\varphi(\omega)$ – ФЧХ звена или системы.

АЧХ и ФЧХ характеризуют реакцию системы или звена на гармоническое воздействие.

АЧХ называется зависимость отношения амплитуд выходного и входного гармонических сигналов от частоты в установившемся режиме.

ФЧХ называется зависимость разности фаз между выходным и входным сигналами от частоты в установившемся режиме.

АФЧХ характеризует зависимость отношения амплитуд и разности фаз от частоты одновременно.

Строится график АФЧХ в координатах $U(\omega)$ и $jV(\omega)$. Для этого рассчитываются $U(\omega)$ и $V(\omega)$ или $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ при изменении частоты ω от 0 до ∞ . Длина вектора, соединяющего начало координат с графиком АФЧХ, равна значению $A(\omega)$ при частоте ω , а угол поворота от оси U равен $\varphi(\omega)$ при частоте ω .

7. Формулировка критерия Найквиста.

– Если система в разомкнутом состоянии устойчива, то для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы при изменении частоты от нуля до бесконечности не охватывала точку с координатами $(-1; j0)$.

– Если система в разомкнутом состоянии находится на границе устойчивости (является астатической), то для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы, дополненная дугой бесконечно большого радиуса против часовой стрелки до действительной полуоси, не охватывала точку с координатами $(-1; j0)$.

– Если система в разомкнутом состоянии неустойчива, то для устойчивости в замкнутом состоянии необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы охватывала точку с координатами $(-1; j0)$ в положительном направлении $k/2$ раз, где k – число корней характеристического уравнения с положительной действительной частью.

Разомкнутая система устойчива, если устойчивы все отдельные звенья системы после приведения ее к одноконтурной.

Определим устойчивость САР для нашего случая.

Передаточная функция разомкнутой системы по задающему воздействию имеет вид:

$$W_p(p) = \frac{2p + 2}{2p^4 + 4p^3 + 7p^2 + 5p + 2}.$$

Находим частотную передаточную функцию, подставляя $j\omega$ вместо p :

$$W_p(j\omega) = \frac{2j\omega + 2}{2(j\omega)^4 + 4(j\omega)^3 + 7(j\omega)^2 + 5(j\omega) + 2}.$$

Так как $j = \sqrt{-1}$, $j^2 = -1$, $j^3 = -j$, $j^4 = 1$ и т. д., получим:

$$W_p(jw) = \frac{2jw + 2}{2w^4 - 4jw^3 - 7w^2 + 5jw + 2} =$$

$$= \frac{2jw + 2}{(2w^4 - 7w^2 + 2) - j(4w^3 - 5w)}.$$

Для построения АФЧХ разомкнутой системы представим частотную передаточную функцию в виде:

$$W(jw) = U(w) + jV(w).$$

Чтобы представить частотную передаточную функцию в виде комплексного числа имеющего действительную $U(w)$ и мнимую $jV(w)$ части, умножим и разделим полученный результат на сопряженное знаменателю комплексное число $(2w^4 - 7w^2 + 2) + j(4w^3 - 5w)$ и получим:

$$W_p(jw) = \frac{(2jw + 2)((2w^4 - 7w^2 + 2) + j(4w^3 - 5w))}{(2w^4 - 7w^2 + 2)^2 - j^2(4w^3 - 5w)^2}.$$

После преобразования

$$W_p(jw) = \frac{j(4w^5 - 6w^3 - 6w) + (-4w^4 - 4w^2 + 4)}{4w^8 - 12w^6 + 17w^4 - 3w^2 + 4}.$$

Вещественная часть частотной передаточной функции:

$$U(w) = \frac{-4w^4 - 4w^2 + 4}{4w^8 - 12w^6 + 17w^4 - 3w^2 + 4}.$$

Мнимая часть частотной передаточной функции:

$$V(w) = j \frac{4w^5 - 6w^3 - 6w}{4w^8 - 12w^6 + 17w^4 - 3w^2 + 4}.$$

Давая различные значения частоте w , находим координаты $U(w)$ и $V(w)$ точек годографа. Лучше начинать нахождение координат точек годографа с характерных точек, а именно: с точки при $w \rightarrow 0$,

при $w \rightarrow \infty$, точек, в которых годограф пересекает оси координат, а затем найти координаты промежуточных точек годографа, при необходимости можно найти экстремумы годографа.

Найдем координаты точек, которые являются местом пересечения годографа с осью абсцисс. Для этих точек координата по оси ординат равна нулю ($V(w) = 0$). То есть годограф пересекает ось $U(w)$, если числитель $V(w)$ равен нулю, а именно:

$$4w^5 - 6w^3 - 6w = 0.$$

Решая это уравнение, находим корни. Для решения используем только положительные значения. В нашем случае $w = 1,42$.

Подставляя найденное значение w в выражение для $U(w)$, находим координату искомой точки на оси абсцисс $U(w)_{w=1,42} = -0,58$

По такому же методу найдем координаты точек пересечения годографа с осью ординат.

Полученные значения заносим в таблицу. Строим годограф (рис. 1.66).

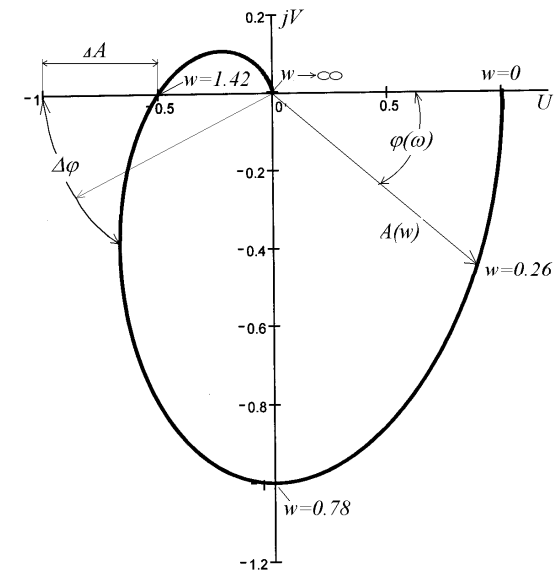


Рис. 1.66. Годограф Найквиста

Вывод: АФЧХ разомкнутой системы не охватывает точку с координатами $(-1; j0)$, поэтому замкнутая система устойчива.

8. Определение запасов устойчивости.

При оценке устойчивости систем одного факта устойчивости недостаточно. Необходимо также оценивать величину *запаса* устойчивости, т. е. степени удаленности системы от границы устойчивости. Система, которая теоретически является устойчивой, но находится очень близко к границе устойчивости, при ее реализации может оказаться неустойчивой вследствие неточности математического описания системы, использованного при оценке устойчивости, вследствие приближенной практической реализации системы и неточностей при наладке, из-за изменения во времени параметров системы в процессе ее эксплуатации.

Основное распространение в качестве меры запаса устойчивости получили вытекающие из критерия Найквиста две величины – запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi$ и запас устойчивости по амплитуде ΔA .

Запас устойчивости по фазе определяется величиной $\Delta\varphi$, на которую должно возрасти запаздывание по фазе, чтобы система оказалась на границе устойчивости.

Запас устойчивости по амплитуде определяется величиной ΔA допустимого увеличения АЧХ, при котором система окажется на границе устойчивости. Таким образом, запас по амплитуде представляет собой запас по коэффициенту передачи разомкнутой системы по отношению к его критическому по устойчивости значению.

Величины $\Delta\varphi$ и ΔA показаны на рис. 1.66. Для определения $\Delta\varphi$ проводится дуга радиусом 1 до пересечения с АФЧХ. При проектировании САУ рекомендуется выбирать $\Delta\varphi \geq 30^\circ$ и $\Delta A \geq 0,7$. Для рассматриваемого примера САУ $\Delta\varphi \approx 35^\circ$, $\Delta A \approx 0,5$, что удовлетворяет рекомендуемой величине запаса устойчивости по фазе, но не имеет достаточного запаса по амплитуде.

РАЗНОУРОВНЕВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПО МОДУЛЮ 1

Билет для разноуровневого контроля знаний по модулю имеет следующую структуру:

- 1) уровень I (репродуктивный): компьютерное тестирование (6 тестовых заданий). Правильный ответ оценивается в 0,5 балла;
- 2) уровень II (продуктивный): 2 вопроса. В зависимости от полноты и качества ответа студента оценка равняется 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 балла за каждый вопрос;
- 3) уровень III (творческий): 1 вопрос повышенной трудности. Максимальная оценка – 3 балла.

Уровень I (репродуктивный)

1. Какой из перечисленных датчиков используется для измерения температуры?
 - 1) термистор;
 - 2) тензорезистор;
 - 3) фоторезистор;
 - 4) потенциометрический датчик;
 - 5) пьезодатчик.
2. Какой из перечисленных фотодатчиков является параметрическим?
 - 1) фототиристор;
 - 2) фоторезистор;
 - 3) фототранзистор;
 - 4) фотодиод;
 - 5) оптрон.
3. Какие из перечисленных датчиков являются генераторными?
 - 1) индукционный;
 - 2) индуктивный;
 - 3) трансформаторный;
 - 4) магнитоупругий.
4. Из приведенных уравнений укажите уравнение усилительного звена:

1) $y = kx$; 3) $T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$; 5) $y = k \frac{dx}{dt} = kpx$.

2) $T \frac{dy}{dt} + y = kx$; 4) $y = \int_0^t x dt$;

5. Из приведенных уравнений укажите уравнение дифференцирующего звена:

1) $y = kx$; 3) $T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$; 5) $y = k \frac{dx}{dt} = kpx$.

2) $T \frac{dy}{dt} + y = kx$; 4) $y = \int_0^t x dt$;

6. Из приведенных уравнений укажите уравнение интегрирующего звена:

1) $y = kx$; 3) $T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$; 5) $y = k \frac{dx}{dt} = kpx$.

2) $T \frac{dy}{dt} + y = kx$; 4) $y = \int_0^t x dt$;

7. Из приведенных уравнений укажите уравнение апериодическое звено второго порядка:

1) $y = kx$; 3) $T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$; 5) $y = k \frac{dx}{dt} = kpx$.

2) $T \frac{dy}{dt} + y = kx$; 4) $y = \int_0^t x dt$;

8. Из приведенных уравнений укажите уравнение апериодическое звено первого порядка:

1) $y = kx$; 3) $T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$; 5) $y = k \frac{dx}{dt} = kpx$.

2) $T \frac{dy}{dt} + y = kx$; 4) $y = \int_0^t x dt$;

9. Для каких целей используют потенциометрические датчики?

- 1) для контроля линейных и угловых перемещений;
- 2) для измерения усилий;
- 3) для измерения деформаций;
- 4) для измерения температуры;
- 5) для измерения влажности.

10. Чем обусловлена нелинейность статической характеристики нагруженного потенциометрического датчика:

- 1) нагревом потенциометрического датчика;
- 2) конструкцией;
- 3) шунтирующим действием нагрузки;
- 4) наличием зоны нечувствительности;
- 5) погрешностью потенциометрического датчика?

11. Каким из приведенных выражений определяется чувствительность потенциометрического датчика:

- 1) $K_{пр} = U_{вх} / R_n L$;
- 2) $K_{пр} = U_{вх} / R_n$;
- 3) $K_{пр} = 1 / R_n L$;
- 4) $K_{пр} = U_{вх} L / R_n$;
- 5) $K_{пр} = U_{вх} / L$,

где $U_{вх}$ – напряжение питания;

L – длина датчика;

R_n – сопротивление нагрузки.

12. Какой из источников погрешностей потенциометрических датчиков зависит от условий эксплуатации?

- 1) температура и вибрация;
- 2) трение;
- 3) люфт;
- 4) зона нечувствительности.

13. Каким из перечисленных датчиков можно измерить температуру 1000 °С?

- 1) термистор;
- 2) позистор;

- 3) термопара;
- 4) медный термометр сопротивления.

14. Достоинством медных термометров сопротивления является (указать неправильный ответ):

- 1) дешевизна;
- 2) линейный характер градуировочной характеристики;
- 3) высокая точность;
- 4) низкая инерционность.

15. Преобразователь ТСМ – это:

- 1) термистор;
- 2) позистор;
- 3) термопара;
- 4) медный термометр сопротивления.

16. Преобразователь ТСП – это:

- 1) термистор;
- 2) позистор;
- 3) термопара;
- 4) медный термометр сопротивления.

17. Преобразователь ТХА – это:

- 1) термистор;
- 2) позистор;
- 3) термопара;
- 4) медный термометр сопротивления.

18. Достоинством термопар является (указать неправильный ответ):

- 1) простота;
- 2) линейный характер градуировочной характеристики;
- 3) высокая точность;
- 4) низкая инерционность.

19. Достоинством термисторов является (указать неправильный ответ):

- 1) простота;
- 2) линейный характер градуировочной характеристики;

- 3) высокая чувствительность;
- 4) низкая инерционность.

20. Принцип действия термометров сопротивления основан на:

- 1) изменении сопротивления материалов;
- 2) возникновении ЭДС;
- 3) изменении линейных размеров;
- 4) расширении жидкостей и газов.

21. Принцип действия сильфона основан на:

- 1) изменении сопротивления материалов;
- 2) возникновении ЭДС;
- 3) изменении линейных размеров;
- 4) расширении жидкостей и газов.

22. Принцип действия термопары основан на:

- 1) изменении сопротивления материалов;
- 2) возникновении ЭДС;
- 3) изменении линейных размеров;
- 4) расширении жидкостей и газов.

23. Принцип действия фотоэлемента СЦВ-3 основан на:

- 1) фоторезистивном эффекте;
- 2) фотогальваническом эффекте;
- 3) фотоэмиссионном эффекте;
- 4) пьезоэффекте.

24. Принцип действия фотоэлемента ФСК-1 основан на:

- 1) фоторезистивном эффекте;
- 2) фотогальваническом эффекте;
- 3) фотоэмиссионном эффекте;
- 4) пьезоэффекте.

25. Принцип действия фотоэлемента ФД-2 основан на:

- 1) фоторезистивном эффекте;
- 2) фотогальваническом эффекте;
- 3) фотоэмиссионном эффекте;
- 4) пьезоэффекте.

26. Зависимость фототока от интенсивности падающих лучей называется:

- 1) световой;
- 2) спектральной;
- 3) вольтамперной;
- 4) частотной.

27. Зависимость фототока от длины падающих лучей называется:

- 1) световой;
- 2) спектральной;
- 3) вольтамперной;
- 4) частотной.

28. Зависимость фототока от напряжения (при заданной интенсивности лучистого потока) называется:

- 1) световой;
- 2) спектральной;
- 3) вольтамперной;
- 4) частотной.

29. Зависимость выходного параметра от входного параметра объекта называется:

- 1) статической;
- 2) спектральной;
- 3) вольтамперной;
- 4) частотной.

30. Зависимость выходного параметра объекта от времени при подаче на вход типового воздействия называется:

- 1) статической;
- 2) спектральной;
- 3) динамической;
- 4) частотной.

31. Основными динамическими характеристиками элементов автоматики являются (указать неправильный ответ):

- 1) переходная;
- 2) статическая;

- 3) импульсная;
- 4) частотная.

32. Динамическая характеристика, полученная при подаче на вход звена (системы) единичного ступенчатого воздействия, называется:

- 1) переходной;
- 2) статической;
- 3) импульсной;
- 4) частотной.

33. Динамическая характеристика, полученная при подаче на вход звена (системы) гармонического воздействия, называется:

- 1) переходной;
- 2) статической;
- 3) импульсной;
- 4) частотной.

34. Динамическая характеристика, полученная при подаче на вход звена (системы) дельта-функции, называется:

- 1) переходной;
- 2) статической;
- 3) импульсной;
- 4) частотной.

35. Способность системы возвращаться в исходное состояние с заданной точностью после снятия внешнего воздействия называется:

- 1) емкостью;
- 2) устойчивостью;
- 3) запаздываем;
- 4) чувствительностью.

36. Критерий устойчивости Гурвица является:

- 1) алгебраическим;
- 2) частотным;
- 3) геометрическим;
- 4) стохастическим.

37. Критерий устойчивости Михайлова является:

- 1) алгебраическим;
- 2) частотным;
- 3) геометрическим;
- 4) стохастическим.

38. Критерий устойчивости Найквиста является:

- 1) алгебраическим;
- 2) частотным;
- 3) геометрическим;
- 4) стохастическим.

39. Для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы при изменении частоты ω от 0 до ∞ не охватывала точку с координатами $[-1; j0]$, это формулировка критерия:

- 1) Гурвица;
- 2) Раусса;
- 3) Найквиста;
- 4) Михайлова.

40. Для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы годограф вектора полученный из характеристического уравнения при изменении частоты ω от 0 до ∞ , начинаясь при $\omega = 0$ на вещественной положительной полуоси, обходил против часовой стрелки последовательно n квадрантов, уходя в бесконечность в последнем квадранте, это формулировка критерия:

- 1) Гурвица;
- 2) Раусса;
- 3) Найквиста;
- 4) Михайлова.

41. Для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы при $a_0 > 0$ были положительны все n определителей, получаемых из квадратной матрицы коэффициентов, это формулировка критерия:

- 1) Гурвица;
- 2) Раусса;

- 3) Найквиста;
- 4) Михайлова.

42. Запас устойчивости работоспособной системы должен быть:

- 1) $\Delta\varphi \geq 30^\circ$ и $\Delta A \geq 0,7$;
- 2) $\Delta\varphi < 30^\circ$ и $\Delta A < 0,7$;
- 3) $\Delta\varphi \geq 30^\circ$ и $\Delta A < 0,5$;
- 4) $\Delta\varphi < 20^\circ$ и $\Delta A \geq 0,7$.

43. Качество САУ по переходной характеристике оценивается (указать неправильный ответ):

- 1) постоянной времени объекта T ;
- 2) величиной перерегулирования h ;
- 3) временем переходного процесса t_p ;
- 4) числом колебаний s (колебательность);
- 5) степенью затухания ψ .

44. Величина перерегулирования указывает на:

- 1) запас устойчивости;
- 2) быстродействие;
- 3) колебательность;
- 4) точность.

45. Время переходного процесса t_p указывает на:

- 1) запас устойчивости;
- 2) быстродействие;
- 3) колебательность;
- 4) точность.

46. Число колебаний переходной характеристики s указывает на:

- 1) запас устойчивости;
- 2) быстродействие;
- 3) колебательность;
- 4) точность.

47. Время, в течение которого регулируемый параметр изменяется от нуля до номинального значения при максимальном возмущении

при условии, что нагрузка отсутствует и скорость изменения dy / dt остается в течение этого времени постоянной, называется:

- 1) постоянной времени объекта;
- 2) временем разгона;
- 3) запаздыванием;
- 4) чувствительностью объекта.

48. Время, в течение которого регулируемый параметр достигает нового установившегося значения при неизменных притоке и расходе вещества или энергии для данного объекта, лишенного самовыравнивания, называется:

- 1) постоянной времени объекта;
- 2) временем разгона;
- 3) запаздыванием;
- 4) чувствительностью объекта.

49. Свойство объекта после возникновения возмущения приходить в состояние равновесия без внешнего вмешательства (без регулятора), причем каждому возмущению соответствует свое значение регулируемого параметра, называется:

- 1) самовыравниванием;
- 2) временем разгона;
- 3) запаздыванием;
- 4) чувствительностью объекта.

50. Запаздывание в объекте бывает:

- 1) транспортным;
- 2) переходным;
- 3) удельным;
- 4) объемным.

51. Зависимость между выходной координатой регулятора U и его входной координатой x без учета инерционности элементов, называется:

- 1) передаточной функцией;
- 2) законом регулирования;
- 3) статической характеристикой;
- 4) динамической характеристикой.

52. Пропорциональный закон регулирования имеет вид:

- 1) $U = k_2 \int_0^t x dt$;
- 2) $U = k_1 x$;
- 3) $U = k_1 x + k_2 \int_0^t x dt + k_4 \frac{dx}{dt}$;
- 4) $U = k_4 \frac{dx}{dt} = k_4 p x$;
- 5) $U = k_3 \int_0^t x dt + x k_1$.

53. Интегральный закон регулирования имеет вид:

- 1) $U = k_2 \int_0^t x dt$;
- 2) $U = k_1 x$;
- 3) $U = k_1 x + k_2 \int_0^t x dt + k_4 \frac{dx}{dt}$;
- 4) $U = k_4 \frac{dx}{dt} = k_4 p x$;
- 5) $U = k_3 \int_0^t x dt + x k_1$.

54. Дифференциальный закон регулирования имеет вид:

- 1) $U = k_2 \int_0^t x dt$;
- 2) $U = k_1 x$;
- 3) $U = k_1 x + k_2 \int_0^t x dt + k_4 \frac{dx}{dt}$;
- 4) $U = k_4 \frac{dx}{dt} = k_4 p x$;
- 5) $U = k_3 \int_0^t x dt + x k_1$.

55. ПИ-закон регулирования имеет вид:

- 1) $U = k_2 \int_0^t x dt$;
- 2) $U = k_1 x$;
- 3) $U = k_1 x + k_2 \int_0^t x dt + k_4 \frac{dx}{dt}$;
- 4) $U = k_4 \frac{dx}{dt} = k_4 p x$;
- 5) $U = k_3 \int_0^t x dt + x k_1$.

56. ПИД-закон регулирования имеет вид:

- 1) $U = k_2 \int_0^t x dt$;
- 2) $U = k_4 \frac{dx}{dt} = k_4 p x$;
- 3) $U = k_1 x + k_2 \int_0^t x dt + k_4 \frac{dx}{dt}$;
- 4) $U = k_3 \int_0^t x dt + x k_1$;
- 5) $U = k_1 x$.

57. Позиционные законы бывают:

- 1) пропорциональные;

- 2) двухпозиционные;
- 3) интегральные;
- 4) дифференциальные.

58. Устройство, которое воспринимает разность между текущим и заданным значениями регулируемой величины и преобразует ее в перемещение рабочего органа в соответствии с заложенным законом, называется:

- 1) сравнивающим устройством;
- 2) исполнительным устройством;
- 3) регулятором;
- 4) датчиком.

59. Позиционные регуляторы применяют если:

- 1) $\tau / T < 0,2$;
- 2) $\tau / T = 0,2 \dots 1$;
- 3) $\tau / T > 1$;
- 4) $c / T = 0,2 \dots 1$.

60. Импульсные регуляторы применяют если:

- 1) $\tau / T < 0,2$;
- 2) $\tau / T = 0,2 \dots 1$;
- 3) $\tau / T > 1$;
- 4) $c / T = 0,2 \dots 1$.

61. Непрерывные регуляторы применяют если:

- 1) $\tau / T < 0,2$;
- 2) $\tau / T = 0,2 \dots 1$;
- 3) $\tau / T > 1$;
- 4) $c / T = 0,2 \dots 1$.

62. Для измерения расхода не применяют преобразователи:

- 1) переменного перепада давления;
- 2) постоянного перепада давления;
- 3) термомеханические;
- 4) электромагнитные;
- 5) ультразвуковые.

63. Принцип действия каких расходомеров построен на зависимости скорости распространения звуковой волны от скорости потока?

- 1) переменного перепада давления;
- 2) постоянного перепада давления;
- 3) электромагнитные;
- 4) ультразвуковые.

64. Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на:

- 1) тензоэффекте;
- 2) индукции;
- 3) индуктивности;
- 4) фотоэффекте.

65. Достоинством электромагнитных расходомеров является (указать неправильный ответ):

- 1) работоспособность при высоких давлениях;
- 2) отсутствие падения давления;
- 3) линейность измерительной шкалы;
- 4) высокое быстродействие;
- 5) отложение магнетита.

66. Достоинством ультразвуковых расходомеров является (указать правильный ответ):

- 1) нечувствительность к изменению температуры;
- 2) бесконтактное измерение расходов любых сред;
- 3) нечувствительность к составу среды;
- 4) нечувствительность к изменению профиля скоростей.

67. Какой из перечисленных датчиков используется для измерения перемещений?

- 1) индуктивный;
- 2) пьезоэлектрический;
- 3) термоэлектрический;
- 4) потенциометрический.

68. Какой из перечисленных датчиков используется для измерения уровня:

- 1) емкостной;
- 2) тензометрический;
- 3) индуктивный;
- 4) датчик Холла?

69. Какой из перечисленных датчиков используется для измерения частоты вращения:

- 1) индукционный;
- 2) потенциометрический;
- 3) тензометрический;
- 4) индуктивный?

70. Какой из перечисленных датчиков используется для измерения усилия?

- 1) термомеханический;
- 2) термоэлектрический;
- 3) фотоэлектрический;
- 4) тензометрический.

71. Какой из перечисленных датчиков используется для измерения давления?

- 1) потенциометрический;
- 2) пьезоэлектрический;
- 3) индукционный;
- 4) фотоэлектрический.

72. Каким из перечисленных датчиков измеряется влажность?

- 1) тензометрическим;
- 2) емкостным;
- 3) пьезоэлектрическим;
- 4) пневмотическим.

73. Каким из перечисленных датчиков измеряется температура?

- 1) тензометрическим;
- 2) термистором;
- 3) емкостным;
- 4) пьезоэлектрическим.

74. Каким из перечисленных датчиков измеряется вибрация?

- 1) фотоэлектрическим;
- 2) пьезоэлектрическим;
- 3) тензодатчиком;
- 4) фотоэлектрическим.

75. Какой из перечисленных датчиков параметрический?

- 1) термopара;
- 2) вентильный фотоэлемент;
- 3) потенциометрический;
- 4) пьезоэлектрический.

76. Какой из перечисленных датчиков генераторный?

- 1) механический;
- 2) потенциометрический;
- 3) вентильный фотоэлемент;
- 4) емкостной.

77. Номинальный рабочий ток тензометрических датчиков составляет?

- 1) 10 А;
- 2) 1 А;
- 3) 0,005 мА;
- 4) 30 мА.

78. Принцип действия угольного преобразователя основан на изменении:

- 1) структуры материала;
- 2) количества материала;
- 3) удельного сопротивления;
- 4) контактного сопротивления между частицами угля.

79. Для проведения измерений тензометрические датчики на пленочной основе:

- 1) прижимаются к детали зажимами;
- 2) прикручиваются к детали;
- 3) прикладываются к детали;
- 4) наклеиваются на деталь.

80. Коэффициент тензочувствительности тензометрических датчиков определяется выражением

$$1) K = \frac{\Delta Z / Z}{\Delta \delta / \delta};$$

$$3) K = \frac{\Delta Z / Z}{\Delta r / r};$$

$$2) K = \frac{\Delta I / I}{\Delta r / r};$$

$$4) K = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L}.$$

81. Максимальная допустимая относительная деформация тензометрических датчиков на пленочной основе:

- 1) 10 %;
- 2) 5 %;
- 3) 2 %;
- 4) 0,3 %.

82. Какой из перечисленных датчиков не является электромагнитным?

- 1) индуктивный;
- 2) трансформаторный;
- 3) магнитоупругий;
- 4) пьезометрический.

83. Принцип действия электромагнитных датчиков основан на изменении:

- 1) сопротивления;
- 2) напряжения;
- 3) тока;
- 4) индуктивности.

84. В индуктивном датчике изменение входной величины преобразуется в:

- 1) изменение напряжения на обмотке;
- 2) ЭДС;
- 3) изменение активного сопротивления обмотки;
- 4) изменение реактивного сопротивления обмотки.

85. Чувствительность индуктивного преобразователя определяется выражением:

$$1) K = \frac{\Delta Z / Z}{\Delta r / r};$$

$$3) K = \frac{\Delta \mu / \mu}{\Delta r / r};$$

$$2) K = \frac{\Delta \mu / \mu}{\Delta l / l};$$

$$4) K = \frac{\Delta Z / Z}{\Delta l / l}.$$

86. Принцип действия трансформаторных датчиков основан на изменении:

- 1) магнитного потока;
- 2) взаимной индуктивности обмоток;
- 3) сопротивления обмоток;
- 4) напряжения.

87. Разновидностью трансформаторных датчиков являются:

- 1) сельфоны;
- 2) сельсины;
- 3) соленоиды;
- 4) тахогенераторы.

88. Принцип действия магнитоупругих датчиков основан на изменении:

- 1) сопротивления;
- 2) магнитной проницаемости ферромагнитных тел;
- 3) размеров;
- 4) магнитного потока.

89. Недостатками магнитоупругих преобразователей является:

- 1) влияние электромагнитных полей;
- 2) наличие ошибки из-за остаточных деформаций;
- 3) большие размеры и масса;
- 4) наличие подвижных контактов.

90. Принцип действия индукционных датчиков основан на:

- 1) изменении магнитной проницаемости сердечника;

- 2) явлении электромагнитной индукции;
- 3) изменении взаимной индуктивности обмоток;
- 4) изменении активного сопротивления обмоток.

91. Разновидностью индукционных датчиков являются:

- 1) механотроны;
- 2) тахогенераторы;
- 3) соленоиды;
- 4) сельсины.

92. Выбор регулятора может производиться по диаграмме:

- 1) Найквиста;
- 2) Лернера;
- 3) Ползунова;
- 4) Ляпунова.

93. ПИ ШИМ регулятор обеспечивает:

- 1) пропорциональный закон с шагово-импульсным модулированием;
- 2) пропорционально-интегральный закон с шагово-импульсным модулированием;
- 3) пропорционально-интегральный закон с широтно-импульсным модулированием;
- 4) пропорционально-интегральный закон с амплитудно-импульсным модулированием.

94. При амплитудно-импульсной модуляции изменяется:

- 1) продолжительность импульсов;
- 2) начальная фаза импульсов;
- 3) частота следования импульсов;
- 4) амплитуда импульсов.

95. При широтно-импульсной модуляции изменяется:

- 1) продолжительность импульсов;
- 2) начальная фаза импульсов;
- 3) частота следования импульсов;
- 4) амплитуда импульсов.

96. При фазоимпульсной модуляции изменяется:

- 1) продолжительность импульсов;
- 2) начальная фаза импульсов;
- 3) частота следования импульсов;
- 4) амплитуда импульсов.

97. При фазоимпульсной модуляции изменяется:

- 1) продолжительность импульсов;
- 2) начальная фаза импульсов;
- 3) частота следования импульсов;
- 4) амплитуда импульсов.

98. Аналого-цифровой преобразователь предназначен для преобразования:

- 1) сопротивления в напряжение;
- 2) непрерывных сигналов в цифровые;
- 3) импульсных сигналов в непрерывные;
- 4) напряжения в индуктивное сопротивление.

99. Мостовые схемы включения преобразователей предназначены для преобразования:

- 1) сопротивления в напряжение;
- 2) непрерывных сигналов в импульсные;
- 3) импульсных сигналов в непрерывные;
- 4) напряжения в индуктивное сопротивление.

100. Система, в которой хотя бы одна из величин, характеризующих состояние системы, квантуется по времени и уровню, называется:

- 1) непрерывной;
- 2) импульсной;
- 3) цифровой;
- 4) статической.

101. Какая из перечисленных величин не является входной величиной емкостного преобразователя?

- 1) зазор между пластинами;
- 2) площадь перекрытия пластин;
- 3) объем пластин;
- 4) диэлектрическая проницаемость.

102. Основным недостатком использования емкостных преобразователей является:

- 1) большие габариты и масса;
- 2) инерционность;
- 3) необходимость использования специального источника питания;
- 4) отсутствие подвижных контактов.

103. Какой из перечисленных материалов используется для изготовления пьезоэлектрических преобразователей?

- 1) кадмий;
- 2) медь;
- 3) кварц;
- 4) углерод.

104. Сущность прямого пьезоэлектрического эффекта заключается в том, что под действием приложенного усилия на гранях кристалла появляется:

- 1) магнитное поле;
- 2) электрическое поле;
- 3) электрический заряд;
- 4) магнитный поток.

105. Сущность обратного пьезоэлектрического эффекта заключается в том, что при внесении пьезокристалла в электрическое поле он:

- 1) охлаждается;
- 2) остается неизменным;
- 3) деформируется;
- 4) нагревается.

106. Основным недостатком использования пьезоэлектрических преобразователей является:

- 1) инерционность;
- 2) большое входное напряжение;
- 3) «стекание» заряда;
- 4) наличие подвижных контактов.

107. Какая из ниже перечисленных осей отсутствует в пьезоэлементах?

- 1) оптическая Z ;

- 2) электрическая X ;
- 3) мнимая K ;
- 4) механическая Y .

108. Сечение трубчатого упругого элемента (пружины Бурдона) является:

- 1) круглым;
- 2) квадратным;
- 3) овальным;
- 4) прямоугольным.

109. Для измерения влажности вещества используют:

- 1) кондуктометрические датчики;
- 2) диэлькометрические датчики;
- 3) магнитоупругие датчики;
- 4) тензодатчики.

110. Устройство, представляющее собой полупроводниковую пластину с четырьмя выводами, помещенную в магнитное поле, называется:

- 1) датчиком ЭДС Холла;
- 2) термистором;
- 3) варикапом;
- 4) триггером.

Уровень II (продуктивный)

1. Понятие автоматического управления, регулирования, контроля (автоматика, телемеханика).

2. Классификация систем автоматики.

3. Статические и астатические системы автоматики.

4. Схемы автоматики.

5. Обобщенная функциональная схема систем автоматики.

6. Обратная связь (назначение, виды).

7. Принципы построения САУ.

8. Статические характеристики элементов автоматики.

9. Типовые воздействия в АСУ.

10. Динамическая характеристика элементов автоматики.

11. Математическое описание элементов автоматики.

12. Передаточные функции звеньев и систем.

13. Типовые динамические звенья.
14. Понятие устойчивости автоматической системы.
15. Критерии устойчивости (определение запаса устойчивости).
16. Качество процесса регулирования.
17. Объекты автоматизации (свойства).
18. Понятие о законах регулирования.
19. Классификация регуляторов.
20. Выбор регуляторов.
21. Настройка регуляторов.
22. Датчики (понятие, характеристики, виды).
23. Структура датчиков.
24. Потенциометрические датчики.
25. Тензометрические датчики.
26. Электромагнитные датчики (общие понятия, классификация).
27. Трансформаторные датчики.
28. Индуктивные датчики.
29. Магнитоупругие датчики.
30. Емкостные датчики.
31. Датчики Холла.
32. Пьезометрические датчики.
33. Фотоэлектрические датчики (вакуумные, резисторные, вентильные).
34. Металлические термометры сопротивления.
35. Термоэлектрические термометры.
36. Полупроводниковые термометры сопротивления.
37. Вторичные приборы для измерения и регулирования температуры.
38. Термомеханические датчики.
39. Датчики давления.
40. Гидропневмопреобразователи.
41. Преобразователи состава вещества.
42. Сравнивающие и задающие устройства.
43. Усилительные устройства.
44. Исполнительные устройства.
45. Регулирующие органы.

Уровень III (творческий)

Выполните расчет устойчивости автоматической системы состоящей из четырех звеньев.

МОДУЛЬ 2

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В результате изучения модуля студент должен *знать*:

- устройство и принцип действия автоматических систем контроля, регулирования и управления основными технологическими процессами сельскохозяйственного производства;
- возможности использования микропроцессорной техники при автоматизации сельскохозяйственной техники;

уметь:

- осуществлять технические решения автоматизации основных типов сельскохозяйственной техники;
- монтировать и настраивать системы автоматики на оптимальный (качественный) режим работы;
- определять экономическую эффективность автоматизации.

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ

Словарь основных понятий

Автоматика – отрасль науки и техники, охватывающая теорию и принципы построения систем управления технологическими процессами, действующих без непосредственного участия человека.

Автоматическое регулирование – процесс автоматического поддержания какого-либо параметра на заданном уровне или изменение его по определенному закону.

Алгоритм – предписание, которое определяет содержание и последовательность операций, переводящих исходные данные в искомый результат.

Алгоритм функционирования – совокупность предписаний, необходимых для правильного выполнения технологического процесса в каком-либо устройстве или совокупности устройств.

Актуатор – исполнительное устройство или его активный элемент, преобразующий один вид энергии (электрическую, магнитную, тепловую, химическую) в другой (чаще всего – в механическую), что приводит к выполнению определенного действия, заданного управляющим сигналом.

Исполнительный механизм – устройство, элемент, которые воспринимают сигнал устройства управления и воздействуют на управляемый вход объекта управления.

Регулирующий орган – устройство, через которое осуществляется изменение регулирующего потока вещества или энергии, влияющего на состояние технологического параметра объекта управления.

Регулятор – специальное устройство, осуществляющее автоматическое регулирование.

Схема соединений – схема, показывающая соединения составных частей изделия и определяющая провода и другие изделия, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода.

Технологическая операция – механическое или физико-химическое воздействие на продукт или преобразование одних продуктов в другие.

Технологический процесс – совокупность приемов и операций, целесообразно направленных на перевод материала или продукта из исходного состояния к необходимому конечному состоянию.

ЛЕКЦИЯ 8. АВТОМАТИЗАЦИЯ МОБИЛЬНЫХ МАШИН И АГРЕГАТОВ

План лекции

1. Автоматическое управление движением машин и их рабочих органов в продольно-вертикальной плоскости.

1.1. САР глубины пахоты и культивации.

1.2. Автоматическое регулирование глубины заделки семян.

1.3. Автоматическое регулирование положения режущих аппаратов уборочных машин.

2. Автоматическое управление движением машин и их рабочих органов в горизонтальной плоскости.

2.1. Автоматическое вождение пахотных агрегатов.

2.2. Автоматизация вождения самоходных зерноуборочных комбайнов.

2.3. Системы автоматического вождения самоходных сельскохозяйственных машин.

3. Автоматическое управление скоростными и нагрузочными режимами рабочих органов и двигателя машин.

3.1. Автоматизация управления нагрузочными режимами двигателей.

3.2. Автоматическое регулирование загрузки молотилки самоходных зерноуборочных комбайнов.

4. Автоматизация контроля работы сельскохозяйственных машин.

4.1. Контроль и автоматизация загрузки семенных ящиков сеялок.

4.2. Контроль нормы высева семян.

4.3. Автоматический контроль и сигнализация работы зерноуборочной машины.

САР положения машин и отдельных рабочих органов относительно поверхности поля предназначены для регулирования по высоте относительно поверхности поля положения первичных рабочих органов почвообрабатывающих, посевных, уборочных машин и для стабилизации положения остова косогорных машин в пространстве.

Системы регулирования положения машин и отдельных рабочих органов можно разделить на четыре основные группы: САР глубины пахоты и культивации, системы регулирования положения режущих аппаратов уборочных машин, системы регулирования глубины заделки семян, системы автоматической стабилизации положения остова косогорных машин.

1. Автоматическое управление движением машин и их рабочих органов в продольно-вертикальной плоскости

1.1. САР глубины пахоты и культивации

Основная задача систем регулирования глубины пахоты и культивации заключается в стабилизации глубины вспашки и рыхления, установленной агротехническими требованиями. В соответствии с агротехническими требованиями отклонения глубины пахоты на

ровных участках не должны превышать $\pm 1-1,5$ см, а на неровных участках 2–3 см. Неравномерность глубины обработки при культивации не должна превышать ± 1 см.

Существует два основных принципа построения САУ глубины пахоты – силовой и по отклонению. При использовании силового принципа система регулирования строится на основе измерения тягового усилия. Способ по отклонению использует сигнал, измеряющий расстояние от поверхности почвы до режущей кромки плуга. Естественно, что силовой принцип построения системы регулирования является косвенным и поэтому при изменении физико-механических свойств почвы в системе, построенной по такому принципу, будут наблюдаться изменения глубины пахоты. Наиболее распространен именно этот не вполне совершенный принцип. Объясняется это простой конструкцией системы. Принципиальная схема такой системы изображена на рис. 2.1.

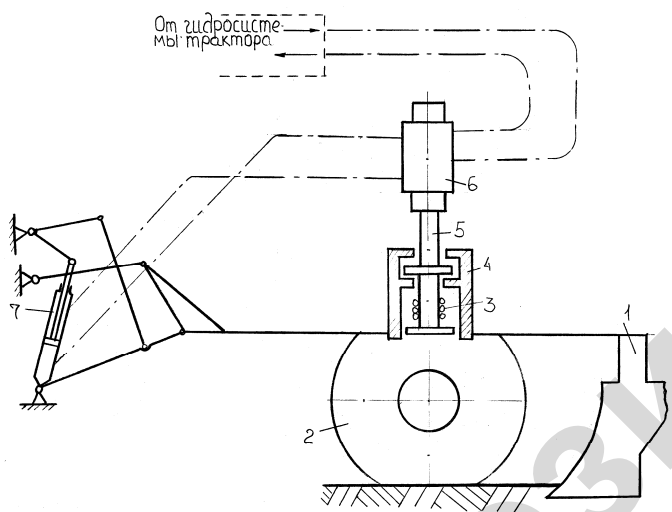


Рис. 2.1. Силовое регулирование глубины хода плуга

Среди разнообразных систем, предложенных для этой цели, наибольший интерес представляет САУ, в которой управление глубиной пахоты ведется по величине реакции опорного колеса плуга. Объектом управления 1 в данной схеме является плуг. Воспринимающим органом служит опорное колесо 2. Кронштейны 4 в сочетании

с пружиной 3 представляют собой сравнивающий орган системы. Исполнительным органом 6 является гидроусилитель. В процессе работы вертикальная составляющая реакции почвы от веса плуга передается через опорное колесо 2, пружину 3, размещенную в кронштейне 4, и колесную стойку 5 на золотник 6 силового гидроцилиндра 7. При нормальной глубине пахоты, задаваемой пружиной 3, рабочая жидкость гидросистемы идет на слив через гидрораспределитель 6 и в гидроцилиндр 7 не подается. С увеличением глубины пахоты реакция на опорное колесо возрастает, золотниковое устройство открывается, вызывая срабатывание силового гидроцилиндра 7, который несколько приподнимает корпус плуга, восстанавливая глубину пахоты. Если глубина пахоты уменьшается, то вся система действует в обратном направлении.

Рассмотрим работу системы, построенной на принципе управления по отклонению. Принципиальная схема такой системы изображена на рис. 2.2.

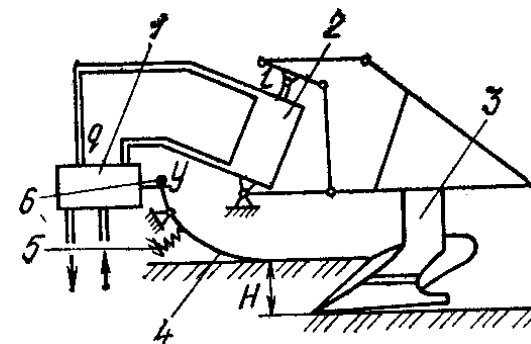


Рис. 2.2. Система регулирования глубины пахоты по отклонению:
1 – золотниковый гидрораспределитель; 2 – гидроцилиндр; 3 – плуг;
4 – качающаяся планка с ползунком; 5 – пружина; 6 – винт.

Измерительным устройством регулятора по отклонению является качающаяся планка с ползунком 4. Отклонение планки с ползунком передается на золотниковый гидрораспределитель 1, который управляет работой гидроцилиндра 2.

Действие системы происходит следующим образом. При отклонении глубины вспашки H в сторону увеличения планка с ползунком под действием пружины 5 отклонится и переместит плунжер золотникового гидрораспределителя. Масло от гидрораспределителя

под давлением начнет поступать в нижнюю часть гидроцилиндра. Поршень гидроцилиндра подымется вверх и тем самым уменьшит заглубление плуга. При уменьшении глубины пахоты система будет действовать в обратном направлении.

При резко изменяющихся физико-механических свойствах почвы применяется комбинированный способ регулирования глубины вспашки по отклонению и силовой. Резко возрастающие тяговые сопротивления приводят к временной пробуксовке движения трактора, требуют перехода на пониженную передачу или принудительное ручное выглубление орудия. Силовой преобразователь позволяет в значительной степени сгладить эти возмущения и увеличить производительность пахотного агрегата. Конструкция комбинированной системы регулирования описана в литературе.

САР глубины культивации и хода подкапывающих рабочих органов картофелеуборочного комбайна строится на основе принципа управления по отклонению. Чувствительным элементом системы является каток, который посредством рычажного механизма прикреплен к раме агрегата и прижимается к поверхности земли пружиной. Остальные элементы автоматической системы такие же, как у рассмотренных систем.

Функциональная схема показана на рис. 2.3, а. На схеме изображены все функциональные элементы и связи между ними.

Объект управления – плуг 3, выходная величина объекта – глубина вспашки H , а входная – перемещение штока поршня l . Воспринимающим элементом служит ползковый копир 4, на вход которого поступает сигнал об отклонениях величины H , а выходом является пропорциональное отклонению перемещение плунжера золотникового гидрораспределителя y . Управляющий элемент – золотниковый гидрораспределитель, на выходе которого при изменении появляется поток масла q , пропорциональный y . Поток масла q , направленный в ту или иную полость гидроцилиндра, является его входным воздействием. Выходом гидроцилиндра, который служит исполнительным механизмом системы, будет перемещение штока поршня l , изменяющее положение объекта управления и его выходную величину H . Задающий элемент системы – винт 6, способный изменять положение воспринимающего элемента и задавать различную величину H . Таким образом, элементом сравнения является сам воспринимающий элемент (положение основания

копира относительно режущей кромки плуга). Только в случае соответствия действительной и заданной H величин золотник гидрораспределителя будет устанавливаться в такое положение, при котором масло от гидросистемы не будет попадать в исполнительный механизм.

Возмущающими воздействиями F объекта управления являются неровности поверхности поля, по которым движется ползковый копир, а также вертикальные колебания плуга, возникающие при движении пахотного агрегата.

Структурная схема показана на рис. 2.3, б.

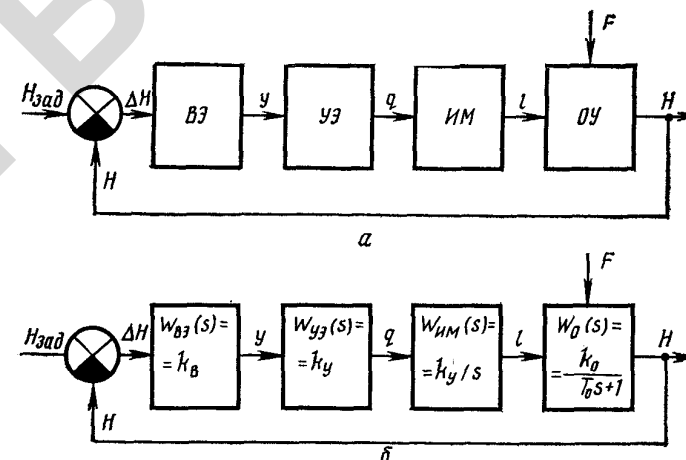


Рис. 2.3. Схемы САР глубины пахоты:
а – функциональная; б – структурная

1.2. Автоматическое регулирование глубины заделки семян

Урожай в значительной степени зависит от глубины заделки семян. При отклонении глубины заделки семян от заданной на ± 2 см урожайность зерновых снижается на 10–12 %. Для всхожести семян льна глубина заделки имеет весьма существенное значение. Так, при заделке семян на оптимальную глубину 1,5–2,0 см всхожесть составляет 90 %, при глубине 5...6 см – 20...30 %.

Определить глубину заделки семян непосредственно при выполнении посевных операций весьма сложно. Однако о глубине заделки семян можно судить по косвенному показателю – глубине хода сошников. Экспериментальными исследованиями установлено, что

между глубиной хода сошников и глубиной заделки семян существует тесная корреляционная связь. Коэффициент корреляции этих величин равен 0,8. Причем установлено, что глубина хода сошников на 1,5 см больше, чем глубина заделки семян.

Глубина хода сошников зависит от скорости движения посевного агрегата, физико-механических свойств почвы, в первую очередь от плотности почвы, а также от конструктивных и эксплуатационных особенностей сеялок, определяющих их динамические характеристики. По данным ряда исследований, в среднем с увеличением скорости движения посевного агрегата на 1 км/ч выглубление сошников составляет 3–4 % заданной глубины хода сошников.

Указанные особенности работы посевных агрегатов положены в основу при создании САР глубины заделки семян.

Автоматический регулятор глубины хода сошников реагирует на изменения скорости движения посевного агрегата. Входным управляющим воздействием системы является скорость движения агрегата.

На рис. 2.4 показан автоматический корректор глубины хода сошников зерновой сеялки по скорости движения агрегата. Регулирование глубины хода сошников 1 осуществляется силовым гидроцилиндром 2, который питается от гидрораспределителя 3 трактора.

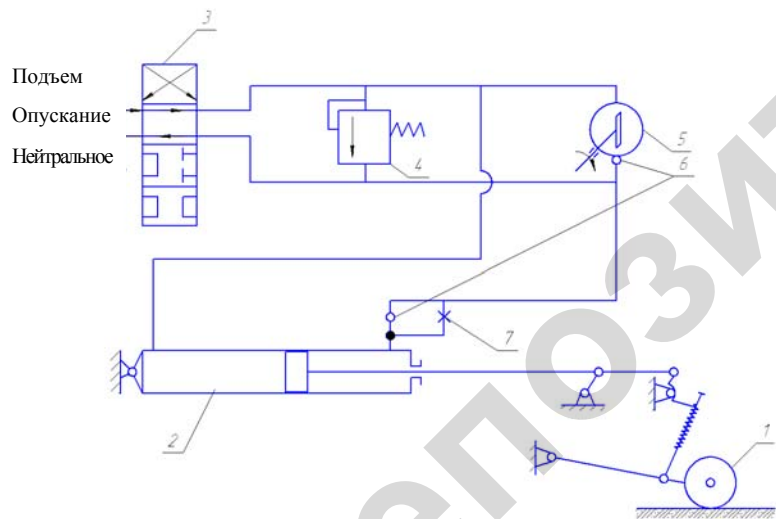


Рис. 2.4. Схема автоматического корректора глубины хода сошников

При переводе рычага гидрораспределителя 3 из нейтрального положения в положение опускания часть масла направляется в надпоршневую полость гидроцилиндра 2, а остальная часть двумя потоками через регулятор давления 4 и вихревой дроссель 5 с обратным клапаном 6 поступает на слив. Из подпоршневой полости гидроцилиндра 2 масло через дроссель 7 одностороннего действия вытесняется на слив, при этом дроссель 7, прижимаясь к гнезду, создает сопротивление проходу масла, за счет чего при переводе сошников 1 из транспортного положения в рабочее достигается плавное опускание их. После полного опускания сошников все масло начинает поступать на слив. Так как общее проходное сечение регулятора давления 4 и вихревого дросселя 5 несколько меньше, чем в подводящей магистрали, то создается давление подпора масла, которое распространяется и в надпоршневую полость гидроцилиндра 2. При этом его шток, выдвигаясь, заставляет сошники заглубляться.

Величина давления подпора, а, следовательно, и глубина хода сошников устанавливаются вручную путем изменения количества масла, перепускаемого на слив через регулятор давления 4.

При движении посевного агрегата начинает вращаться ротор вихревого дросселя 5. При этом при увеличении скорости движения давление подпора увеличивается, шток гидроцилиндра 2, выдвигаясь, сжимает пружину сошника 1, препятствуя выглублению его от увеличения скорости. При уменьшении скорости движения давления подпора уменьшается, пружины сошников, выпрямляясь, сдвигают поршень гидроцилиндра 2 несколько влево, вертикальное усилие на сошники уменьшается и глубина хода их остается прежней. Таким образом обеспечивается постоянная средняя глубина хода сошников при переменной скорости движения посевного агрегата. Давление подпора действует только на заглубление сошников, вследствие чего выбираются зазоры в соединениях гидроцилиндр – сошник и обеспечивается хорошее быстроедействие устройства.

Параллельное соединение регулятора давления 4 и вихревого дросселя 5 с гидроцилиндром обеспечивает «плавающее» положение последнего, что обеспечивает лучшее копирование сошниками микронеровностей поверхности поля.

Для подъема сошников 1 в транспортное положение рычаг гидрораспределителя 3 трактора переводится в положение подъема, масло

под давлением закрывает обратный клапан 6 и поступает на надпоршневую полость гидроцилиндра 2, поршень которого, перемещаясь влево, поднимает сошники. По окончании подъема сошников рычаг гидрораспределителя 3 переводится в нейтральное положение.

1.3. Автоматическое регулирование положения режущих аппаратов уборочных машин

Неравномерность среза убираемых культур влияет на потери урожая за жаткой, а также на выполнение последующих технологических операций уборки. Применение автоматической системы копирования рельефа на силосоуборочных комбайнах позволило собрать с каждого гектара на 1,91 т силоса больше, то есть повысить урожайность на 4,5 %. Применяемые в настоящее время пассивные механические системы опорного копирования рельефа не могут эффективно работать как на твердых почвах в связи с частой потерей контакта с почвой, так и на слабонесущих почвах в связи с частым зарыванием опорных башмаков в почву. Не являются эффективными и гидравлические компенсационные устройства, обеспечивающие постоянное давление опорных башмаков на поверхность почвы, которые на слабонесущих грунтах вообще неприменимы.

Для наиболее эффективного использования режущих уборочных агрегатов применяется замкнутая система автоматического регулирования. В качестве чувствительного элемента используется шарнирно закрепленный на жатке контактный рычаг с башмаком, копирующим рельеф поля. Остальные элементы автоматической системы конструктивно не отличаются от подобных элементов систем регулирования глубины хода рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов.

Разрабатываются системы бесконтактного регулирования величины среза зерновой массы на заданном расстоянии от колосьев. Система содержит фотоэлементы, измеряющие длину срезаемых стеблей.

Рассмотрим работу системы на примере управления высотой среза прицепного кукурузоуборочного комбайна (рис. 2.5), которая позволяет автоматически копировать рельеф поля, благодаря чему высота среза рабочих органов может быть установлена минимальной, а это приводит к существенному сокращению потерь зеленой массы в процессе уборки.

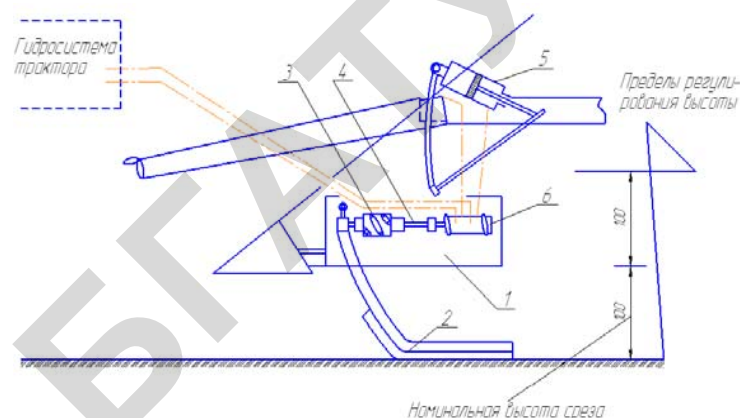


Рис. 2.5. Система автоматического поддержания высоты среза

Объектом управления 1 данной системы являются рабочие органы комбайна, установленные на определенную высоту среза, а воспринимающим органом, контролирующим высоту среза при изменении рельефа почвы, служит ползковый копир 2. От воспринимающего органа сигнал через предохранительную муфту 3 и тягу 4 передается на золотниковое устройство 6 гидроцилиндра 5, играющего роль исполнительного органа системы. Если поверхность поля ровная и высота среза соответствует заданной, то золотник 6, устанавливается в такое положение, при котором масло из трубопроводов высокого давления сливается в бак, минуя гидроцилиндр 5. Если же высота среза окажется отличной от заданной, то воспринимающий орган 2 отклонится в ту или иную сторону и вызовет тем самым перемещение золотника. Теперь масло под высоким давлением поступит в одну из полостей силового гидроцилиндра 5 и таким образом переместит рабочие органы комбайна, что высота среза станет нормальной. Предохранительная муфта 3 предотвращает поломки золотника при наезде копира на препятствия.

Как было показано выше, применение систем регулирования положения машин и отдельных рабочих органов относительно поверхности поля может дать значительный экономический эффект за счет улучшения качества технологических процессов, снижения потерь сельскохозяйственной продукции, а также за счет увеличения производительности труда. Однако пока не все рассмотренные нами системы находят широкое применение в производстве.

2. Автоматическое управление движением машин и их рабочих органов в горизонтальной плоскости

САР направления движения машин и отдельных рабочих органов служат для поддержания движения агрегатов или их рабочих органов по заданным траекториям и ориентирам. Эти системы могут быть разделены на следующие основные группы: системы автоматического вождения (САВ) мобильных сельскохозяйственных агрегатов; САВ самоходных сельскохозяйственных машин; системы автоматического направления движения рабочих органов сельскохозяйственных орудий при междурядной обработке.

При работе на машинно-тракторном агрегате водитель выполняет одновременно несколько операций: управляет направлением движения агрегата, контролирует качество выполнения технологических операций орудиями агрегата и управляет режимом работы двигателя. Все эти операции определяют физическую и психологическую нагрузку на механизатора. Эта нагрузка характеризуется однообразием действий при управлении движением агрегата. Поэтому работа по созданию САВ тракторов началась с момента их создания. Уже в 1911 г. в России было зарегистрировано изобретение «Автоматически действующий руль для пахотных тракторов». В 1930 г. делались попытки осуществить вождение колесных тракторов с помощью механических направителей. С 1957 г. тракторы оснащали первыми опытными устройствами для автоматического вождения.

Работы над созданием совершенных САВ сельскохозяйственных агрегатов ведутся и в настоящее время. Особенно это важно для увеличения скорости движения машинно-тракторных агрегатов. Известно, что от момента регистрации механизатором какого-либо отклонения в ведении технологического процесса до начала реакции системы на это отклонение проходит не менее 1 с. За это время агрегат, двигаясь со скоростью 10 км/ч, пройдет 2,8 м. Поэтому при увеличении скорости и ширины захвата мобильных агрегатов механизатору без автоматических средств вождения невозможно обеспечить необходимое качество выполнения технологических операций.

2.1. Автоматическое вождение пахотных агрегатов

Значительное облегчение условий труда тракториста и уменьшение его психофизической нагрузки при пахоте достигается использованием систем автоматического вождения.

Базовой линией, по которой осуществляется автовождение, является граница вспаханного и не вспаханного поля или борозда предыдущего прохода, которая копируется различного рода устройствами. Среди этих устройств наиболее широко применяются механические копиры различной конструкции. Ведутся работы по созданию индукционных систем вождения, воспринимающих магнитное поле постоянно проложенных токоведущих проводов (шпалерная проволока на виноградниках, подземные кабели).

На рис. 2.6 показана САВ агрегата с колесным трактором вдоль борозды. Рассмотрим рис. 2.6, а. При движении трактора 1 (рис. 2.6, а) вдоль направляющей борозды боковое давление почвы, воспринимаемое рабочими органами плуга 3, передается на копир 2 и полевую доску 4, вследствие чего они постоянно прижаты к стенкам борозд. Так как плуг соединен с трактором подвижно, он независимо от трактора копирует направляющую борозду.

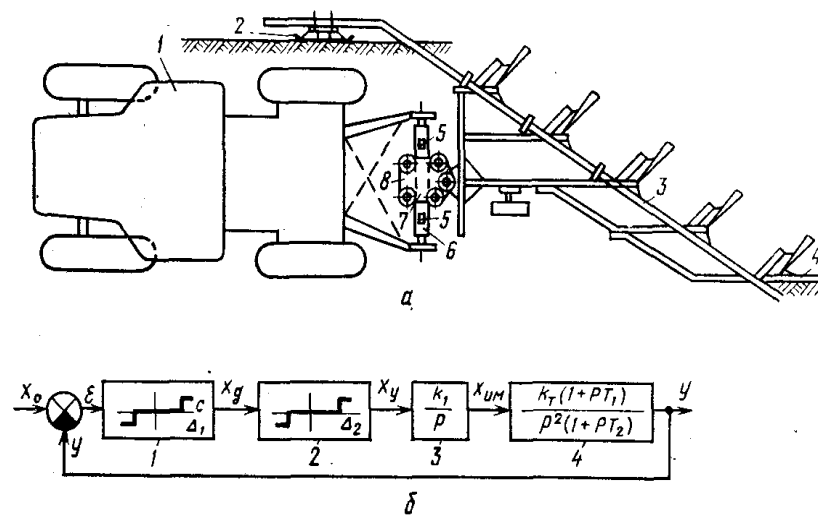


Рис. 2.6. САВ агрегата с колесным трактором вдоль борозды:
а – общий вид; б – структурная схема

Автоматическое управление трактором включается выключателями 5. Если трактор отклоняется в сторону от орудия, то вместе с ним смещается поперечная балка 6, и каретка 8, двигаясь по балке на роликах 7, упирается в один из выключателей 5, который замыкает цепь питания электрогидравлического усилителя механизма поворота, вызывая поворот трактора в нужную сторону.

При малом числе рабочих органов применяется простейшая конструкция копира в виде ползка 2, а при большом числе рабочих органов и на рыхлых почвах – в виде наклонного катка.

Структурная схема системы показана на рис. 2.6, б, где приняты следующие обозначения: 1 – чувствительный элемент, 2 – гидрораспределитель, 3 – гидроцилиндр, 4 – трактор.

Разработаны САВ, которые имеют два контура управления. Один контур вырабатывает управляющее воздействие на основе линейного отклонения агрегата. Второй контур управляет агрегатом по отклонению от заданного курса. Контур управления по отклонению ничем не отличается от рассмотренных нами систем вождения. Регулятор управления по курсу прямого действия. Его действие начинается после действия контура системы управления по линейному отклонению. При ликвидации ошибки по линейному отклонению в действие вступает силовая трапеция, состоящая из Т-образной рамы и двух пружин и являющаяся преобразователем и исполнительным механизмом. Т-образная рама системой рычагов связана с рулевой трапецией. При наличии угла между заданным курсом и положением колес трактора после ликвидации линейного отклонения действием пружин этот угол исчезает.

2.2. Автоматизация вождения самоходных зерноуборочных комбайнов

Автоматизация вождения комбайна на рабочем гоне обеспечивает повышение производительности комбайна при прямом комбайнировании не менее чем на 6 % при одновременном значительном снижении утомляемости комбайнера, у которого до 80 % рабочего времени затрачивается на процесс управления (вождения).

На рис. 2.7 показана схема электронно-гидравлической САВ самоходного зерноуборочного комбайна при прямом комбайнировании и скашивании хлебов в валки. Электрический сигнал от

пьезочувствительного элемента 8 (рис. 2.7, а) положения бровки несошенного хлеба поступает в электронный управляющий блок 6, где суммируется с электрическим сигналом от устройства 4 обратной связи по положению направляющих колес комбайна. По сигналам от устройств 4 и 8 формируется сигнал управления на электрогидравлический распределитель 1, управляющий силовым гидроцилиндром 5 поворота направляющих колес. Выход распределителя 1 включен параллельно выходу распределителя 2 ручного управления комбайном. Распределитель 2 включен через электрогидравлический кран 3 переключения режимов вождения, управляемый от общей цепи питания системы, которая включается тумблером 7.

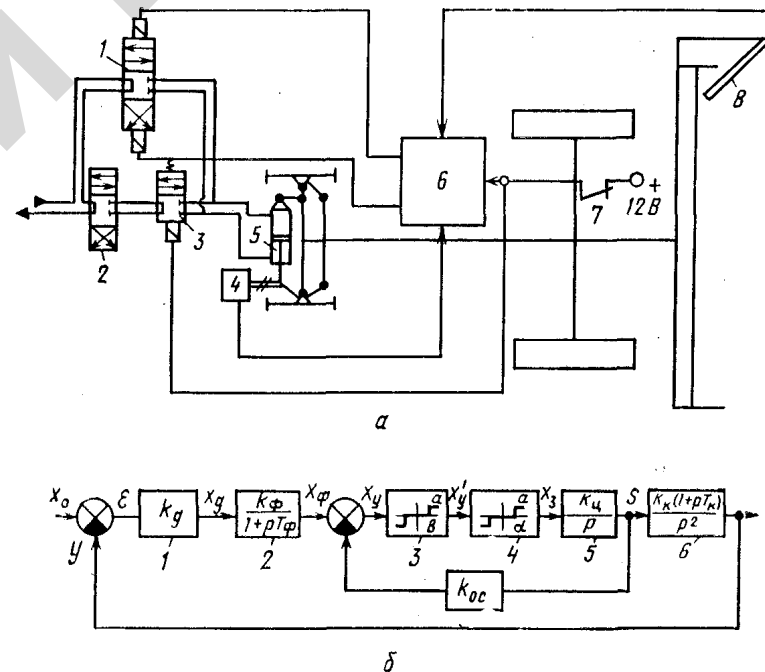


Рис. 2.7. Схемы САВ зерноуборочного комбайна:
а – функциональная; б – структурная

САВ работает по принципу сведения к нулю ошибки вождения, которая измеряется чувствительным элементом 4 бровки несошенного хлеба. При отклонении комбайна от бровки управляющий блок

6 по сигналу от устройства 8 обеспечивает поворот направляющих колес комбайна в соответствующую сторону для возвращения комбайна к бровке.

Структурная схема системы показана на рис. 2.7, б, где приняты следующие обозначения: 1 – чувствительный элемент бровки несошенного хлеба, 2 – фильтр, 3 – электронный усилитель, 4 – электрогидравлический распределитель, 5 – гидроцилиндр поворота управляемых колес, 6 – комбайн, 7 – датчик обратной связи, x_0 – задающее воздействие сигнала от бровки несошенного хлеба, y – координата левой крайней точки режущего аппарата жатки, ε – ошибка вождения.

2.3. САВ самоходных сельскохозяйственных машин

При уборке урожая на самоходных уборочных машинах примерно 80 % времени механизатор затрачивает на операции, связанные с вождением. Специфика условий проведения сельскохозяйственных работ такова, что при ручном управлении современные энергонасыщенные машины могут быть использованы только на 60–70 %. При этом после первых 3–4 ч работы неизбежно снижается качество выполняемых операций.

САВ самоходных сельскохозяйственных машин позволяют повысить производительность труда на гоне, улучшить качество проведения технологических операций и облегчить труд механизатора.

Созданные в настоящее время САВ построены в основном на методе ориентации с использованием естественных ориентиров поля. Встречаются системы с использованием метода копирования.

На рис. 2.8 приведена принципиальная схема САВ самоходных свеклоуборочных комбайнов. Система осуществляет управление передними колесами машины с требуемой точностью вдоль убираемых рядков. Работа системы построена на гидромеханическом принципе.

Копирующее устройство состоит из трех преобразователей 1 ползкового типа, установленных на параллелограммных подвесках и подвешенных к брусу рамы на поворотных кронштейнах. Для заглубления перьев в почву преобразователь имеет культиваторную лапу, что повышает надежность нащупывания корней. Применение

трех преобразователей повышает надежность отслеживания рядков при наличии пропусков корней в рядках. Для усреднения показателей преобразователи соединены поперечной тягой.

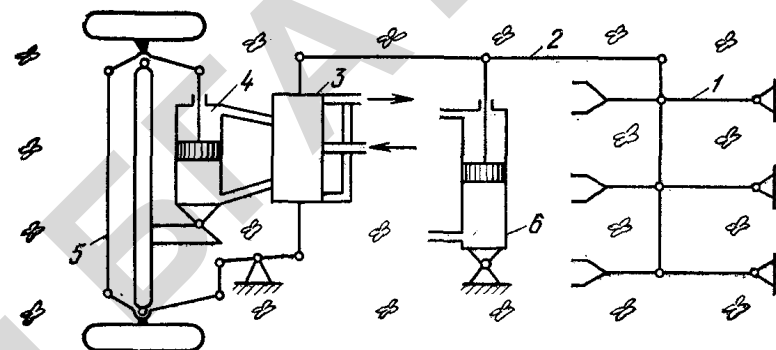


Рис. 2.8. Упрощенная принципиальная схема системы автоматического вождения свеклоуборочных комбайнов:

1 – копир; 2 – рычаг; 3 – гидрораспределитель; 4 – гидроцилиндр; 5 – рулевая трапеция; 6 – гидроцилиндр ручной коррекции

При отклонении преобразователей рычаг 2 передает отклонение на золотниковый гидрораспределитель 3, который подает масло от гидросистемы в одну из полостей гидроцилиндра 4, и шток гидроцилиндра, воздействуя на рулевую трапецию 5, поворачивает колеса в нужном направлении. Положение копиров относительно рамы корректируется при помощи гидроцилиндра ручной коррекции 6.

Структурная схема гидромеханической САВ машин показана на рис. 2.9, где 1 – копир, 2 – гидрораспределитель, 3 – гидроцилиндр, 4 – корнеуборочная машина, 5 – обратная связь.

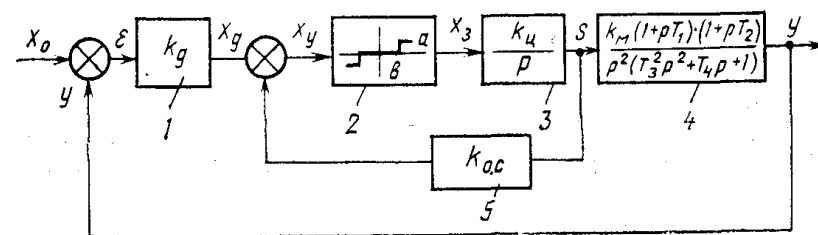


Рис. 2.9. Структурная схема гидромеханической САВ комбайна

На рис. 2.10 показана принципиальная схема электрогидравлического автомата вождения самоходного свеклоуборочного комбайна. Принцип его работы аналогичен рассмотренной ранее гидромеханической системе автовождения.

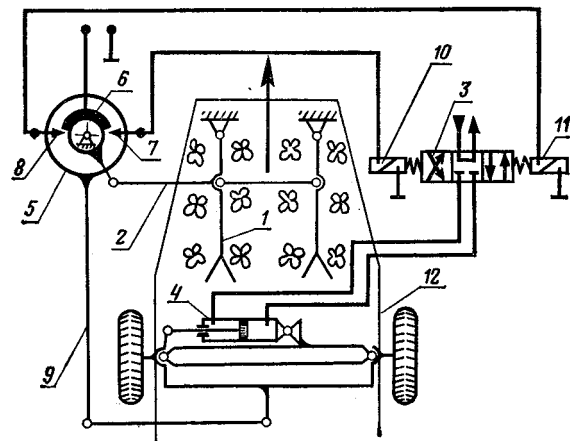


Рис. 2.10. Схема электрогидравлического автомата вождения самоходного свеклоуборочного комбайна:

- 1 – копирующий шуп; 2 – рычажная связь; 3 – гидрозолотник;
4 – гидроцилиндр; 5 – контактная головка; 6 – контактный сектор;
7, 8 – контакты, закрепленные на контактной головке;
9 – механизм обратной связи; 11 – электромагниты; 12 – рама машины

Отличительной особенностью автомата является конструкция контактной головки, которая обеспечивает опережение отключения электромагнитного золотника по углу поворота колес. Введение опережающего отключения значительно увеличивает запас устойчивости системы автовождения.

Дальнейшим этапом совершенствования САВ самоходных свеклоуборочных машин явилось создание автомата вождения с использованием электронной техники. Здесь полностью отсутствуют электроконтактные устройства и элементы; осуществлен релейно-импульсный принцип управления, который в сочетании со схемой форсированного включения и отключения электромагнитов гидрораспределителя позволяет получить высокую и достаточно стабильную во времени точность управления положением управляемых колес ($0,15-0,30^\circ$). В системе используются

индуктивно-трансформаторные датчики угла поворота копира и управляемых колес.

3. Автоматическое управление скоростными и нагрузочными режимами рабочих органов и двигателя машин

САР нагрузочных режимов предназначены для поддержания требуемого уровня загрузки машин и отдельных рабочих органов технологическим материалом в соответствии с их пропускной способностью. Существующие системы управления нагрузочными режимами можно разделить на две основные группы:

- системы управления нагрузочными режимами двигателей тракторов и сельскохозяйственных машин;
- системы управления нагрузочными режимами уборочных сельскохозяйственных машин.

3.1. Автоматизация управления нагрузочными режимами двигателей

Нагрузка машинно-тракторных агрегатов и самоходных сельскохозяйственных машин в процессе их работы непостоянна. Различные случайные возмущения изменяют нагрузку в значительных пределах, причем эти изменения бывают достаточно резкими.

Изменение нагрузки влияет на работу двигателя. Для преодоления возросшей нагрузки необходимо увеличить мощность двигателя. При снижении нагрузки нужно уменьшить мощность, так как частота вращения коленчатого вала может настолько увеличиться, что приведет к аварии. При изменениях нагрузки необходимо поддерживать определенную оптимальную частоту вращения коленчатого вала двигателя, регулируя подачу топлива в цилиндры. Для этой цели применяют автоматические регуляторы.

Обычно на двигателях установлены механические всережимные регуляторы прямого действия. Чтобы улучшить качество работы двигателя, можно применить гидромеханический регулятор, использующий интегральный закон регулирования.

На рис. 2.11 изображена принципиальная схема САР частоты вращения двигателя внутреннего сгорания. Система состоит из двигателя внутреннего сгорания 1, преобразователя скорости вращения 3,

гидравлического золотникового усилителя 4, гидроцилиндра 5, рычажной системы 6 регулирующего органа, рейки топливного насоса 7 и рычага 2.

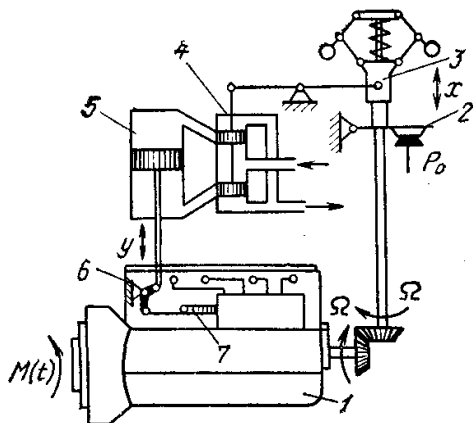


Рис. 2.11. Схема САУ частоты вращения двигателя внутреннего сгорания:

- 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – задающее устройство;
3 – преобразователь вращения; 4 – золотниковый гидрораспределитель;
5 – гидроцилиндр; 6 – рычаг; 7 – рейка топливного насоса

Работа системы автоматического поддержания частоты вращения двигателя происходит следующим образом. При изменении крутящего момента $M(t)$ на валу двигателя 1 и установившейся подаче топлива изменяется частота вращения двигателя. Это изменение через коническую шестеренчатую передачу вызывает изменение частоты вращения преобразователя 3, то есть скольжение его подвижной муфты. Перемещение муфты вызывает перемещение поршней золотникового гидрораспределителя 4. Под давлением рабочей жидкости перемещается поршень гидроцилиндра 5, который через рычажную передачу 6 изменяет положение рейки топливного насоса 7 или подачу топлива в цилиндры двигателя. При помощи рычага 2, который соединен системой тяг с ручным управлением подачей топлива, всережимному регулятору задают частоту вращения, которую необходимо поддерживать.

Система управления нагрузкой двигателя СУ 10.1, разработанная Научно-производственным предприятием «Резонанс» с целью уменьшения расхода топлива дизельных двигателей, введения автоматической защиты дизельного двигателя и управления мощностью, потребляемой гидронасосами, представлена на рис. 2.12.

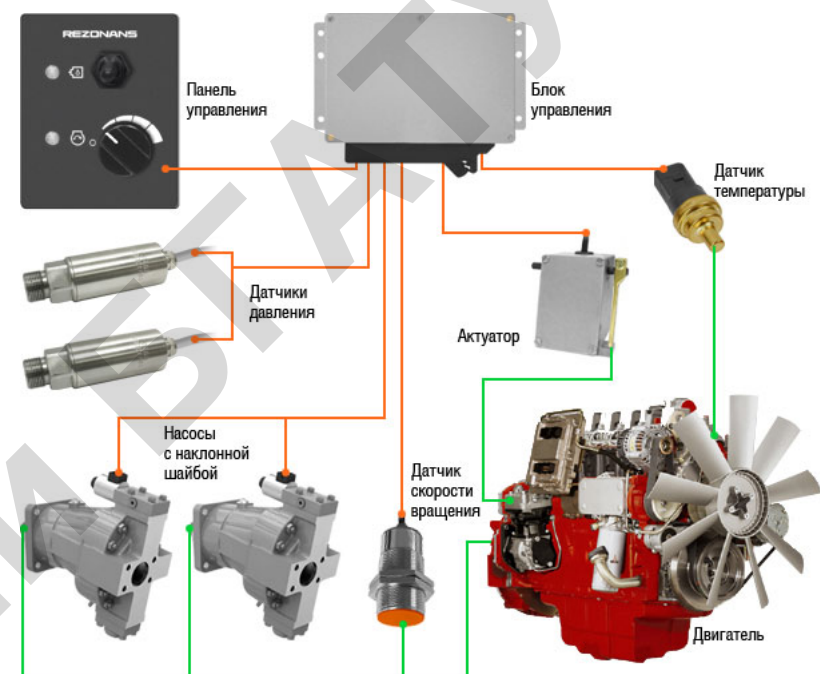


Рис. 2.12. Структурная схема системы управления

Основные выполняемые данной системой функции:

- управление частотой вращения дизельного двигателя в процессе работы машины путем управления подачей топлива и изменения производительности гидронасосов;
- управление рычагом перемещения топливного насоса высокого давления (ТНВД) по командам блока управления;
- облегчение запуска и прогрева двигателя при отрицательной температуре окружающей среды;
- автоматическое переключение в режим поддержания холостых оборотов двигателя при паузах в работе машины;
- защита дизельного двигателя при превышении допустимой нагрузки и перегреве охлаждающей жидкости;

САУ состоит из:

- панели управления для задания режимов работы системы;
- микропроцессорного блока для управления актуатором, пропорциональными электромагнитами насосов с наклонной шайбой и обработки сигналов с датчиков и панели управления;

- электромеханического актуатора управления ТНВД двигателя;
- насосного агрегата с функцией ограничения предельной мощности насосов и встроенным датчиком скорости вращения;
- датчика температуры масла в гидробаке;
- двух датчиков давления в линиях управления;
- комплекта соединительных жгутов.

Режимы работы системы задаются с панели управления, устанавливаемой в кабине машины. Панель содержит переключатель, позволяющий отключить систему или выбрать режим работы с загрузкой двигателя в 75; 88 или 100 %, а также работу на холостом ходу.

Ведутся работы по созданию более совершенных систем регулирования скоростных и нагрузочных режимов двигателей машинно-тракторных агрегатов, например электрогидравлической автоматической системы переключения передач.

Закон переключения передач такой системы определяется из условий поддержания максимальной производительности агрегата при обеспечении устойчивой работы двигателя на минимальном скоростном режиме и топливной экономичности.

3.2. Автоматическое регулирование загрузки молотилки самоходных зерноуборочных комбайнов

Основное условие эффективного использования уборочных машин – правильная загрузка рабочих органов и двигателя. Загрузка рабочих органов уборочных машин определяется главным образом количеством перерабатываемой массы, поступающей в машину, и ее физико-механическими свойствами. Допустимое количество поступающей в машину массы при определенных физико-механических ее свойствах задается качеством выполняемого процесса уборки. Качество процесса характеризуется качеством и потерями выпускаемой продукции.

Принципы построения САР нагрузочных режимов уборочных машин рассмотрим на примере зерноуборочного комбайна.

Агротехнические требования к процессу уборки зерновых культур определяют следующие условия:

- потери зерна за жаткой допускаются не более 0,5 % для прямо-стойных хлебов 1,5 % – для полеглых;

- потери зерна при подборе валков не должны превышать 1 %;
- общие потери зерна при прямом комбайнировании не должны превышать 1,5–2 %;
- чистота зерна в бункере должна быть не ниже 95–96 %;
- дробление зерна не должно превышать 2 %.

Процесс уборки осуществляется современными зерноуборочными комбайнами типа «Полесье», «Лида», «Дон» и т. д. Процесс уборки и переработки урожая в этих комбайнах примерно одинаков.

Качество уборки зависит от количества хлебной массы, подаваемой в молотилку комбайна в единицу времени, и физико-механических свойств этой массы. Количество подаваемой массы определяется урожайностью, скоростью передвижения агрегата и высотой среза. Физико-механические свойства хлебной массы определяются в первую очередь влажностью и затем соломистостью, засоренностью, степенью зрелости и т. д. Причем потери зерна возрастают с увеличением количества подаваемой массы, ее влажности, соломистости и засоренности.

На рис. 2.13 показан автоматический регулятор загрузки зерноуборочного комбайна по толщине слоя хлебной массы под транспортером наклонной камеры.

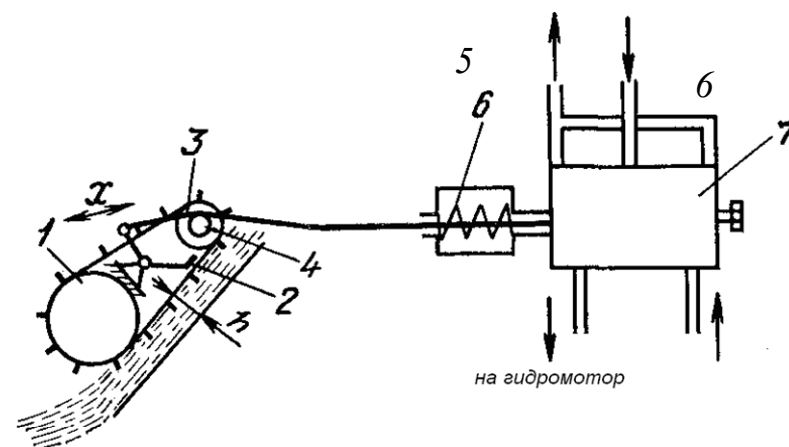


Рис. 2.13. Упрощенная принципиальная схема гидромеханического регулятора загрузки зерноуборочного комбайна:
1 – транспортер; 2 – преобразователь; 3 – трос; 4 – направляющий ролик;
5 – демпфирующее устройство; 6 – гидрораспределитель

Регулятор состоит из преобразователя толщины слоя хлебной массы 2, установленного на нижней ведущей ветви транспортера 1 наклонной камеры, который через направляющий ролик 4 при помощи тросика 3 соединен с золотниковым гидрораспределителем 7, пружинного компенсатора 6, гидроцилиндра 9, вариатора 8 и механизма 5 настройки регулятора на требуемую толщину хлебной массы.

Работа автоматического регулятора загрузки молотилки комбайна происходит следующим образом. При изменении подачи хлебной массы рычаг преобразователя поворачивается и посредством троса смещает плунжер золотникового гидрораспределителя. Масло из гидрораспределителя поступает в гидроцилиндр, и он своим штоком перемещает блок шкивов вариатора. При этом изменяется поступательная скорость перемещения зерноуборочного комбайна и соответственно изменяется подача хлебной массы в молотильный барабан. Для того чтобы автоматическая система не реагировала на кратковременные резкие колебания, вызванные вибрацией цепей транспортера и самоходного комбайна, случайными одноразовыми увеличениями подачи массы, преобразователь соединен с плунжером гидрораспределителя через компенсатор, который поглощает высокочастотные возмущения системы. При изменении физико-механических свойств хлебной массы, поступающей в молотилку, ее толщину регулируют вручную при помощи механизма настройки.

В зонах повышенного увлажнения изменение физико-механических свойств хлебной массы – определяющий фактор при загрузке молотильного барабана. В этих условиях применять рассмотренную выше систему неэффективно. Для учета изменения физико-механических свойств хлебной массы устанавливают преобразователь частоты вращения вала молотильного барабана или его крутящего момента. Однако работа системы только с преобразователями частоты вращения или крутящего момента также неэффективна из-за значительного транспортного запаздывания входного сигнала. Поэтому современные системы являются двухмерными, они вырабатывают управляющее воздействие в зависимости от двух сигналов: преобразователя толщины хлебной массы под транспортером наклонной камеры или под шнеком жатки и преобразователя крутящего момента на валу молотильного барабана. Причем управляющий сигнал на гидрораспределитель

поступает от логического устройства, анализирующего сигналы от преобразователей.

Для сложных уборочных машин разрабатываются САР по нескольким параметрам (многомерные системы). Логическое устройство, которое вырабатывает управляющее воздействие на основе данных отдельных преобразователей, работает по принципу адаптивных (самонастраивающихся) систем. Подобного рода автоматические системы загрузочных режимов создаются и для других видов уборочных машин, таких как кукурузоуборочный, картофелеуборочный, свеклоуборочный комбайны и др.

При построении автоматических систем используют те же принципы, что и при построении системы загрузки зерноуборочного комбайна. Кроме гидромеханической системы (рис. 8.15), применяются электрогидравлические, принцип работы которых был рассмотрен нами при изучении систем вождения машинно-тракторных агрегатов.

Эти системы отличаются между собой только воспринимающим элементом. Например, преобразователем системы загрузки картофелеуборочного комбайна грохотной модификации служат баллоны комкодавителя, измеряющие толщину слоя массы, поступающей на транспортер комкодавителя. Преобразователь картофелеуборочного комбайна элеваторного типа – приводной валик, который может перемещаться в вертикальной плоскости. Он измеряет толщину клубненосной массы на выходе сепаратора. Преобразователем силосоуборочного комбайна служит битерный барабан, положение которого по высоте изменяется пропорционально массе растений, подаваемой в комбайн.

Анализ работы автоматических систем загрузочных режимов уборочных машин проводят согласно принятой схеме, по которой анализировалась работа других автоматических систем. Рассмотрим порядок анализа автоматических систем загрузочных режимов на примере автоматической системы загрузки зерноуборочного комбайна (рис. 2.14). Объект управления системы – комбайн, его выходная величина – скорость движения v , которая пропорциональна толщине слоя хлебной массы h , подаваемой в молотильный барабан. Входная величина – перемещение штока гидроцилиндра u , изменяющего положение вариатора комбайна и скорость комбайна.

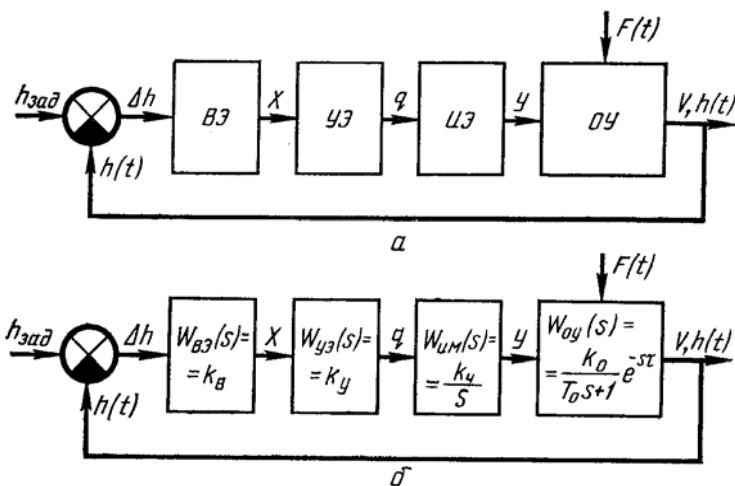


Рис. 2.14. Схемы регулирования загрузки зерноуборочного комбайна:
а – функциональная; б – структурная

Воспринимающий элемент системы – рычаг, изменяющий толщину слоя хлебной массы под ведущей лентой транспортера наклонной камеры. Толщина массы – входная величина преобразователя, а перемещение тросика x – выходная. Заданное положение тросика x_0 определяется задающим роликом. Относительно этого положения и определяется смещение тросика. Поэтому рычаг преобразователя и его положение составляют элемент сравнения системы. Гидроусилитель служит управляющим элементом, на вход которого подается перемещение тросика Δx , а выходом является поток масла q в ту или иную полость гидроцилиндра, пропорциональный степени перемещения плунжера гидроусилителя. Гидроцилиндр – это исполнительный механизм, входом которого является поток масла, а выходом – перемещение штока поршня y .

Функциональная схема автоматической системы приведена на рис. 2.14, а.

Возмущающие воздействия объекта управления – неравномерность урожайности и засоренности поля.

Проанализируем динамические характеристики элементов автоматической системы.

Объект управления – зерноуборочный комбайн представляет собой сложную динамическую систему. Движение этой системы

подчинено различным физическим законам. Однако, принимая ряд допущений, комбайн можно считать инерционным звеном второго порядка с запаздыванием:

$$W_0(s) = \frac{k_0}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1} e^{-s\tau},$$

где k_0 – передаточный коэффициент объекта;
 T_2 и T_1 – постоянные времени;
 τ – время чистого запаздывания.

Как показывают эксперименты, значения T_2^2 малы и составляют 0,03–0,10 с, поэтому в наших расчетах мы не будем учитывать T_2 . При этом передаточная функция объекта примет вид:

$$W_0(s) = \frac{k_0}{T_0 s + 1} e^{-s\tau}.$$

Воспринимающим элементом является рычажное устройство с пружиной, обладающее некоторой инерционностью, которой для практических расчетов можно пренебречь и считать устройство безынерционным:

$$W_0(s) = k_B.$$

Гидроусилитель также можно считать безынерционным звеном, учитывая, что рабочий участок статической характеристики линеен:

$$W_{B3}(s) = k_Y.$$

Исполнительный механизм (гидроцилиндр) – интегрирующее звено

$$W_{ИМ}(s) = k_{И} / s.$$

Структурная схема автоматической системы представлена на рис. 2.14, б.

Передаточная функция разомкнутой системы

$$W_0(s) = \frac{k_0 e^{-s\tau}}{s(T_0 s + 1)}.$$

где $k_0 = k_B k_Y k_{И}$.

Рассмотренные локальные системы регулирования загрузочных режимов двигателей, сельскохозяйственных уборочных машин и их рабочих органов находят применение в сельскохозяйственном производстве. В первую очередь это относится к системам регулирования загрузки работы двигателя. Системы загрузки уборочных машин пока используются ограниченно. В основном автоматизация загрузочных режимов машин осуществляется за счет систем контроля работы отдельных узлов уборочных машин. Часто при оснащении такими системами уборочных машин эффективность их использования незначительна. Это объясняется несовершенством алгоритма функционирования таких систем.

В последнее время развиваются методы проектирования адаптивных автоматических систем с алгоритмом оптимального функционирования уборочных машин. В этом случае управляющее воздействие выбирают на основе анализа загрузки всех узлов уборочной машины и оптимизации функции выхода. Функция выхода определяется усредненными показателями производительности комбайна и потерь. С увеличением производительности потери увеличиваются. Управление вырабатывается таким образом, чтобы функция выхода была наибольшей.

Применение на самоходных комбайнах адаптивных многомерных автоматических систем поддержания оптимальной загрузки позволяет повысить пропускную способность до 90–95 % ее максимального значения при сохранении качества технологического процесса в пределах, допустимых агротребованиями. Достижимое при этом повышение производительности зависит от условий работы, изменчивости урожайности и физико-механических свойств убираемой культуры. При коэффициенте вариации параметров физико-механических свойств фракций убираемого урожая, превышающем 15 %, применение адаптивных автоматических систем повышает производительность на 20 %.

4. Автоматизация контроля работы сельскохозяйственных машин

Системы автоматического контроля мобильных сельскохозяйственных агрегатов предназначены для постоянного контроля за выполнением отдельных технологических операций и подачи

свето-звуковой сигнализации водителю агрегата при технологических нарушениях или окончании операции.

В качестве контролируемых параметров технологических операций обычно выбирают:

- предельные уровни заполнения и опорожнения технологических емкостей;
- основные параметры рабочих органов сельскохозяйственных агрегатов;
- пробуксовывание предохранительных муфт при перегрузках приводных органов;
- количество и качество продукции, получаемой агрегатом.

Наряду с системами контроля применяются системы автоматической защиты, которые при выходе контролируемого параметра за заданные пределы отключают узел или систему механизмов во избежание аварии.

Обычно системы автоматической защиты снабжены системами автоматической сигнализации, информирующей водителя агрегата о срабатывании защитного устройства.

Системы автоматического контроля и защиты являются автоматизированными системами, которые не могут самостоятельно изменять ход технологического процесса. Причины, вызвавшие отклонение параметров технологического процесса, устраняет водитель агрегата. Такого рода системы являются разомкнутыми.

Проблема автоматизации посевных агрегатов включает четыре основных направления: контроль и автоматизация загрузки семенных ящиков сеялок, автоматический контроль высева семян, контроль и регулирование нормы высева семян, автоматическое регулирование глубины заделки семян.

4.1. Контроль и автоматизация загрузки семенных ящиков сеялок

При незначительном объеме зерна в ящиках, например для зерновых сеялок менее 10 % от полной загрузки, не обеспечиваются нормативные условия для работы высевающих аппаратов и, следовательно, ухудшается качество посева. С другой стороны, преждевременные догрузки зерном семенных ящиков снижают производительность посевного агрегата. Так, при снижении количества

запровок на 10 % производительность посевного агрегата увеличивается на 0,5 % при механизированной загрузке и примерно на 3 % при загрузке ящиков вручную. В настоящее время для контроля уровня зерна в ящиках посевных агрегатов и их загрузки разработан ряд устройств, позволяющих в некоторой степени решить эту задачу. На рис. 2.15 показано устройство с фотодатчиком для контроля работы сеялок.

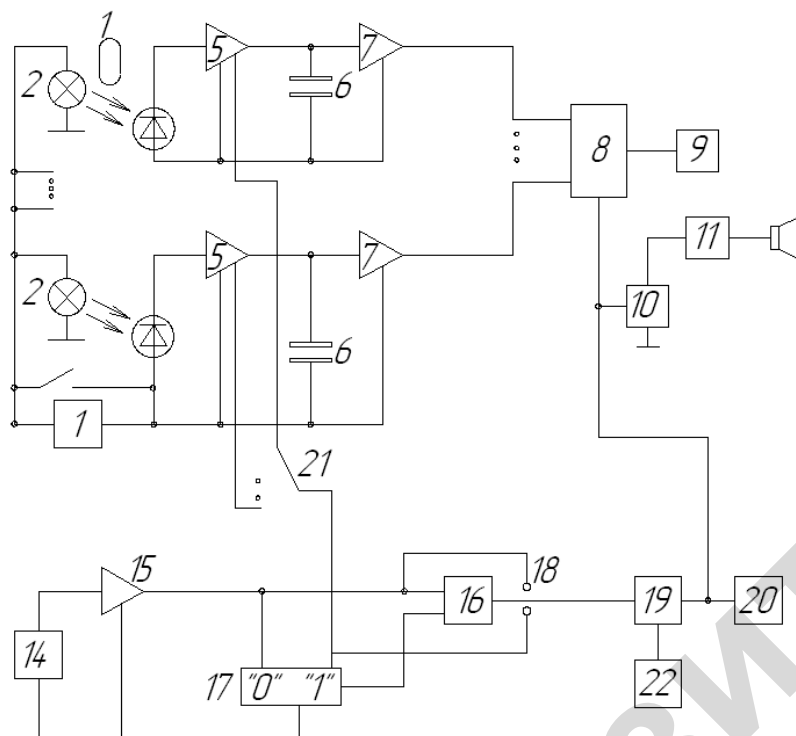


Рис. 2.15. Блок-схема устройства контроля работы сеялок

Семена 1 при движении периодически прерывают световой поток осветителя 2 (тумблер 3 замкнут). Вспышки света генерируют в фотопреобразователе 4 импульсы тока, которые каскадом усилителя 5 заряжают конденсатор 6. При этом оконечный каскад усилителя 7 запирается. После прекращения потока семян или заполнения ящика конденсатор 6 разряжается, каскад усилителя 7 отпирается и через декодирующую матрицу 8 включает

соответствующие цифрообразующие элементы 9 и отпирает ключ 10, который включает генератор 11, и источник звука 12 дает непрерывный звуковой сигнал. Для проверки цепей фотодатчиков размыкается тумблер 3. Прерыватель 13, периодически включая осветители 2, создает вспышки света, имитирующие пролет семян. Если фотодатчики исправны, конденсаторы 6 заряжаются и сигнализация отсутствует.

Датчик 14 ячеек высевающего элемента при вращении последнего дает импульсы, которые после усиления усилителем 15 подаются одновременно на схему логического элемента «И» 16 и на вход, триггера 17, в связи с чем последний сбрасывается на «0». Предварительный перевод триггера в положение «1» производится импульсом с каскада усилителя 5. При этом выход триггера воздействует на схему «И» и на ее выходе напряжение отсутствует. Если в соответствующий момент времени семена 1 отсутствуют (факт недосева), триггер 17 не переводится в положение «1» и схема «И» на переключатель 18 выдает импульс, который, открывая ключ 19, вызывает срабатывание счетчика 20 и выдает кратковременный звуковой сигнал.

При верхнем положении переключателя 18 импульсы на ключ 19 поступают непосредственно с усилителя 15, чем обеспечивается режим счета «номер высева». При нижнем положении переключателя 18 импульсы через ключ 19 поступают через переключатель 21 с выхода каскада усилителя 5 соответствующего высевающего аппарата и обеспечивается режим счета «расход».

Любой вид подсчета производится за фиксированный отрезок пути, так как ключ 19 открывается только при наличии разрешающего напряжения, поступающего с датчика 22 оборотов колеса сеялки, производящей высев семян.

4.2. Контроль нормы высева семян

Основной задачей, выполнение которой обеспечивает оптимальные условия для развития и роста растений, является равномерное распределение заданного количества семян на определенной площади или с заданным интервалом в рядке. Поэтому наиболее перспективным является определение нормы высева путем непосредственного подсчета количества высевающих семян.

На рис. 2.16 показано устройство с микропроцессором для измерения нормы высева семян.

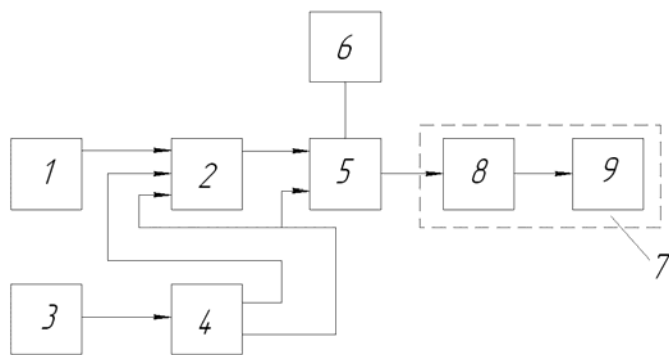


Рис. 2.16. Блок-схема устройства для измерения нормы высева семян

Принцип работы устройства основан на том, что норма высева пропорциональна числу семян, высеваемых за один оборот колеса сеялки. Датчик высева 1 фиксирует каждое высеваемое семя. Количество импульсов датчика высева подсчитывается, считывается счетчиком семян 2. Датчик 3 фиксирует путь, пройденный сеялкой за один оборот колеса, и подает импульс на распределитель 4, на выходе которого формируется два импульса. По первому происходит считывание показаний счетчика 2 семян в микропроцессор 5, а по второму – умножение показаний счетчика семян в микропроцессоре 5 на константу задатчика 6, учитывающую вид высеваемой культуры и усреднение показаний с учетом трех предшествующих измерений, осуществляемое также микропроцессором 5. По второму импульсу происходит также обнуление счетчика семян. Полученное произведение расшифровывается в блоке сигнализации 7 дешифратором 8 и высвечивается цифровой лампой 9.

Применение устройства позволяет повысить культуру земледелия за счет повышения точности измерения нормы высева и облегчает труд тракториста.

4.3. Автоматический контроль и сигнализация работы зерноуборочной машины

Зерноуборочные машины оборудованы устройствами контроля функционирования рабочих органов с сигнализаторами (звуковыми,

световыми). Сигнализатор загрузки комбайнов размещен над клапанным соломотрясом. Он выполнен в виде клапана, надетого на ось. На этой же оси установлена пружина, удерживающая его в исходном положении, при котором сигнализатор выключен.

При перегрузке толщина слоя массы на соломотрясе увеличивается. Под давлением соломы клапан поворачивается, и включается сигнальная лампа на щитке приборов. Сигнализатор загрузки предупреждает и о неполадках в механизме соломонабивателя копни-теля. При забивании грабельного устройства соломонабивателя при неполадках в его приводе толщина слоя соломы на соломотрясе увеличится, сработает устройство и включится сигнальная лампа на щитке приборов. Сигнализатор закрыт колпаком.

В зерноуборочных комбайнах предусмотрен контроль состояния многих узлов двигателя и рабочих органов. Все сигнальные линии выведены к щитку приборов. Таким образом, например, на щитках приборов комбайнов имеются 24–25 позиций, связанных с контролем состояния и режимов работы двигателя и рабочих органов, поэтому комбайнеру нелегко реагировать на поступающие сигналы.

В перспективных конструкциях зерноуборочных комбайнов предусматривается еще больше контролируемых (40 и более) параметров. Оснащение комбайнов большим числом систем контроля и управления с использованием ЭВМ требует сравнительно высоких дополнительных затрат.

На рис. 2.17 показана блок-схема одного из вариантов системы контроля комбайнов. В ней предусмотрены измерительные устройства частоты вращения 1 валов рабочих органов, намолота 2 и потерь 3 зерна, скорости движения 4 комбайна, уборной площади 5, режимов работы двигателя 6 и других параметров технологического процесса.

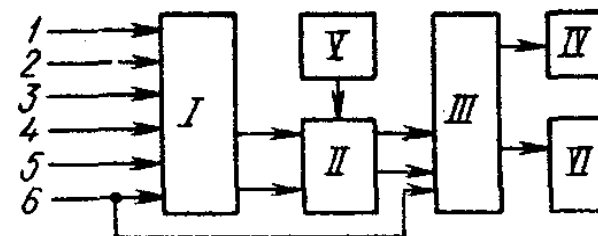


Рис. 2.17. Блок-схема системы контроля зерноуборочного комбайна

Сигналы с измерительных преобразователей поступают в блок *I*, где они кодируются в двоичную систему счисления. Далее, по заданной программе, информация фиксируется в микроЭВМ *II*, и по рассогласованиям с настроечными значениями параметров вырабатываются управляющие воздействия, которые передаются на исполнительные механизмы или на блок индикации.

Настроечные значения параметров заложены в блок *V*. После обработки данные поступают в устройство вывода *III* и далее на блок индикации *IV* или к исполнительным механизмам *VI*.

Блок индикации *IV* состоит из двух частей, работающих независимо одна от другой. Одна выводит цифровую индикацию на панель, другая – сигнализирует об отклонениях режимов работы. Формирование числовой и сигнальной информации и вывод ее на блок *IV* осуществляются по соответствующим алгоритмам.

На панели блока индикации размещены кнопки включения для измеряемых параметров и цифровые индикаторы, которые высвечивают значения параметров в соответствующих единицах измерения. Кроме того, выведены кнопки сброса накопленной информации на нуль (например, количества намолоченного зерна, убранной площади). На панели имеются также рукоятки установки номинальных значений контролируемых параметров (высоты среза, настроечного значения подачи растительной массы, ширины захвата и др.) и предусмотрено место для динамика звукового сигнала.

Для семейства зерноуборочных комбайнов разработана на базе микроЭВМ типовая схема САУ ТП. Она состоит из подсистем контроля и управления. В первой предусмотрены блоки измерения частоты вращения валов рабочих органов и скорости движения комбайна, световой сигнализации (два блока по восемь каналов каждый), звуковой и световой сигнализации на шесть каналов, измерительных преобразователей.

Вторая включает взаимосвязанные автоматические устройства для регулирования высоты среза и загрузки молотилки растительной массой, а также частоты вращения мотовила. В эту подсистему входит и устройство автоматического вождения комбайна.

На зерноуборочных комбайнах установлена система автоматического контроля (рис. 2.18), которая включает блоки измерения 9 (БИЧ) и снижения 11 (БСЧ) частоты вращения валов. В эти блоки поступает информация от датчиков 1, 3, 14, 25–28 и 30 частоты

вращения валов молотильного барабана, двигателя, соломонабивателя, соломотряса, зернового и колосового шнеков, вентилятора и колебательного вала очистки.

На площадке управления размещен блок 2 индикации потерь. Информация о потерях поступает от пьезометрических датчиков 18–21 потерь за соломотрясом и датчиков 23 и 24 потерь зерна за очисткой. Сигнализируют о нарушениях режима работы блоки 6 и 7 световой и блок 8 световой и звуковой сигнализации. В системе предусмотрен контроль давления масла и температуры воды (датчики 4 и 5), забивания фильтра гидросистемы (датчик 10), заполнения бункера (указатели 12 и 13), забивания соломотряса (датчик 15), автомата выгрузки копны (датчики 16, 17), открывания клапана копнителя (датчик 22), скорости движения комбайна (датчик 29).

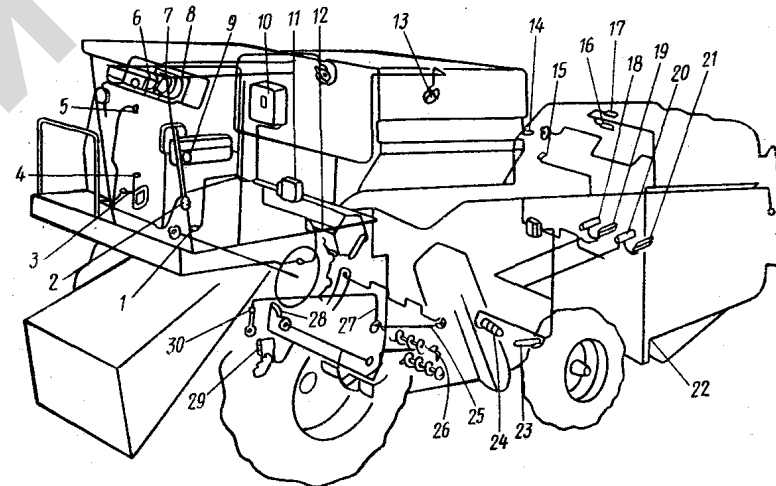


Рис. 2.18. Размещение датчиков системы контроля зерноуборочного комбайна

БСЧ вращения 11 расположен в отсеке за спинкой сиденья водителя и контролирует снижение частоты вращения валов восьми рабочих органов одновременно. Информация поступает от индуктивных датчиков. При снижении частоты вращения валов на 15–20 % номинальной БСЧ формирует сигналы, поступающие на блоки световой сигнализации. Результаты измерений отражаются на четырехразрядном цифровом табло.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные элементы силового регулирования глубины пахоты.
2. Что является задающим устройством в схеме автоматического корректора глубины хода сошников?
3. Назначение вихревого дросселя автоматического корректора глубины хода сошников.
4. Что является воспринимающим органом при силовом регулировании глубины пахоты?
5. Что является исполнительным механизмом на кормоуборочных машинах?
6. Назовите основные элементы САВ зерноуборочного комбайна.
7. Какую функцию выполняет датчик обратной связи в САВ зерноуборочного комбайна?
8. Что является воспринимающим органом системы автовождения агрегата с колесным трактором вдоль борозды?
9. Что является исполнительным механизмом электрогидравлического автомата вождения самоходного свеклоуборочного комбайна?
10. Назовите основные элементы САР загрузки двигателя внутреннего сгорания.
11. Какую функцию выполняет актуатор загрузки двигателя внутреннего сгорания?
12. Назначение золотникового распределителя в САР загрузки двигателя внутреннего сгорания.
13. Что является воспринимающим органом гидромеханического регулятора загрузки зерноуборочного комбайна?
14. Что является исполнительным механизмом гидромеханического регулятора загрузки зерноуборочного комбайна?
15. Назовите основные элементы блок-схемы устройства контроля работы сеялок.
16. Какую функцию выполняет фотопреобразователь блок-схемы устройства контроля работы сеялок?
17. Назначение счетчика семян блок-схемы устройства контроля работы сеялок.
18. Назначение микропроцессора блок-схемы устройства контроля работы сеялок.
19. Какие функции выполняет блок индикации зерноуборочного комбайна?

ЛЕКЦИЯ 9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

План лекций

1. Автоматизация послеуборочной обработки и хранения зерна.
2. Автоматизация послеуборочной обработки льна.

1. Автоматизация послеуборочной обработки и хранения зерна

Важнейшим продуктом сельского хозяйства является зерно. Из зерна вырабатываются важнейшие продукты питания: мука, хлебные и макаронные изделия, крупа и другие жизненно необходимые продукты питания. Зерновые служат сырьем для получения патоки, спирта и других продуктов. Зерно необходимо для успешного развития животноводства и птицеводства, обеспечивающих производство мяса и молока, масла и других продуктов. Поэтому увеличение производства зерна – одна из важнейших задач сельского хозяйства.

Производство зерна должно быть связано с повышением его качества, одним из главных показателей которого является влажность. По ней определяют начало уборки, устанавливают режимы обмолота, сушки и хранения зерна. Оперативный контроль влажности зерна необходим на всех этапах технологического цикла производства данного продукта.

Уборка зерна производится в стадии технологической спелости, когда ее влажность достигает 18–25 % и синтез питательных веществ еще незавершен. Полная физиологическая зрелость зерна, при которой наиболее полно выявляются ее биологические и семенные качества наступает значительно позже, в период ее хранения.

Известно, что процессы синтеза при созревании зерна идут с выделением влаги, что приводит к возрастанию влажности зерновой массы и окружающего воздуха, а это, в свою очередь, может привести к самовозгоранию зерновой массы и потере ее семенных и питательных качеств.

Сушка зерна. Влажность зерна, поступающего на сушку, зависит от многих факторов. Различают четыре состояния зерна по влажности – сухое, средней сухости, влажное и сырое, которые определяют стойкость зерна при хранении.

При сушке масса зерна изменяется от начальной G_1 до конечной G_2 за счет испарения влаги, т. е.:

$$W = G_1 - G_2.$$

Для сушки зерна важны его теплофизические и физические свойства: теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, удельная поверхность, скважистость, сыпучесть, скорость витания зерна.

При сушке зерновая масса продувается воздухом или агентом сушки, что возможно благодаря скважистости зерновой массы. Чем выше скважистость, тем легче агент сушки подводится к зерновке и тем интенсивнее и равномернее протекает сушка.

Семенное зерно обычно нагревают до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как зерно продовольственного назначения выдерживает нагрев до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Сушильно-охладительная шахта имеет прямоугольное сечение и до верха заполняется просушиваемым зерном. Верхняя часть шахты – сушильная – предназначена для высушивания зерна, а нижняя – охлаждающая – для охлаждения высушенного зерна. Конструкция их аналогична. Сушильная часть шахты может разделяться на 2–3 секции – зоны сушки, – при этом в каждую зону подается агент сушки с различной температурой.

В качестве топлива в отечественных зерносушилках применяют газ, дизельное топливо, соляровое масло или тракторный керосин. Для сжигания жидкого топлива применяют форсунки инжекционного или игольчатого типа, а газообразного – газовые горелки.

Рециркуляционная сушка зерна предусматривает возврат части просушенного зерна в смеси с сырым зерном в надсушильный бункер. В надсушильном бункере проходят процессы тепловлагообмена между сырым и сухим зерном, в результате чего сырое зерно нагревается и частично подсушивается. Все это в конечном итоге приводит к значительной интенсификации процесса сушки. Шахтную зерносушилку любого типа достаточно просто реконструировать на рециркуляционный способ сушки, при этом производительность повышается на 30–50 %. Зерно, направляемое на сушку в шахтных прямоточных зерносушилках, формируют в партии по культурам, качеству, назначению и влажности. По влажности допускаются колебания до 2 % при влажности зерна до 19 и до 4 % при влажности свыше 19 %. В первую очередь направляют на сушку

партии более влажного зерна. Перед сушкой в шахтных зерносушилках зерно очищают от грубых и легких примесей, а в рециркуляционных – только от грубых. Температуру нагрева зерна регулируют как температурой агента сушки, так и временем пребывания зерна в сушилке (ее производительностью).

Для контроля процесса зерносушилки оснащаются специальными приборами – датчиками.

Для контроля заполнения надсушильного бункера в нем устанавливают датчики уровня зерна. Температуру агента сушки измеряют логометрами с термометрами сопротивления. Термометры сопротивления устанавливают в подводящих воздуховодах непосредственно перед сушильными зонами. Температуру нагрева зерна контролируют в нижнем ряду подводящих коробов сушильной зоны с помощью различных температурных датчиков или с помощью непосредственного измерения температуры пробы зерна, отобранной из-под этих коробов. Влажность зерна контролирует лаборатория, отбирая пробы каждые 2 часа, или с помощью поточных влагомеров, устанавливая их датчики на выходе зерна из сушилки.

При работе сушилки (рис. 2.19) обязательно определяют количество просушенного зерна. С этой целью на транспортных линиях устанавливают весы для взвешивания просушенного или сырого зерна.

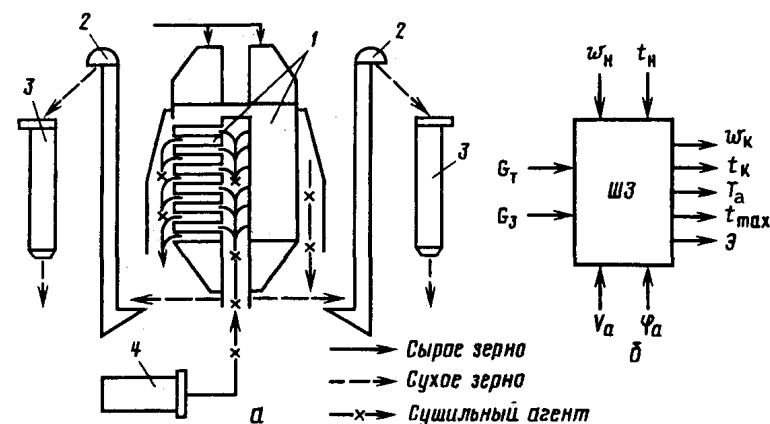


Рис. 2.19. Функциональная (а) и параметрическая (б) схемы шахтной зерносушилки: 1 – шахты сушилки; 2 – нории; 3 – охлаждающие колонки; 4 – теплогенератор; w_k и t_k – влажность и температура зерна на выходе; $t_{\max}$ – максимально допустимая температура зерна

Хранение зерна. Хранение зерна – особенно ответственный период в технологическом цикле производства зерна, требующий постоянного оперативного контроля влажности и температуры зерна, влажности и температуры воздуха в хранилище. Кроме того, хранение зерна длительный процесс, что предъявляет повышенные требования к контролю параметров зерна и воздуха в хранилище.

На сегодняшний день большинство хранилищ оборудовано лишь системами оперативного контроля температуры в различных точках хранимого объема зерновой массы. Используя информацию о температуре зерновой массы, оператор при необходимости включает систему вентиляции в хранилище и систему продува зерновой массы сухим воздухом. Таким образом, предотвращается самовозгорание зерна.

Недостаток такого управления вентиляцией заключается в том, что повышение температуры говорит об уже начавшемся саморазогреве зерновой массы.

В то же время известно, что наличие оперативной информации о влажности зерна позволяет прогнозировать возможный ее саморазогрев и предупредить его.

Оперативное получение достоверной информации о влажности зерновой массы и относительной влажности воздуха в хранилище возможно лишь при применении систем автоматизированного контроля влажности, основанных на использовании надежных помехозащищенных датчиков влажности и современных программно-технических средств вычислительной техники.

Однако разработка указанных систем затруднена тем, что на современном рынке средств измерений отсутствуют надежные помехозащищенные закладные датчики сыпучих материалов и надежные недорогие гигрометры воздуха. Поэтому разработка надежных датчиков и систем автоматизированного контроля влажности на их основе является актуальной задачей.

Учитывая особую важность процесса хранения зерна, разработан ряд систем автоматизированного контроля влажности зерна и воздуха в хранилище. Функциональная схема одной такой системы приведена на рис. 2.20. Программно-техническое обеспечение автоматизированной системы контроля влажности включает в себя:

1. Модуль ввода аналоговый МВА8 – служит для связи и согласования датчиков с информационной сетью системы контроля.

2. Модуль интерфейсный RS-485 – обеспечивает необходимый протокол связи между МВА8 и информационной сетью системы контроля.

3. Адаптер сети ОВЕН АС3-М – обеспечивает связь компьютера оператора с информационной сетью системы контроля.

4. ПК – компьютер оператора.

5. ОВЕН ТРМ133, ОВЕН ПЛК – логические устройства обработки измерительной информации.

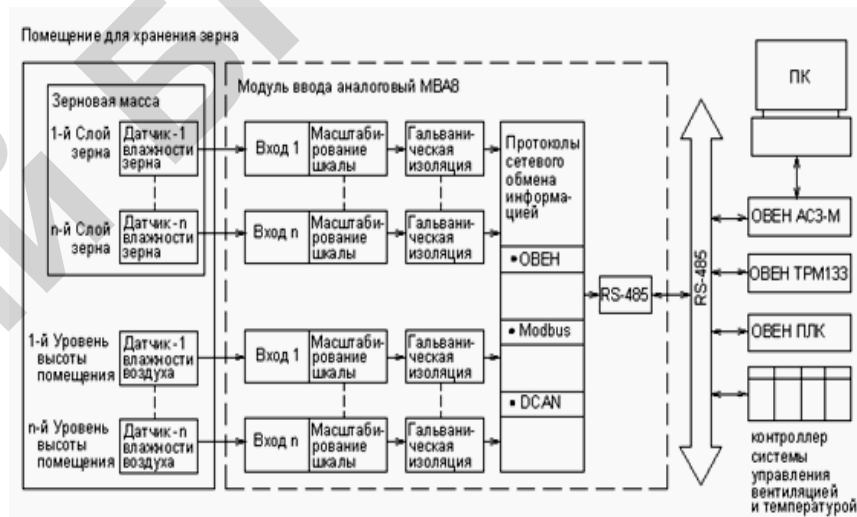


Рис. 2.20. Система автоматизированного контроля влажности зерна и относительной влажности воздуха в хранилище

Применение разработанной системы автоматизированного контроля влажности зерна и воздуха в хранилище позволяет повысить сохранность зерна, при небольших материальных затратах.

2. Автоматизация послеуборочной обработки льна

Совершенствование процессов первичной обработки льна возможно не только за счет разработки новых технологических приемов и создания нового оборудования. Существенной рационализации и повышению эффективности механической обработки сырья способствует широкое внедрение систем автоматического управления технологическими процессами.

В последние годы в области первичной обработки лубяных культур основной задачей является проблема повышения выхода длинного волокна.

Автоматизация формирования стеблевого слоя. Улучшения показателей первичной переработки льна можно добиться своевременной дифференциацией ТП обработки лубяного сырья, чему в немалой степени способствует внедрение систем автоматизации. Автоматические контроль и управление получением длинного волокна решают задачи плавной, дифференцированной настройки технологических режимов обработки. Это актуально в связи с повсеместным, в последнее время, применением рулонной уборки льна, что ведет к значительному варьированию параметров поступающего на льнозаводы сырья. Разработанный в Республике Беларусь прицепной пресс-подборщик льна ППЛ-150 уже относится к машинам нового поколения, оборудован гидроприводом основных рабочих органов. Подбор ленты осуществляется барабаном с тремя рядами зубьев, позволяющим улучшить равномерность подъема тресты, уменьшить дезориентацию стеблей в формируемой ленте и их повреждение, что позволяет увеличить выход длинного волокна и повысить его качество. Управление технологическими рабочими органами производится системой автоматизации, что дает возможность синхронизировать скорость движения агрегата и рабочих органов пресс-подборщика, улучшив качество подбора лент льна.

Известно, что получение стабильного выхода длинного волокна высокого качества из сырья, однородного по основным физико-механическим свойствам, возможно при переработке стеблевого слоя одинаковой линейной плотности, оптимальной для данного типа льняной тресты. С внедрением рулонной технологии состояние слоя тресты, поступающей на механическую обработку, существенно ухудшается. Вместе со значительной дезориентацией стеблей в слое наблюдается повышенное варьирование толщины ленты рулона, а значит и линейной плотности слоя. Для исключения указанных недостатков слоя перед механической обработкой осуществляется операция слоеформирования, целью которой является создание стеблевого слоя непрерывного равномерного по толщине. Толщину слоя обрабатываемого материала характеризуют плотностью загрузки – массой стеблей, приходящихся на 1 м длины зажимного транспортера трепальной машины.

Техническим результатом решения этой проблемы является повышение стабильности работы слоеформирующего механизма путем изменения скорости подачи материала в утончающий механизм при изменении линейной плотности обрабатываемого материала, и возможность контроля работы слоеформирующего устройства. На рис. 2.21 показана схема создания стеблевого непрерывного равномерного слоя по толщине. Слой тресты, образующийся при разматывании рулона на рулоноразмотчике РР, последовательно поступает на электронные платформенные весы с верхним перемещающимся колковым транспортером и зубчатый диск слоеформирующей машины. При перемещении слоя по платформе весов блоком измерения и индикации БИ фиксируется линейная плотность слоя тресты μ . Полученная информация поступает в блок анализа БА, где формируется значение частоты вращения зубчатого диска n . Из блока анализа в зависимости от ситуации подается управляющее воздействие на привод, осуществляющий передачу движения к зубчатому диску. С целью изменения его скорости. При увеличении линейной плотности слоя частота вращения зубчатого диска увеличивается, при уменьшении плотности слоя частота вращения зубчатого диска уменьшается. Изменение этого параметра приводит к корректировке линейной плотности на выходе из устройства формирования слоя, чем достигается ее постоянство.

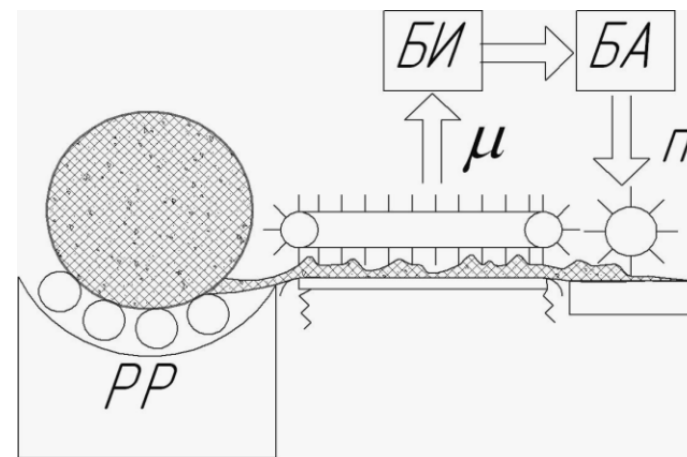


Рис. 2.21. Способ формирования стеблевого слоя постоянной линейной плотности

При этом формирование стеблевого слоя постоянной линейной плотности позволяет повысить производительность машины на 15–18 %.

Автоматизация мально-трепального агрегата. Первой операцией процесса механической обработки льняной тресты является ее промин, как правило, в вальцовых мальных машинах. Эффективность процесса мятья оценивается величиной умина, контроль которого проводится вручную по специально отобранной пробе. Это, помимо, трудоемкости, связанной с формированием общей пробы и операциями взвешивания, загрузки и выгрузки материала из мальной машины, нарушает протекание ТП и снижает производительность труда, поскольку требует остановки всей линии получения длинного волокна. Для устранения указанных недостатков используется способ контроля эффективности процесса мятья лубяного сырья путем поточного измерения массы материала до и после обработки в мальной машине.

Известно, что для эффективного промина льняного сырья необходимо изменять набор мальных пар с последующим регулированием межосевых расстояний (глубины захождения рифлей) и давления на материал в мальных парах при изменении свойств сырья. Однако большая трудоемкость операций смены и регулирования мальных пар делает практически невозможным изменение режимов мятья в процессе переработки лубяного сырья. Ранее использовалось регулирование процесса мятья сменой мальных пар. В частности, типовой набор по количеству, ассортименту и пределам регулирования мальных пар рассчитывали на обработку труднообрабатываемого сырья, а изменение типового набора по ассортименту и количеству мальных пар при изменении свойств сырья производили включением мальных пар на холостой ход. Режим мятья нормального и ослабленного сырья оптимизировали последовательным включением мальных пар стационарного набора на холостой ход, начиная с последней пары, до тех пор, пока количество недоработки не достигнет нормы. К недостаткам этого способа следует отнести то, что переключение мальной пары из рабочего на холостой ход и обратно осуществлялось вручную по результатам органолептической оценки доли недоработки, которой свойственны субъективизм и низкая точность. Современный уровень развития техники позволил создать систему автоматизированного изменения набора вальцов в мальной машине. Схема системы представлена на рис. 2.22.

Контроль линейной плотности и определяемости тресты осуществляется в потоке перерабатываемого сырья перед его механической обработкой. В частности, размер плотности после слоеформирующей машины СМ слоя p_1 фиксируется электронными весами 1, установленными между слоеформирующей и мальной машинами. На этом же этапе посредством видеоконтроля оценивается отделяемость тресты. Эта информация поступает в блок анализа БА, где из имеющейся базы данных происходит выбор оптимального для данного значения линейной плотности и отделяемости набора вальцов по ассортименту и количеству, и формируется управляющее воздействие на исполнительный механизм, осуществляющий подъем верхних вальцов, не входящих в этот оптимальный набор.

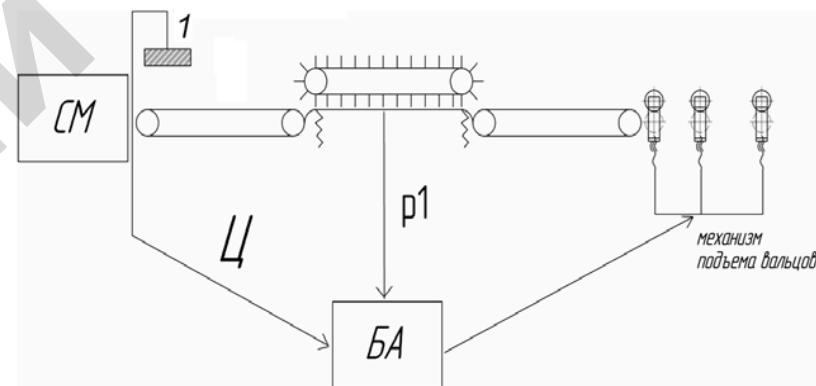


Рис. 2.22. Схема системы регулирования процесса мятья

Такая система позволит осуществлять качественный промин всех участков слоя стеблей и при этом сохранить природную прочность волокна, залегающего в стеблях слоя.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные параметры регулирования при послеуборочной обработке зерна.
2. Какие датчики применяются для определения влажности при хранении зерна?
3. Объясните назначение блока анализа при автоматизации формирования стеблевого слоя льна.

4. Каким образом достигается получение однородного по основным физико-механическим свойствам стеблевого слоя одинаковой линейной плотности, оптимальной для данного типа льняной тресты?

5. Какие функции выполняют электронные весы мяльной машины при первичной переработке льна?

ЛЕКЦИЯ 10. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА И ПТИЦЕВОДСТВА

План лекции

1. Автоматизированные агрегаты для сушки и измельчения.
2. Автоматический контроль и учет движения кормов.
3. Автоматические установки для доения коров и первичной обработки молока.
4. Автоматизация установок очистки, пастеризации и охлаждения молока.
5. Автоматизированные инкубаторы. Объем автоматизации и основные технические решения.

1. Автоматизированные агрегаты для сушки и измельчения

Поточные линии для производства кормов: сочных, грубых, концентрированных, комбинированных, гранулированных брикетированных – значительно повышают производительность труда и находят все более широкое применение.

Технологический комплекс по приготовлению гранулированных кормов состоит из агрегата для приготовления муки, оборудования для гранулирования, транспортеров, бункеров для хранения продукции.

На рис. 2.23 приведена технологическая схема приготовления травяной муки на агрегате АВМ-1.5. Агрегат предназначен для искусственной сушки и помола травы, фуражного зерна, листьев, хвои, жома, сахарной свеклы. Продукты перед сушкой измельчают, высыпая в лоток конвейера загрузчика зеленой массы, сушат в барабанной сушилке, куда из теплогенератора засасываются нагретый до высокой температуры воздух и продукты сгорания жидкого топлива.

Кормовая масса транспортируется конвейером, транспортером и вращающимся барабаном сушилки. Сухая масса увлекается потоком газов, который создается вентилятором большого циклонного охладителя. Из большого циклона высушенный продукт через дозатор попадает в дробилку.

В применяемые для указанных целей автоматизированные установки и комплексы оборудования входят тысячи дробилок. Существующие агрегаты и линии имеют три способа подачи продуктов в дробилку: последовательный, параллельный и порциями.

При последовательной подаче различных продуктов после дробления ими заполняются большие емкости-бункера, каждый из которых предназначен для своего компонента. Из бункера продукты попадают в смеситель. В случае перехода на новый компонент необходимо перенастраивать систему подачи продукта в дробилку, что связано со снижением показателей технологической линии.

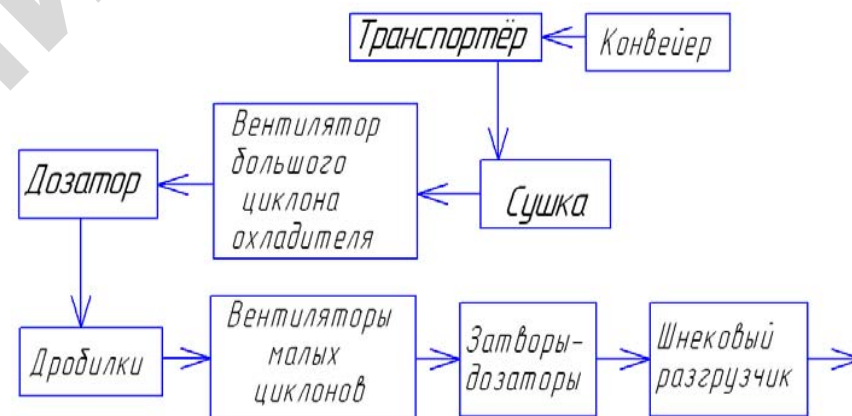


Рис. 2.23. Технологическая схема приготовления кормов на агрегате АВМ-1.5

При параллельной подаче несколько зерновых необработанных компонентов из разных бункеров после индивидуальной дозировки поступают в дробилку, где производится их общее дробление и смешивание.

При подаче продуктов порциями характерны непрерывные частые переходы от одного компонента корма к другому, так как в линии после дробилки отсутствуют большие емкости-бункера, как это имеет место при последовательной подаче, а все компоненты после

дробления один за другим подаются в циклично работающие смесители ограниченной вместимости.

Приводной двигатель зернодробилки подвергается значительным перегрузкам, обусловленным изменением вида продукта.

При ручном регулировании электропривода средняя нагрузка дробильного агрегата и его электродвигателя составляет 60–80 % номинальной производительности и мощности.

На агрегатах автоматизируется нагрузка дробилки, чтобы не допустить перегрузку электродвигателя и агрегата. Одним из основных элементов системы управления производительностью и мощностью электропривода зернодробилок является нагрузочный механизм (питатель), выполняющий роль регулирующего устройства, воздействующего на регулируемую переменную технологического процесса.

На рис. 2.24 представлена структурная функциональная схема стабилизирующей системы автоматического управления нагрузкой дробилки с регулятором частоты вращения шнекового двигателя.

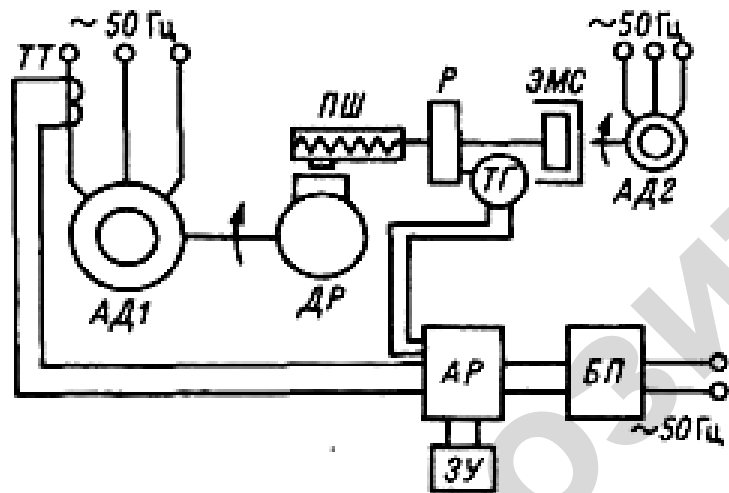


Рис. 2.24. Схема автоматического управления нагрузкой зернодробилки

Объектом регулирования является дробилка ДР с приводным электродвигателем АД1, который одновременно является воспринимающим элементом (датчиком загрузки). Измерительным элементом

является трансформатор тока ТТ. От измерительного элемента сигнал поступает в автоматический регулятор АР, имеющий задающее устройство ЗУ и блок питания БП. Автоматический регулятор изменяет ток в обмотке возбуждения ОВ (на рисунке не показано) электромагнитной муфты скольжения ЭМС, ведомая часть которой через редуктор Р жестко соединена со шнековым питателем ПШ. Внешняя обратная связь осуществляется по цепочке ТТ – АР. Обратная связь по скорости осуществляется по цепочке ТТ – АР – ОВ, она обеспечивает стабилизацию частоты вращения ведомой части ЭМС, а следовательно, питателя ПШ. Принцип действия регулятора нагрузки основан на следующем: при появлении возмущающего воздействия, например, вследствие изменения физико-механических свойств продукта появляется отклонение измеряемой величины – тока двигателя АД1 от заданного значения нагрузки агрегата. Разность этих значений создает сигнал разбалансировки. Регулятор АР, действующий по принципу отклонения, измеряет отклонение управляемой величины от заданного значения и через усилительный блок действует на изменение тока возбуждения ЭМС в обмотке ОВ. Вследствие этого за счет изменения частоты вращения исполнительного элемента изменяется частота вращения устройства, воздействующего на регулируемую переменную технологического процесса – потока продукта.

После дробилок мука за счет потока, создаваемого вентиляторами, перемещается в малые циклоны, а затем затворами-дозаторами – в шнековый разгрузчик, из которого ее можно направлять в отделение гранулирования или затаривать в мешки

2. Автоматический контроль и учет движения кормов

Индивидуальная раздача кормов, особенно концентрированных, имеет большие преимущества, такие как экономный расход корма и увеличение продуктивности животных на 10–15 %. Наиболее распространена индивидуальная раздача кормов на доильной площадке.

Существуют также системы раздачи кормов в коровниках с использованием специальных автоматических кормовых станций. Управление этими системами может быть ручное, программное или автоматическое. Системы дозирования кормов в местах содержания животных рекомендуются для высокопродуктивных

коров. С помощью автоматической кормовой станции можно организовать выдачу концентрированных кормов небольшими дозами в течение суток, когда животное само подходит к кормушке (кормовой станции).

Индивидуальная раздача кормов требует выполнения ряда условий: идентификация животного, измерение его продуктивности и наличие управляемого дозирующего устройства.

Автоматическую идентификацию животных осуществляют с помощью радиотехнического устройства – датчика, закрепляемого в ухе или на специальном ошейнике (рис. 2.25, а).

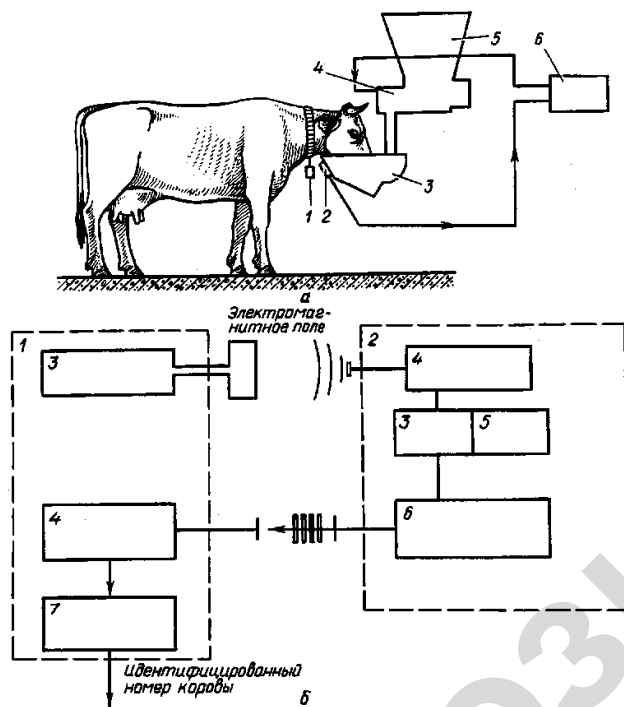


Рис. 2.25. Автоматизированная система индивидуального кормления коров (а) и функциональная схема автоматического распознавания животных (б):
 а: 1 – транспондер; 2 – приемно-передающее устройство; 3 – кормушка;
 4 – дозатор; 5 – бункер; 6 – микроЭВМ;
 б: 1 – идентифицирующее устройство; 2 – транспондер; 3 – генератор;
 4 – приемное устройство; 5 – блок памяти; 6 – передающее устройство;
 7 – декодирующее устройство

Автоматическое дозирование корма. В зависимости от уровня автоматизации процесса дозирования управление дозаторами может быть ручное, полуавтоматическое или автоматическое. При ручном управлении процессом дозирования командует оператор. При полуавтоматическом дозировании оператор использует счетчики порций, устройства для подачи корма в дозатор и другие вспомогательные механизмы. При полной автоматизации процесса дозаторы работают по разомкнутому циклу, выполняя функции ИМ, отмеряющих заданное количество корма независимо от изменения его параметров, или по замкнутому циклу, когда изменение выдачи материала происходит в соответствии с командой регулирующего устройства. Конструкция дозаторов зависит от вида дозируемого корма. Для дозирования сухих рассыпных кормов применяют барабанные, тарельчатые, ленточные и шнековые дозаторы.

3. Автоматические установки для доения коров и первичной обработки молока

Значительная трудоемкость процесса доения, неуклонно повышающиеся требования к качеству молока, и высокая оплата труда наемных работников в большинстве развитых стран стимулировали инвестирование в изучение и производство высокотехнологичного и наукоемкого оборудования для молочных ферм. Работы по изучению и внедрению полной автоматизации процесса доения были начаты еще в 50-х гг. XX в. В 70–90 гг. целый ряд институтов в Европе работал над задачей определения правильного положения сосков, разрабатывая устройство для автоматического надевания доильных стаканов.

Научные разработки доильных роботов практически одновременно начали такие известные производители доильного оборудования, как Lely Industries N. V. (Нидерланды), Gascoigne Melott (позже вошла в состав компании Bou-Matic, США), Insentec (Нидерланды) и др. Первый экспериментальный образец автоматизированного доильного устройства был представлен в 1984 г., коммерческий в 1992 г. (в Нидерландах). Однако разработка принципиальной концепции доильных роботов осложнялась тем,

что, в отличие от промышленных роботов, имеющих дело с неодушевленными объектами, они должны были взаимодействовать с живыми организмами, которым присуща вариабельность. Реализация идеи стала возможной только после создания достаточно чувствительных сенсоров, анализаторов и соответствующего программного обеспечения для компьютера – интегральной части автоматической доильной системы. Помимо непосредственного доения, роботы должны были взять на себя еще целый ряд операций, выполняемых ранее операторами и работниками различных лабораторий.

Резкий рост спроса на доильные автоматизированные системы пришелся на конец 90-х гг. В настоящее время в мире установлено около 30 тыс. роботизированных систем, из них около 15 тыс. компании Lely, 10 тыс. – DeLaval.

Наибольшее распространение системы добровольного доения получили в Европе, особенно популярны роботы в Бельгии и Голландии. Высокий уровень заработной платы при одновременном дефиците рабочих стимулирует продажи роботов. Следует отметить, что подавляющее число роботизированных ферм имеют поголовье от 50 до 200 животных, то есть это семейные фермы, а не промышленные комплексы.

Принципы работы автоматических доильных систем. Роботы для автоматизированной системы доения выполняют множество функций, которые изначально частично выполнялись доярками:

- подготовка вымени к доению;
- подключение доильного аппарата к соскам;
- измерение показателей молока и удоя;
- своевременное снятие доильных аппаратов;
- дезинфекция сосковой резины;
- подсчет количества шагов коровы после последней дойки (коровы в охоте);
- подача сигналов для селекционных ворот для выборки проблемных коров и т. п.

Рассмотрим принцип действия автоматических доильных систем на примере доильного робота Astronaut фирмы Lely (рис. 2.26).

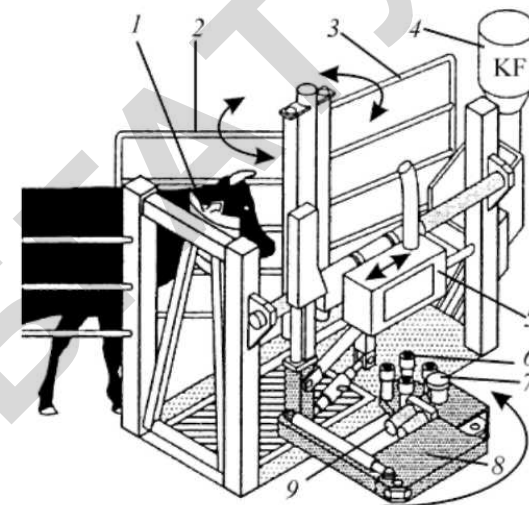


Рис. 2.26. Схема доильного робота Astronaut:

- 1 – манипулятор позиционирования животного; 2 – входная дверца; 3 – выходная дверца; 4 – автоматическая кормораздаточная станция; 5 – блок регулирования перемещения руки; 6 – доильные стаканы; 7 – лазерные датчики; 8 – рука робота; 9 – ролики обмыва вымени

Доильный робот Astronaut фирмы Lely состоит из доильного бокса с размерами 4,5×2,5×2,5 м. При входе коровы в бокс происходит ее идентификация, и компьютер определяет: необходимость доения коровы сейчас, или немедленно выпустить ее из бокса. Если необходимо доить корову, то в кормушку выдается порция 1,5–2,5 кг концентрированного корма. Движение животного сзади ограничивается специальным манипулятором 1. Примерно через 10 с после позиционирования коровы рука 8 робота захватывает устройство 9 для обмыва вымени с двумя роликами, покрытыми хлопчатобумажной тканью, увлажненной водой, и подводит под вымя животного. Определяется место расположения сосков и начинается процесс их очистки вращающимися в разные стороны роликами. После очистки рука робота отводит ролики в специальную выемку, где происходит их промывка водой и обеззараживание дезинфицирующими растворами.

Рука робота снова подводится под корову, но уже с доильным аппаратом 6 и с помощью лазера 7 начинается его позиционирование.

Для позиционирования в качестве точки отсчета служат передние соски, по окончании позиционирования робот начинает последовательно надевать доильные стаканы на соски, начиная с задних четвертей вымени. При этом подвижная тестовая плита передает движение коровы с помощью ультразвукового датчика руке робота, которая повторяет движения коровы. При неудачной попытке надеть доильные стаканы робот делает еще две дополнительные попытки. При неудачной третьей попытке робот выпускает корову, выдает звуковой сигнал и сообщение на дисплей компьютера. Первые струйки молока сдаиваются в специальный резервуар. Количество надоенного молока и его электропроводность из каждой четверти вымени животного поступает по отдельному молокопроводу. Доильные стаканы снимаются с каждого соска вымени отдельно, по мере прекращения из него молокоотдачи.

Роботы разных компаний, как правило, конструктивно схожи и состоят из следующих составных частей: станочного оборудования с воротами и станцией кормления (бокса), руки-манипулятора с системой определения положения сосков (включает в себя систему очистки сосков и вымени), доильных аппаратов, систем управления доением и регистрации качества молока, системы менеджмента стада. В систему входят сенсорные и контрольные приборы, специальные весы, чтобы взвешивать корову, концентраты и молоко. Неотъемлемой частью робота можно считать также молокоохладитель, так как холодильное оборудование, применяемое в доильных залах, не подходит для использования на роботизированных фермах. К молокоохладителю может быть подключено до 8 роботов. На сегодняшний день доильные установки отличаются между собой, главным образом, числом одновременно обслуживающих коров.

Достоинства и недостатки автоматизированных доильных систем. Рассмотрим вначале преимущества.

1. Быстрое привыкание к доению роботом и самостоятельное посещение доильного бокса обеспечивает увеличение частоты доений животных (у высокопродуктивных коров – до 4-х раз и более в сутки), что благотворно сказывается на здоровье вымени животного и способствует повышению продуктивности до 15 %.

2. Значительное сокращение затрат труда на доение.

3. Постоянный контроль качества молока и контроль здоровья животных.

4. Снижение стрессовой нагрузки на животных.

5. Возможность создания гибкой системы менеджмента стадом.

Следует также сказать и о недостатках, а вернее, о специфических особенностях эксплуатации роботизированных доильных установок, которые надо обязательно учитывать при принятии решения о выборе той или иной системы.

1. Необходимость тщательного подбора животных. Проблема в том, что далеко не все коровы пригодны к доению роботами. Практика показывает, что при переходе от «традиционного» доения к роботизированному выбраковывается до 15 % коров из-за неправильных размеров и формы вымени или сосков.

2. Вымя каждой коровы должно быть чистым и ухоженным для обеспечения корректной работы датчиков манипулятора. Это накладывает дополнительные требования к содержанию животных, начиная с этапа проектирования помещения новой или реконструируемой фермы и заканчивая наличием на ферме оборудования для выжигания волосков вымени и специалистом, способным его приносить.

3. Сложность, зачастую даже невозможность выпасать животных. Несмотря на то, что в перспективе запланировано переводить скот на безвыпасное содержание, в настоящее время очевидно, что без дешевых кормов, получаемых на пастбищах в летнее время, обойтись практически невозможно.

4. Высокая технологичность оборудования предъявляет повышенные требования к квалификации персонала. Центров, предлагающих обучение работников сельскохозяйственных организаций обслуживанию доильных роботов, нет.

5. Высокая стоимость оборудования.

4. Автоматизация установок очистки, пастеризации и охлаждения молока

К первичной обработке молока относятся охлаждение, пастеризация, очистка и удаление механических и частично бактериальных примесей. Для охлаждения молока применяются специальные аппараты – молочные охладители. По конструкции они могут быть открытые и закрытые, противоточные и параллельноточные, трубчатые

и пластинчатые. В качестве хладагента применяются вода и рассол. Противоточные охладители рассчитаны на охлаждение молока до температуры, превышающей на 3 °С начальную температуру охлаждающей жидкости.

При пастеризации молоко нагревают до 63–93 °С. Для длительной пастеризации применяют ванны длительной пастеризации типа ВДП различной вместимости. Кратковременную пастеризацию проводят в паровых пастеризаторах с вытеснительным барабаном и в пластинчатых аппаратах с обогревом горячей водой.

Пластинчатые пастеризаторы не имеют движущихся деталей. В них теплообмен происходит между потоками горячей воды и молока, разделенными тонкими пластинами из нержавеющей стали. Между пластинами протекают в противоположном направлении вода и молоко. Водяной и молочный насосы создают необходимый для движения напор.

В автоматизированных установках ОПФ-1, ОПУ-3М, ОПУ-5М применяют комбинированные пастеризатор, теплообменник-регенератор и охладитель, собранные из одинаковых по конструкции пластин на одной станине.

Для удаления механических примесей применяется сепаратор-молокоочиститель, приводимый в движение от электродвигателя.

Автоматизированные установки первичной обработки молока состоят из центробежного молокоочистителя, пластинчатых пастеризатора, теплообменника-регенератора и охладителя.

Качество первичной обработки молока определяется точностью выполнения режима пастеризации и охлаждения молока. Технологические требования относительно температурного режима предусматривают допустимое отклонение температуры нагрева и охлаждения до ± 2 °С, а погрешность регистрации температуры 1 °С. Динамическое отклонение температуры нагрева и охлаждения молока от заданных значений во время работы автоматических систем регулирования должно быть в пределах ± 2 °С. Превышение температуры над заданной при выходе установки на режим не должно быть более 5 °С.

Рабочий процесс первичной обработки молока на установке ОПФ-1 рассмотрим по схеме автоматизации, показанной на рис. 2.27.

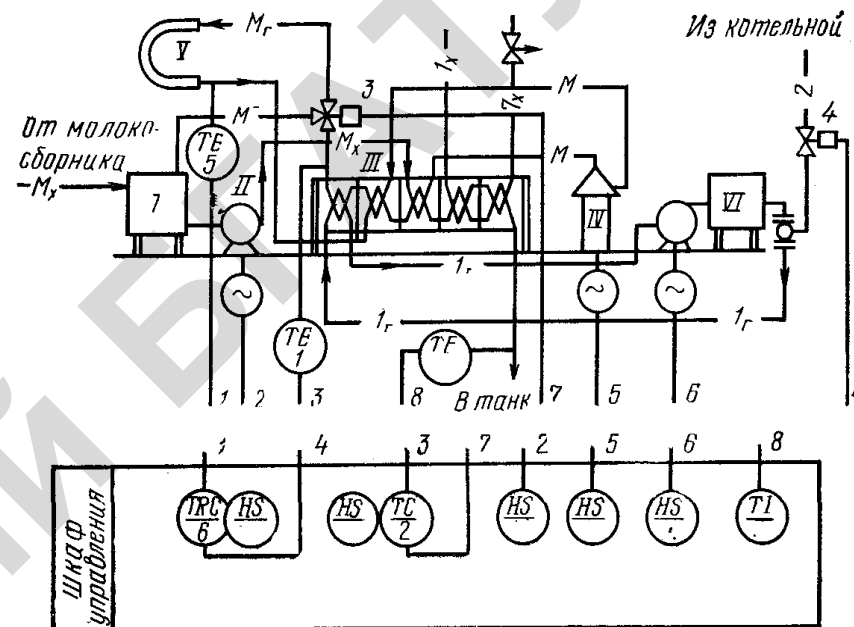


Рис. 2.27. Схема автоматизации установки ОПФ-1

Из молокоосборника молоко поступает в уравнильный бак 7. Из бака I насос II подает молоко в первую секцию III пластинчатого аппарата (секцию регенерации), где молоко за счет теплообмена нагревается до 37–40 °С. Из первой секции регенерации молоко поступает в молокоочиститель IV, очищается, подается во вторую секцию регенерации и переходит в секцию пастеризации, где за счет теплообмена с горячей водой нагревается до температуры +76 °С (в установке ОПФ-1-20) или до +90 °С (в установке ОПФ-1-300). Пастеризованное молоко через выдерживатель V проходит в секции регенерации, и его температура снижается до +20...25 °С. Затем молоко проходит секции охлаждения, где его температура снижается до +5...8 °С. Холодное молоко поступает в танк.

Горячая вода готовится в бойлере VI, где нагревается паром через инжектор паропровода от котельной установки.

Дополнительная выдержка молока в течение 20 с в выдерживателе установки ОПФ-1-20 и 300 с в выдерживателе установки

ОПФ-1-300 перед охлаждением способствует уменьшению бактериальных загрязнений.

Контроль температуры молока после пастеризационной секции осуществляется первичным преобразователем 1, сигнал которого подается на регулятор 2, формирующий сигнал исполнительному механизму 3 трехходового клапана, который при низкой температуре молока перепускает его обратно в уравнильный бак.

Температура молока после выдерживателя контролируется преобразователем 5, сигнал которого подается на регулятор 6. Исполнительный механизм 4 управляет вентилем подачи пара в бойлер для изменения температуры воды.

Для выбора наиболее рациональных схем автоматического управления установкой проводят ее исследование с целью получения математического описания установки как объекта автоматизации. Определение статических и динамических характеристик позволяет выбрать наиболее эффективные регуляторы и параметры их настройки.

Процесс пастеризации и охлаждения молока можно представить структурными схемами, показанными на рис. 2.28. Входная величина секции пастеризации – расход пара G_p , а выходная – температура молока $\theta_{мп}$. Возмущениями являются непостоянство расхода молока G_m , его температура, изменение коэффициента теплопередачи пастеризатора вследствие отложения белка на теплопроводящих поверхностях. Входная величина секции охлаждения – расход хладагента $G_{хл}$, а выходная – температура холодного молока $\theta_{мх}$. Основными возмущениями в охладителях молока являются колебания температуры хладагента, изменение давления хладагителя $p_{хл}$, расхода молока G_m и др.

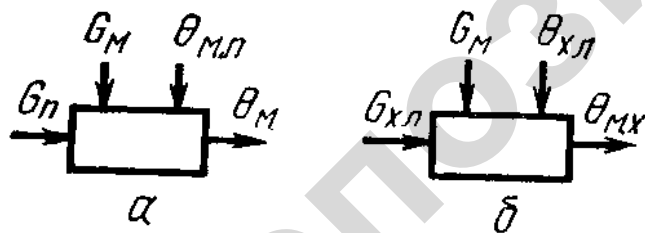


Рис. 2.28. Структурные схемы:
а – пастеризация молока; б – охлаждение молока

Температуру нагревания молока можно изменять при помощи позиционного и непрерывного регулирования. В пластинчатых пастеризационно-охладительных установках применяются ПИ-регуляторы, обеспечивающие высокую точность регулирования температуры. В установках ОПФ-1 для регулирования температуры воды используется электронный регулятор ЭР-СС-63 с термометром сопротивления. Исполнительным механизмом в системе регулирования является электрогидравлический клапан. Он снабжен электромагнитом для управления клапаном пропуска воды, которая под давлением действует на мембрану, соединенную штоком с золотником, перекрывающим канал впуска пара через инжектор в систему циркуляции горячей воды.

В установках ОПУ-3М, ОПУ-5М для контроля и регулирования температуры нагревания и охлаждения молока применяются самopiшущие мосты типа МСП1-05 с пределами измерения от 0 до 100 °С. Первичные преобразователи – термометры сопротивления типа ТСР-864. Мосты снабжены реостатными задатчиками, которые совместно с балансными реле типа БР-3 и реостатами обратной связи электрических исполнительных механизмов типа ПР-М регулирующих клапанов реализуют пропорциональный закон регулирования.

В установке ОПФ-1 температура охлажденного молока контролируется логометром с термометром сопротивления типа ТСМ 8.

Температура молока в пастеризационной секции контролируется и регистрируется самopiшущим мостом типа МСП 1-01 с термометром сопротивления типа ТСР. Мост имеет контакты, которые при снижении температуры молока ниже заданной замыкаются и в цепи исполнительного механизма трехходового клапана подается напряжение. При этом клапан входа воды в гидрореле закрыт и мембрана с ее клапанным устройством находится в верхнем положении, перекрывая выход молока в выдерживатель и направляя его обратно в уравнильный бак. Когда температура молока достигает заданной, контакты моста размыкаются, ток в катушке электромагнита прерывается и под действием пружины шток опускается и открывает доступ воде в гидрокамеру клапана. Вода под давлением действует на мембрану и перемещает клапанный механизм в нижнее положение. При этом молоко поступает из пастеризатора в камеру выдерживания.

Управление двигателями насосов и центрифуги ручное, при помощи кнопок и магнитных пускателей. Аппаратура управления, регулирования и контроля расположена в шкафу управления. На переднюю панель шкафа вынесены приборы и ключи управления, электронный мост, регулятор, логометр и сигнальные лампы.

В ручном режиме установку ОПФ-1 запускает оператор. Перед пуском он проверяет состояние пакета пластин, соединения, направление вращения барабана сепаратора. Затем в уравнильный бак заливает содовый раствор и включает насосы в работу. Включает пар и в течение 15 мин промывает систему. После этого заливает холодную воду для вытеснения содового раствора и в течение 30 мин промывает систему горячей водой. После стерилизации системы переключает ее в автоматический режим. Сначала подает молоко в уравнильный бак, включает сепаратор и после установления рабочей частоты вращения включает насосы подачи молока и горячей воды. После срабатывания перепускного клапана установка переходит в рабочий режим. Через 2,5–3,0 ч работы установку останавливают для удаления грязи из сепаратора-очистителя. Остановку осуществляет оператор в ручном режиме, выполняя необходимые операции в требуемой последовательности, определяемой инструкцией.

5. Автоматизированные инкубаторы.

Объем автоматизации и основные технические решения

Инкубация в птицеводстве (от лат. *Incubatio* – высиживание яиц) – вывод молодняка и яиц птицы в инкубаторах. Инкубация возникла несколько тысячелетий тому назад в южных странах. В Европе и США стала применяться со второй половины XIX в., а широкое распространение получила только с 20-х гг. XX в. и является основным способом размножения сельскохозяйственной птицы. Инкубация играет большую роль в повышении продуктивности и увеличении поголовья птицы. Проводится в инкубаторно-птицеводческих племенных станциях и хозяйствах, имеющих маточные стада (птицефабрики, птицеводческие фермы). Инкубировать можно яйца всех видов домашней птицы во всех климатических зонах в любое время года, когда имеются биологически полноценные яйца. В хозяйствах с однократным комплектованием маточного стада

инкубация позволяет получить ранний молодняк, который начинает нестись осенью или рано зимой того же года. В специализированных хозяйствах применяется круглогодичная инкубация, позволяющая комплектовать стадо многократно и обеспечивать равномерное в течение всего года производство яиц и мяса птицы.

Автоматические инкубаторы и контроль параметров режима инкубации яиц. Существует много типов и марок инкубаторов, различающихся по конструкции, емкости, степени автоматизации управления и регулирования. Независимо от типа, размера и специфических особенностей инкубатор представляет собой аппарат, состоящий из одной или нескольких термоизолированных камер, оснащенных следующими устройствами: комплектом лотков для укладки инкубационных яиц и этажерочной или барабанной установки по размещению их внутри камеры; нагревателями и приборами для контроля и регулирования температуры воздуха; увлажнителями и приборами для контроля и регулирования относительной влажности воздуха; вентиляторами для воздухообмена и циркуляции воздуха внутри камеры, приборами для их регулирования; системой охлаждения и устройствами для регуляции ее функционирования; вспомогательным оборудованием (электрооборудование, сигнализация, компьютеры, автоматика).

В зависимости от технологического назначения инкубаторы подразделяются на инкубационные, выводные и комбинированные (или совмещенные).

Автоматический инкубатор содержит камеру, лотки, блок управления поворотом яиц на 180°, нагреватели и увлажнители. Инкубационная камера состоит из двух шкафов, соединенных заслонками и снабженных лотками, представляющими собой ящики с ограничительными перегородками. Для обеспечения равномерного обдува яиц воздухом, камера снабжена перфорированным дном, а также размещенной на нем транспортной лентой, передвигающейся в направлении, перпендикулярном большой оси яйца с целью его перекачивания в обратном направлении хода ленты. Периодическим перемещением объектов инкубации управляет блок механических поворотов яиц на 180°, выполненный в виде тяговых электромагнитов с реле времени. Для изменения теплового состояния яиц предусмотрены соответствующее реле времени и нагреватели. Обеспечивается упрощение конструкции блока

управления поворотом яиц на 180° и снижение расхода электроэнергии на их нагрев.

Основными задачами работы современных инкубаторов являются упрощение конструкции блока управления поворотом яиц на 180° и снижение расхода электроэнергии на их нагрев.

Поставленные задачи решаются тем, что инкубационная камера состоит из двух шкафов, соединенных заслонками и снабженных лотками, представляющими собой ящики с ограничительными перегородками, и, для обеспечения равномерного обдува яиц воздухом, перфорированным дном, а также размещенной на нем транспортной ленты, передвигающейся в направлении, перпендикулярном большой оси яйца с целью его перекатывания в обратном направлении хода ленты. Причем периодическим перемещением объектов инкубации управляет блок механических поворотов яиц на 180° , выполненный в виде тяговых электромагнитов с реле времени, а для изменения теплового состояния яиц предусмотрены соответствующие реле времени и нагреватели, обеспечивающие конвективно-радиационный способ обогрева яиц.

На рис. 2.29 изображен продольный разрез инкубатора. Автоматический инкубатор содержит камеру 1, разделенную стенкой 2 на два инкубационных шкафа 3, 4, в которых размещены нагреватели 5, 6 и вентиляторы 7, 8 с реле времени 15, увлажнители 9, 10. Причем инкубационные шкафы связаны между собой и окружающей средой соответственно заслонками 11, 12 и створками воздуховода 13, 14. Для контроля изменения положения створок 13, 14 и заслонок 11, 12 также предназначено реле времени 15, подключенное к тяговому электромагниту 16. С целью избежания перегрева яиц в каждом шкафу предусмотрены блоки сигнализации 17, 18. В каждом шкафу размещены инкубационные лотки 19, 20 с расположенными в их гнездах 21 инкубируемыми яйцами 22. Причем каждый лоток представляет собой ящик с ограничительными перегородками 23, а дно лотка перфорировано для обеспечения равномерного обдува яиц воздухом и выполнено с возможностью передвижения, размещенной на нем, транспортной ленты 24 в направлении, перпендикулярном большой оси яйца для его перекатывания в обратном направлении хода ленты.

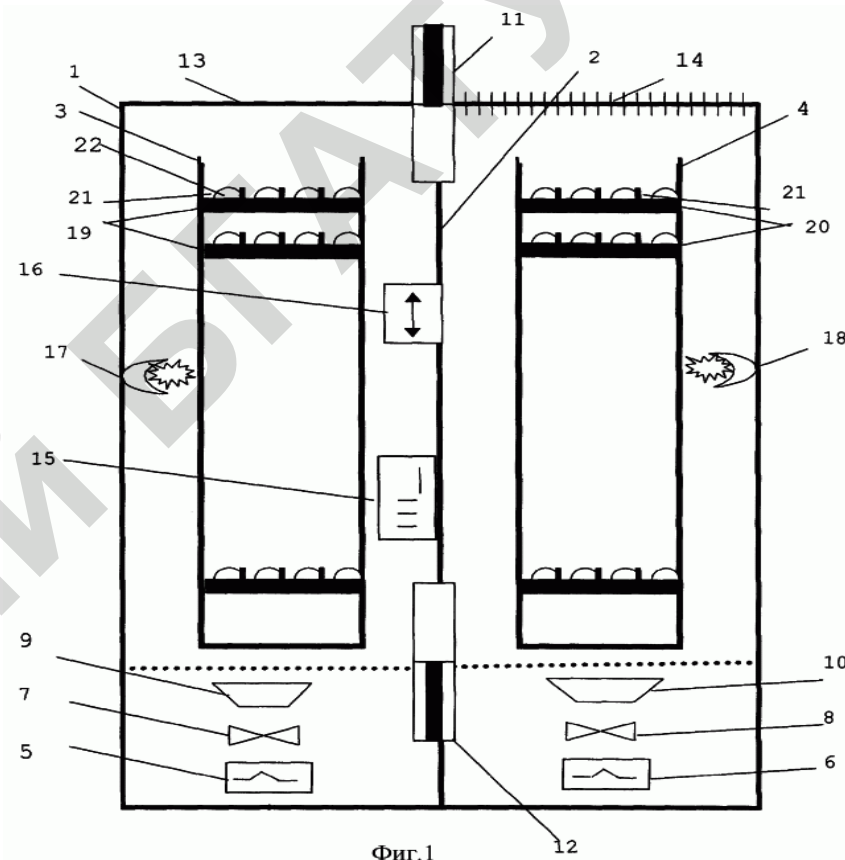


Рис. 2.29. Схема автоматического инкубатора

Инкубатор работает следующим образом.

После размещения инкубируемых яиц 22 в гнездах 21 лотков 19 и 20, последние устанавливают в шкафах 3 и 4, подают напряжение на щит электропитания. Шкафы 3 и 4, идентичные по конструкции, работают попеременно в режимах нагрева и охлаждения. Пусть в данный момент времени шкаф 4 работает в режиме охлаждения уже нагретых яиц, а шкаф 3 – в режиме их нагрева. В этом случае в шкафу 4 работает вентилятор 8 при открытых створках 14 и отключенном нагревателе 6. В это время шкаф 3 работает в режиме нагрева яиц воздухом, который при

закрытых створках 13 получает тепло от нагревателя 5 при включенном вентиляторе 7, что обеспечивает повышение температуры воздуха до требуемой величины, позволяющей нагреть инкубируемые яйца в шкафу 3 за заданное время, значение которого находится с учетом типа инкубируемых яиц и их количества экспериментально или аналитически перед проведением процесса инкубации. При этом заслонки 11 и 12 закрыты и горячий воздух из шкафа 3 не проходит в шкаф 4, где находятся охлаждаемые яйца. После окончания нагрева яиц в шкафу 3 срабатывает реле времени 15, которое закрывает створки 14, отключает нагреватель 5 и вентилятор 8, включается тяговый электромагнит 16, перемещающий заслонки 11 и 12 так, что они начинают пропускать нагретый воздух из шкафа 3 в шкаф 4. Указанная технологическая операция позволяет использовать тепло, сакумулированное стенками и яйцами шкафа 4, и тем самым уменьшить расход энергии на нагрев яиц в шкафу 3, в котором реализуется очередной этап процесса инкубации. Таким образом, инкубатор работает как регенеративный теплообменник, для которого характерно использование до 50 % затрачиваемого тепла. При этом реализуется термоконтрастность процесса инкубации. Как только срабатывает реле времени 15, заслонки 11, 12 закрываются, включаются нагреватель 6 и вентилятор 8 шкафа 4, открываются створки 13 шкафа 3. Указанная последовательность операций поочередно повторяется для всех шкафов на протяжении всего цикла инкубационного процесса. При этом на каждом цикле работы инкубатора проводится перенастройка параметров всех реле времени. Для избежания перегрева яиц предусмотрены блоки сигнализации 17, 18, оповещающие звуковыми сигналами о превышении температуры в шкафу критической нормы и открывающие створки 13, 14. Увлажнители 9, 10, представляющие собой емкости с водой, в свою очередь позволяют поддерживать соответственный влажностный режим.

За счет работы блока механических поворотов осуществляются периодические повороты яиц в лотках, представляющих собой ящики с ограничительными перегородками и, для обеспечения равномерного обдува яиц воздухом, перфорированным дном, а также, размещенной на нем транспортной лентой.

Вопросы для самоконтроля

1. Какую функцию при автоматическом дозировании кормов выполняет загрузочный механизм (питатель)?
2. Как осуществляется автоматическая идентификация животных при индивидуальном кормлении?
3. Назовите фирмы, занимающиеся разработкой доильных роботов.
4. Чем обусловлена необходимость разработки доильных роботов?
5. В чем преимущества и недостатки доильных роботов?
6. Какова погрешность регулирования температуры при пастеризации молока?
7. Какое автоматическое устройство управляет работой доильного аппарата?
8. Назовите основные ТП контролируемые в инкубаторах.

ЛЕКЦИЯ 11. АВТОМАТИЗАЦИЯ В СООРУЖЕНИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

1. Требуемые условия в сооружениях защищенного грунта.
2. Автоматическое управление температурой и вентиляцией в сооружениях защищенного грунта.
3. Автоматическое поддержание влажности почвы.

1. Требуемые условия в сооружениях защищенного грунта

Выращивание овощей в условиях защищенного грунта требует обеспечения необходимых факторов для роста и развития растений. Агротехнические требования зависят от вида растений, фазы их развития и других особенностей выращивания растений. Особые требования предъявляют растения к параметрам микроклимата в теплице: освещенности, температуре и влажности воздуха, концентрации углекислого газа, скорости движения воздуха. Важное значение для выращивания растений имеют также температура и влажность почвы, обеспечение минеральными веществами корневой системы и другие факторы.

Параметры микроклимата тесно связаны между собой. В процессе роста растения усваивают лучистую энергию, и от уровня

освещенности существенно зависят значения других параметров микроклимата: температура, влажность, содержание CO_2 в воздухе. Их оптимальные значения бывают разными днем и ночью, в начальной стадии развития и при цветении, завязывании и росте плодов овощей. Связи между параметрами микроклимата, обеспечивающие оптимальные условия роста и развития растений в теплицах, еще не полностью изучены, чтобы можно было автоматизировать весь процесс получения овощей в теплицах.

Тем не менее, применение локальных САР отдельных параметров микроклимата и других процессов позволяет значительно повысить эффективность производства овощей в защищенном грунте. Используя опыт выращивания отдельных культур, оперативный персонал может периодически изменять задания регуляторам или программы изменения параметра во времени и таким образом приблизиться к оптимальным режимам.

Основные требования по выращиванию овощей в условиях защищенного грунта изложены в нормах технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады.

Системы обогрева воздуха и почвы в теплицах должны обеспечивать температуру воздуха в различное время суток с погрешностью не более 1 % от заданной в диапазоне от 0 до 30 °С. Температура почвы в зоне корневой системы должна стабилизироваться в пределах ± 3 °С от заданной.

Система увлажнения воздуха обеспечивает необходимую влажность воздуха путем разбрызгивания воды. Относительная влажность воздуха в теплице поддерживается в зависимости от различных параметров: суммарной солнечной радиации, освещенности, температуры воздуха, влажности воздуха, температуры листа и от комбинации этих факторов. Значение относительной влажности, которую следует поддерживать в теплице, зависит от вида выращиваемого растения, фазы его развития и может находиться в пределах от 45 до 90 %.

Система увлажнения почвы должна обеспечивать равномерность увлажнения при экономном расходовании воды. Неравномерность увлажнения не должна превышать ± 5 % от заданной. Поэтому полив осуществляется периодически с интервалом во времени

20–60 мин. В зимнее время температура поливной воды должна быть не ниже +15 °С.

Для подкормки растений минеральными удобрениями используют систему полива: концентрированный раствор удобрения добавляют в поливочную воду и вносят в почву. Концентрация раствора минеральных удобрений должна выдерживаться с отклонением не более 5 % от заданной.

Подкормку растений углекислым газом проводят в зависимости от интенсивности процесса фотосинтеза в растениях. Концентрацию углекислого газа в воздухе поддерживают в зависимости от уровня поступающей солнечной радиации или источников искусственного освещения. Она должна быть не менее 0,15–0,20 %.

Концентрацию CO_2 в воздухе регулируют как изменением количества подаваемого газа, так и изменением подачи газогенератора.

В теплицах с дополнительным искусственным освещением и облучением время досветки и дозу облучения регулируют изменением высоты подвески ламп и светильников по заданной программе, включением и отключением освещения.

Теплицу, как объект автоматизации, следует рассматривать относительно отдельных выходных величин и управляющих воздействий, а также возмущений, действующих на отклонение данной выходной величины по каждому каналу регулировки. Учитывая разнообразие теплиц, выращиваемых в них растений и способов создания необходимых параметров микроклимата, наиболее достоверными источниками информации для описания динамики параметров теплицы нужно считать данные, полученные экспериментально. В большинстве случаев процессы отопления, вентиляции, увлажнения воздуха в первом приближении могут быть описаны аperiodическим звеном первого порядка с звеном запаздывания. Коэффициент передачи, постоянную времени и время запаздывания по каждому каналу регулирования получают из разгонной характеристики объекта управления.

2. Автоматическое управление температурой и вентиляцией в сооружениях защищенного грунта

В основе управления микроклиматом в теплицах лежит контроль и управление температурой и влажностью воздуха и концентрацией в нем углекислого газа CO_2 .

Все данные о состоянии и динамике микроклимата в теплицах периодически передаются из управляющего контроллера в персональный компьютер диспетчера. Соединение производится двухпроводной линией по интерфейсу RS-485. Программа для персонального компьютера обеспечивает текущее ежеминутное наблюдение всех параметров, сигнализацию о выходе параметра за установленные допуски и архивирование данных для последующего просмотра и анализа. Управляющий контроллер определяет средние значения температуры и влажности воздуха за сутки и сохраняет эти данные в своей памяти.

Микроклимат теплиц программируется на сутки либо с персонального компьютера диспетчера, либо с пульта управляющего контроллера. В программе контроллера на сутки задаются дневные и ночные режимы микроклимата и динамика переходов между ними. Заданный в программе режим микроклимата может автоматически корректироваться в зависимости от интенсивности солнечного излучения. В процессе работы контроллер согласно заданной программе с учетом внешних условий (солнечного излучения, внешней температуры, скорости и направления ветра) производит согласованное регулирование температуры теплоносителя в контурах обогрева, управляет положением форточной вентиляции, защитного экрана, режимами работы воздушными вентиляторами и т. д. Управление ИМ производится через отдельный блок релейной коммутации (БРК).

В процессе эксплуатации для каждой конкретной теплицы должна быть возможность оптимизации качества регулирования микроклимата путем корректировки с помощью набора регулировочных параметров управления.

Структурная схема комплекса приведена на рис. 2.30. Управление комплексом производится электронным блоком, который включает в себя непосредственно управляющий контроллер, интерфейсную часть и органы индикации и управления. В интерфейсной части находятся схемы измерения для аналоговых и дискретных датчиков.

В отдельном блоке релейной коммутации расположены релейные ключи для автоматического и ручного управления исполнительными механизмами: насосами, смесительными клапанами, приводами форточной вентиляции, редукторами и т. д., а также

светодиодные индикаторы для отображения режимов работы исполнительных механизмов.

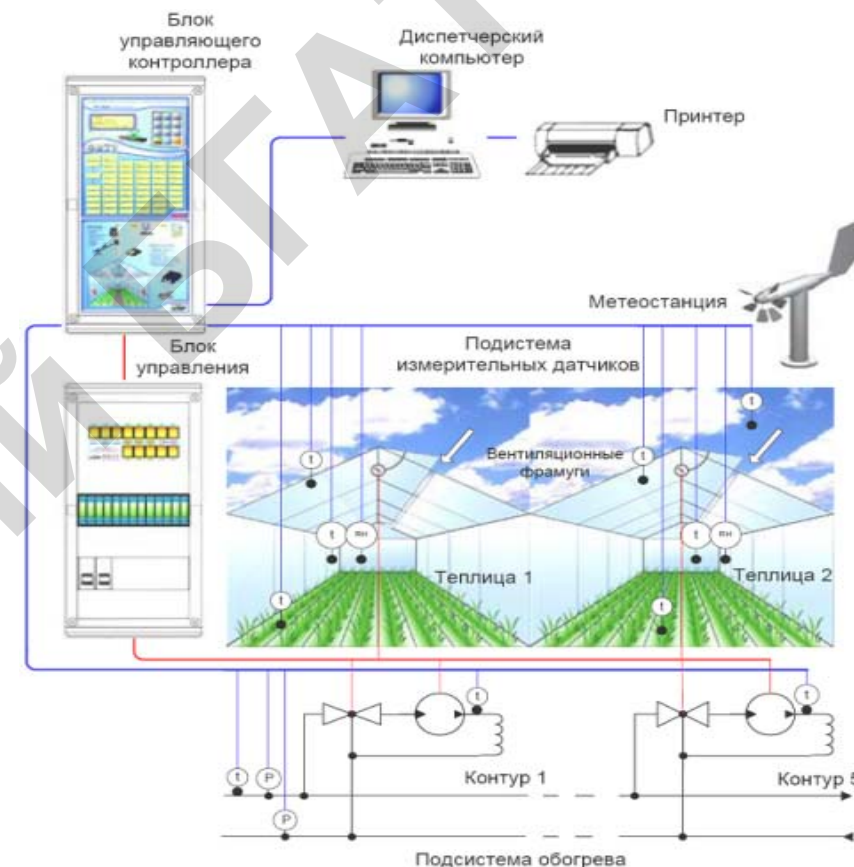


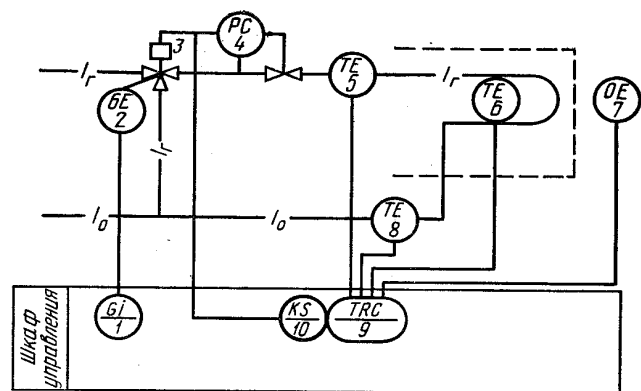
Рис. 2.30. Структурная схема комплекса (вариант 2-х теплиц)

Измерение температуры и влажности воздуха в теплицах производится соответственно как аналоговыми датчиками температуры AD592, так и с помощью однопроводных цифровых термометров ML20 и высокоточных датчиков относительной влажности фирмы Honeywell HIN 3610, помещенных в общую вентилируемую ячейку для повышения точности и стабильности измерений. Измерения температуры стекла, почвы, внешнего воздуха и теплоносителя в контурах обогрева производится аналогично как аналоговыми

датчиками температуры AD592, так и с помощью однопроводных цифровых термометров. Концентрация CO_2 в воздухе производится датчиками Sense IP50.

Для регулирования различных параметров в теплицах применяют непрерывное и позиционное регулирование. Например, для поддержания температуры воздуха в теплице применяют пропорциональное или пропорционально-интегральное регулирование для водотрубных систем отопления и позиционное для калориферного и электрического обогрева.

Функционально-технологическая схема регулирования температуры при водотрубном обогреве показана на рис. 2.31, а.



Примечание: Q - солнечная радиация
а

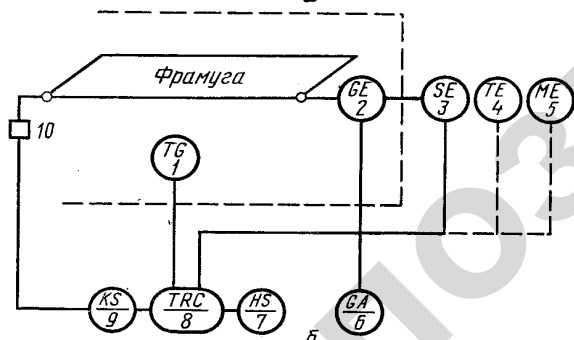


Рис. 2.31. Функционально-технологические схемы:
а – регулирования температуры в теплице;
б – управления естественной вентиляцией в теплице

В системе регулирования используются преобразователи температуры воздуха 6, температуры горячей воды 5 и температуры воды в обратном трубопроводе 8 и преобразователь освещенности 7. Регулятор 9 управляет при помощи исполнительного механизма 3 трехходовым клапаном, изменяя количество теплоносителя, подаваемого в систему. Регулятор давления 4 стабилизирует давление воды в трубах. Реле времени 10 задает температуру в ночное и в дневное время суток. Для контроля положения вентиля используются первичный преобразователь положения 2 и вторичный прибор 1. Предусматривается регистрация температуры в теплице.

Первичные преобразователи температуры монтируют внутри тепличного блока. Электронный регулятор формирует управляющий сигнал, который воздействует на электрический исполнительный механизм, изменяющий положение трехходового клапана. Регулятор совместно с исполнительным механизмом формирует ПИ-закон регулирования, а с внешним дифференциатором (блоком предварения) – ПИД-закон регулирования.

Автоматическое управление вентиляцией. Системы вентиляции предназначены для отвода теплоты из теплицы путем замещения воздуха теплицы воздухом извне. Вентиляция осуществляется через фрамуги, расположенные на кровле у конька крыши, или при помощи осевых вентиляторов. При естественной вентиляции фрамуги открывают с обеих сторон конька крыши или только с одной подветренной стороны при большом ветре. Степень открытия фрамуг может иметь несколько промежуточных положений. Принудительная вентиляция при помощи вентиляторов должна иметь возможность регулировать подачу воздуха путем изменения частоты вращения электродвигателя в зависимости от температуры воздуха.

Функционально-технологическая схема управления естественной вентиляцией показана на рис. 2.31, б. Вентиляция осуществляется путем открывания фрамуг исполнительным механизмом 5. Степень открывания фрамуг может составлять 40, 60, 80 и 100 % от полного. Первичный преобразователь 3 контролирует направление и скорость ветра, которые учитываются при выборе степени открытия фрамуг. Реле времени 9 изменяет программу

регулирования температуры в дневное и в ночное время. Контроль степени открытия фрамуг осуществляется преобразователем 2 дистанционного указателя положения фрамуг 6. Регулятор 8 совместно с исполнительным механизмом формирует ПИ-закон регулирования. Первичный преобразователь, регулятор и исполнительный механизм того же типа, что и в системе регулирования отопления. Система автоматического регулирования обеспечивает поддержание температуры с отклонением не более 1 % от заданной.

В системе регулирования температуры почвы преобразователь температуры устанавливается на трубопроводе подачи горячей воды, а регулирующее воздействие от двухпозиционного регулятора передается на смесительный клапан. Температура почвы поддерживается в пределах $\pm 3^\circ\text{C}$ от заданного значения в диапазоне от 5 до 30°C .

3. Автоматическое поддержание влажности почвы

К наиболее распространенным способам полива относятся поверхностный (по бороздам или затоплением), дождевание и подпочвенное орошение. Выбор способа полива зависит от конкретных условий. Наиболее труднодоступным для автоматизации является поверхностный полив. Автоматизация полива в сочетании с механизацией преследует цель повысить производительность труда и улучшить его качество.

Не вся вода, накапливаемая в почве, может быть использована растениями. Когда сила, с которой корни втягивают воду, становится равной силе связи воды почвой, снабжение растений водой затрудняется. Растения в этом случае начинают подавать признаки устойчивого увядания. Очевидно, такого иссушения почвы допускать нельзя. Излишнее же количество воды вызывает не только ее перерасход, но и нарушает воздушный режим почвы. Следовательно, количество влаги в почве должно находиться в определенных пределах.

На рис. 2.32 показано устройство для регулирования влажности почвы при подпочвенном орошении.

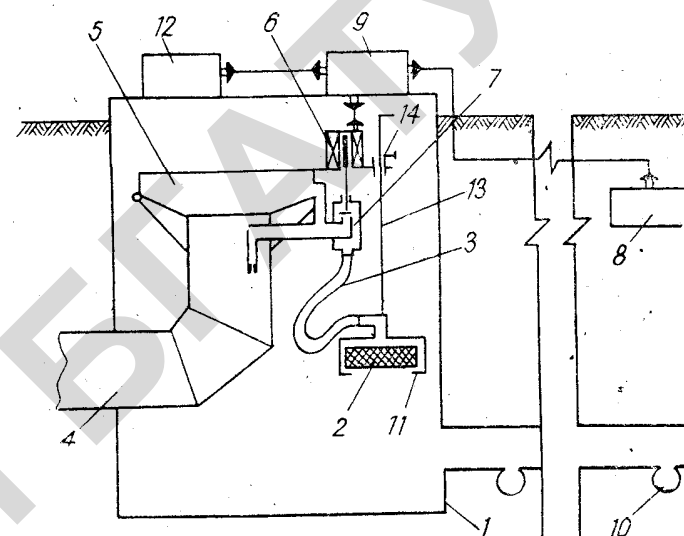


Рис. 2.32. Схема устройства автоматического регулирования влажности почвы

При заданных влажности почвы и уровне воды в колодце 1 поплавковым клапаном 2 закрыт шланг 3 и впускной патрубок 4 перекрыт мембранным запорным органом 5, надмембранная полость которого заполнена водой. При этом электромагнитным клапаном 6 тоже закрыт слив воды из надмембранной полости в камеру регулирования 7.

При снижении уровня воды в колодце 1 поплавковый клапан 2 открывается, однако запорный орган 5 остается закрытым, так как сигнал об уменьшении влажности не поступал, электромагнитный клапан 6 закрыт и вода из надмембранной полости запорного органа 5 не сливается. При уменьшении влажности сигналом с датчика 8 через усилитель 9 открывается электромагнитный клапан 6. В результате происходит слив воды из надмембранной полости запорного органа 5 через камеру регулирования 7, гибкий шланг 3 и открытый поплавковый клапан 2 в колодец 1. При этом запорный орган поднимается под действием напора воды в патрубке 4. Вода из впускного патрубка попадает в приемный колодец 1 и дренаж-увлажнители 10.

При повышении уровня воды в колодце 1 возрастает пьезометрический напор в дренах-увлажнителях 10, что приводит к повышению

уровня грунтовых вод. Благодаря наличию поплавковой камеры 11 с поплавковым клапаном 2, которая гидравлически связана с электромагнитным клапаном 6 и запорным органом и представляет собой регулятор напора, ограничивается пьезометрический напор в дренах-увлажнителях посредством поддержания заданного уровня в колодце 1 и зависящий от него уровень грунтовых вод. Уровень в колодце задается перемещением по вертикали поплавковой камеры 11, закрепленной на стержне 13, и фиксацией последнего стопорным винтом 14. При достижении грунтовыми водами заданного уровня он будет поддерживаться, пока влажность почвы не достигнет заданной за счет капиллярного подпитывания. Тогда с датчика 8 поступает сигнал и подача воды прекращается. Независимо от уровня воды в приемном колодце 1 патрубок 4 будет закрыт, пока влажность снова не снизится. Благодаря наличию дождемера 12 устройство реагирует на осадки и прекращает подачу воды при их выпадении в достаточном количестве.

Применение устройства позволяет обеспечить высокую точность регулирования и поддерживать правильный баланс влажности в почве.

Применяемые в практике полива современные системы автоматизации относятся к системам программного управления. Они базируются на современной технологии полива, в основе которой лежат эмпирические методы. Такие методы используют наряду с данными биологической науки о роли воды в жизни растений орошаемого земледелия и результаты производственных экспериментов по орошению определенной культуры в конкретных условиях. Все это в совокупности позволяет устанавливать поливной режим, который складывается из числа и сроков поливов, значений оросительных и поливных норм. Заданный поливной режим является исходной программой автоматизации, которая, помимо повышения производительности труда, должна обеспечивать в определенные сроки заданные поливные и оросительные нормы.

На рис. 2.33 показана структурная схема при надпочвенном поддержании заданной влажности в теплице.

Автоматизированная система управления влажностными параметрами представляет собой комплекс автоматизированного контроля и управления влажностным режимом теплицы и является программно-технической системой для достоверного измерения состояния климата в теплице и расчета на этой основе управляющих

воздействий на исполнительные механизмы инженерного оборудования теплицы.

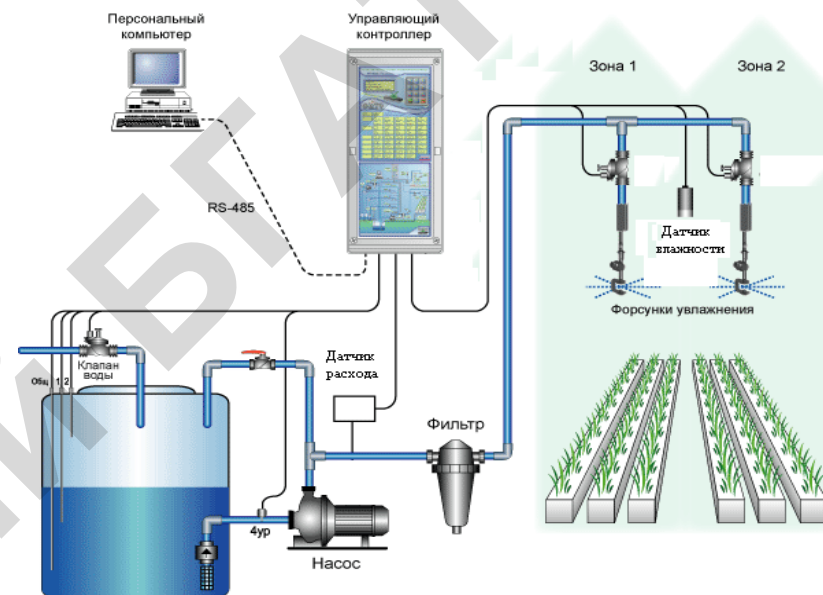


Рис. 2.33. Структурная схема САУ влажностными параметрами теплицы

Система выполняет следующие функции:

- задание суточного цикла влажности и поддержание необходимого климатического режима;
- контроль расхода воды в канале распыления;
- представление технологической информации в удобном для оперативного персонала виде;
- повышение производительности теплицы за счет жесткого автоматического поддержания требуемых параметров;

Архитектура данной системы имеет два уровня: нижний – подсистема управления (датчики, микроконтроллер, исполнительные механизмы и оборудование) и верхний – пост оператора (персональный компьютер). Связь между уровнями осуществляется по интерфейсу RS-485. Реализация алгоритмов управления осуществляется с помощью автоматизированного модуля верхнего уровня (например, SCADA-система TRACE MODE), который также отвечает за интерфейс на посту оператора.

Вопросы для самоконтроля

1. Какими параметрами в сооружении защищенного грунта управляет автоматическая система?
2. Как и когда осуществляется вентиляция сооружений защищенного грунта?
3. Какую функцию выполняет поплавковый клапан в устройстве автоматического регулирования влажности почвы?
4. Какое устройство при автоматическом регулировании влажности почвы контролирует наличие внешних осадков?
5. Назовите основные элементы системы автоматического поддержания заданной концентрации жидких удобрений в поливной воде.

МАТЕРИАЛЫ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторная работа № 7

«Исследование трансформаторных датчиков»

Цель работы: ознакомиться с конструкцией и принципом действия трансформаторных датчиков.

Задачи работы.

1. Ознакомиться с конструкцией контактных и бесконтактных сельсинов.
2. Провести исследование сельсинов в трансформаторном и индикаторном режимах.

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматизации производственных процессов», с. 75–83.

Лабораторная работа № 8

«Исследование датчиков частоты вращения»

Цель работы: изучить принцип действия, конструкции и область применения тахогенераторов постоянного тока; изучить принцип действия импульсного датчика частоты вращения; изучить схему цифрового тахометра; определить приведенную погрешность тахогенератора постоянного тока.

Задачи работы.

1. Ознакомиться с мостовыми и дифференциальными измерительными схемами.
2. Собрать мостовую измерительную схему с тензодатчиками (по заданию преподавателя).
3. Снять и построить зависимости для собранной схемы.
4. Собрать дифференциальную схему включения тензодатчиков на переменном токе.
5. Изучить принцип действия преобразователя «напряжение – частота».

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматизации производственных процессов», с. 84–93.

Лабораторная работа № 9

«Исследование САР температуры в сушильной камере»

Цель работы: изучить принцип действия релейной системы автоматического регулирования температуры (САРТ) при помощи электронного автоматического потенциометра КСП-4; определить экспериментально переходную функцию САРТ и показатели качества регулирования.

Задачи работы.

1. Изучить принцип действия релейной системы САРТ.
2. Составить принципиальную и функциональную схемы САРТ.
3. Изучить показатели качества процесса регулирования.
4. Определить экспериментально переходную характеристику САРТ и показатели качества регулирования температуры.

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматизации производственных процессов», с. 94–102.

Лабораторная работа № 10

«Исследование статической и астатической систем регулирования уровня жидкости»

Цель работы: изучить автоматическую систему статического и астатического регулирования уровня воды в водонапорном баке (модель); экспериментально снять динамические характеристики автоматических систем статического и астатического регулирования;

определить абсолютную и относительную статические ошибки, величину неравномерности системы.

Задачи работы.

1. Ознакомиться с принципом действия и областью применения емкостных датчиков.
2. Снять зависимость напряжения на выходе емкостного датчика от частоты питающего напряжения.
3. Для снятия зависимости $I = f(h)$ необходимо.
4. Определить чувствительность датчика уровня.

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматики и автоматизация производственных процессов», с. 103–109.

Лабораторная работа № 11

«Настройка электрической коммутационной аппаратуры»

Цель работы: изучить устройство и принцип действия кнопок управления, переключателей, автоматических выключателя, реле и магнитных пускателей; изучить принцип создания принципиальных схем систем управления технологическими процессами.

Задачи работы.

1. Собрать схему ненагруженного потенциометра.
2. Снять статическую характеристику ненагруженного прямого и кругового потенциометров.
3. Снять статические характеристики для нагруженной схемы прямого и углового потенциометров.
4. Построить статические характеристики.
5. Определить статическую характеристику расчетным путем и сравнить ее с экспериментальной статической характеристикой при ненагруженной схеме.
6. На основании статической характеристики определить статическую чувствительность потенциометра.
7. Определить относительную статическую погрешность измерений.
8. Указать, к какому типу динамического звена относится потенциометр, написать его передаточную функцию.

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматики и автоматизация производственных процессов», с. 110–121.

Лабораторная работа № 12

«Изучение устройства и работы измерителя-регулятора МТ2»

Цель работы: изучить технические характеристики, устройство измерителя-регулятора МТ2 и освоить приемы использования его на практике. Исследовать работу измерителя-регулятора МТ2.

Задачи работы.

1. Изучить конструкцию и принцип действия измерителя-регулятора МТ-2.

Методика выполнения работы изложена в практикуме «Средства автоматики и автоматизация производственных процессов», с. 131–148.

МАТЕРИАЛЫ К УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ ПО ТЕМЕ «РАЗРАБОТКА СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА»

Разноуровневые задания для контроля знаний по модулю 2

Билет для разноуровневого контроля знаний по модулю имеет следующую структуру:

уровень I (репродуктивный): компьютерное тестирование (10 тестовых заданий). Правильный ответ оценивается в 0,5 балла.

уровень II (продуктивный): 2 вопроса. В зависимости от полноты и качества ответа студента оценка равняется 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 балла за каждый вопрос.

уровень III (творческий): 1 вопрос повышенной трудности. Максимальная оценка – 3 балла.

Уровень I (репродуктивный)

1. Какое из перечисленных устройств при автоматическом регулировании глубины пахоты по отклонению является воспринимающим органом:

- 1) опорное колесо;

- 2) гидрозолотник;
- 3) силовой гидроцилиндр;
- 4) кронштейн?

2. Какое из перечисленных устройств при автоматическом регулировании глубины пахоты по отклонению является сравнивающим устройством:

- 1) опорное колесо;
- 2) гидрозолотник с гидроцилиндром;
- 3) гидроцилиндр;
- 4) кронштейн с пружиной?

3. Какое из перечисленных устройств при автоматическом регулировании глубины пахоты по отклонению является исполнительным механизмом:

- 1) опорное колесо;
- 2) гидрозолотник с гидроцилиндром;
- 3) пружина;
- 4) кронштейн с пружиной?

4. Какое из перечисленных устройств при силовом автоматическом регулировании глубины пахоты является воспринимающим органом:

- 1) золотниковый гидрораспределитель;
- 2) гидроцилиндр;
- 3) качающаяся планка с ползунком;
- 4) пружина?

5. Какое из перечисленных устройств при силовом автоматическом регулировании глубины пахоты является сравнивающим устройством:

- 1) золотниковый гидрораспределитель;
- 2) гидроцилиндр;
- 3) качающаяся планка с ползунком;
- 4) пружина и винт?

6. Что является управляющим воздействием на САР глубины хода сошников посевного агрегата:

- 1) скорость движения агрегата;
- 2) давление на грунт;
- 3) твердость почвы;
- 4) давление масла в системе?

7. Какое из перечисленных устройств автоматического регулятора глубины хода сошников посевного агрегата является исполнительным механизмом:

- 1) гидрораспределитель с гидроцилиндром;
- 2) вихревой дроссель;
- 3) регулятор давления;
- 4) обратный клапан?

8. Какое из перечисленных устройств автоматического регулятора глубины хода сошников посевного агрегата увеличивает давление подпора масла в гидроцилиндре при увеличении скорости:

- 1) гидрораспределитель;
- 2) вихревой дроссель;
- 3) регулятор давления;
- 4) гидроцилиндр?

9. Какое из перечисленных устройств автоматического регулятора глубины хода сошников посевного агрегата регулирует давление подпора масла в гидроцилиндре:

- 1) гидрораспределитель;
- 2) вихревой дроссель;
- 3) регулятор давления;
- 4) обратный клапан?

10. Какое из перечисленных устройств автоматического регулятора глубины хода сошников посевного агрегата оказывает непосредственное воздействие на пружины сошника:

- 1) обратный клапан;
- 2) гидроцилиндр;
- 3) вихревой дроссель;
- 4) регулятор давления?

11. Какое из перечисленных устройств автоматического регулятора глубины хода сошников посевного агрегата позволяет сошникам плавно опускаться на почву:

- 1) гидроцилиндр;
- 2) вихревой дроссель;
- 3) регулятор давления;
- 4) дроссель одностороннего действия?

12. Какое из перечисленных устройств при автоматическом регулировании высоты среза кормоуборочного комбайна является воспринимающим органом:

- 1) золотниковый гидрозолотник;
- 2) гидроцилиндр;
- 3) копир;
- 4) демпферная пружина?

13. Какое из перечисленных устройств при автоматическом регулировании высоты среза кормоуборочного комбайна является исполнительным устройством:

- 1) гидрозолотник;
- 2) гидроцилиндр;
- 3) копир;
- 4) демпферная пружина?

14. На сколько увеличивается производительность кормоуборочного комбайна при применении автоматического регулирования высоты среза:

- 1) 2,0 %;
- 2) 4,5 %;
- 3) 7,2 %;
- 4) 10,0 %?

15. Как замыкается цепь питания электрогидравлического усилителя механизма поворота трактора при автоматическом вождении пахатного агрегата с четырьмя и более корпусами:

- 1) воздействием каретки на переключатель;
- 2) поворотом навески трактора;
- 3) поперечной балкой;

4) подвижным роликом?

16. Какое из перечисленных устройств при автоматическом вождении пахатного агрегата с четырьмя и более корпусами является воспринимающим органом:

- 1) поперечная балка;
- 2) копир и полевая доска;
- 3) только копир;
- 4) подвижный ролик?

17. Какое из перечисленных устройств при автоматическом вождении пахатного агрегата с тремя и менее корпусами является воспринимающим органом:

- 1) поперечная балка;
- 2) копир;
- 3) гидрозолотник;
- 4) полевая доска?

18. Какую функцию выполняет электронный управляющий блок электронно-гидравлической автоматической системы вождения самоходного зерноуборочного комбайна:

- 1) принимает сигнал от датчика;
- 2) принимает сигнал от датчика обратной связи;
- 3) формирует сигнал управления на электрогидравлический распределитель;
- 4) выводит информацию на дисплей?

19. Какой из перечисленных датчиков не применяется при использовании электронно-гидравлической автоматической системы вождения самоходного зерноуборочного комбайна:

- 1) тензометрический;
- 2) фотоэлектрический;
- 3) потенциометрический;
- 4) термомеханический?

20. Каким устройством осуществляется перевод с ручного управления на автоматическое автоматической системы вождения самоходного зерноуборочного комбайна:

- 1) электрогидравлическим краном;
- 2) электронным управляющим блоком;
- 3) электрогидрораспределителем ручного управления;
- 4) датчиком бровки хлебостоя?

21. Какое из перечисленных устройств автоматической системы вождения самоходного зерноуборочного комбайна является исполнительным механизмом:

- 1) электрогидрораспределитель с гидроцилиндром;
- 2) электрогидравлический кран;
- 3) электронный управляющий блок;
- 4) датчик бровки хлебостоя?

22. Что является сравнивающим устройством в электрогидравлическом автомате вождения самоходного свеклоуборочного комбайна:

- 1) копир;
- 2) рычажная связь;
- 3) контактная головка;
- 4) электрогидрораспределитель?

23. Что является основной функцией контактной головки электрогидравлического автомата вождения самоходного свеклоуборочного комбайна:

- 1) изменение скорости движения;
- 2) обеспечение отключения электромагнитного золотника по углу поворота колес;
- 3) изменение давления масла в системе;
- 4) регулирование угла поворота?

24. Какую функцию выполняет поворотный сектор контактной головки электрогидравлического автомата вождения самоходного свеклоуборочного комбайна:

- 1) регулирует угол поворота;
- 2) изменяет давление масла в системе;
- 3) воздействует на ведущие колеса;
- 4) замыкает электроконтакты?

25. Какую функцию выполняет жесткая обратная связь электрогидравлического автомата вождения самоходного свеклоуборочного комбайна:

- 1) размыкает электрическую цепь;
- 2) вызывает остановку комбайна;
- 3) изменяет скорость движения;
- 4) уменьшает пробуксовку колес?

26. Что является воспринимающим органом автоматической системы направления движения рабочих органов культиватора по рядкам при обработке молодых растений:

- 1) усилитель;
- 2) преобразователи-щупы;
- 3) электромеханический преобразователь;
- 4) гидроцилиндр?

27. Принцип действия электроконтактных щупов автоматической системы направления движения рабочих органов культиватора по рядкам при обработке молодых растений основан на:

- 1) сопротивлении качению колес;
- 2) электропроводности растений;
- 3) силе трения;
- 4) глубине обработки.

28. Что является исполнительным механизмом в системе автоматического регулирования частоты вращения двигателя внутреннего сгорания:

- 1) рычажная система;
- 2) преобразователь скорости вращения;
- 3) гидроцилиндр;
- 4) гидравлический золотниковый усилитель?

29. Что является задающим устройством в системе автоматического регулирования частоты вращения двигателя внутреннего сгорания:

- 1) рычажная система с рычагом;
- 2) преобразователь скорости вращения;
- 3) гидроцилиндр;
- 4) рейка топливного насоса?

30. Что является воспринимающим органом в автоматическом регуляторе загрузки зерноуборочного комбайна по толщине слоя хлебной массы:

- 1) преобразователь толщины слоя хлебной массы;
- 2) золотниковый гидрораспределитель;
- 3) направляющий ролик;
- 4) нижняя ведущая ветвь транспортера?

31. Каким образом достигается изменение количества поступающей хлебной массы при использовании автоматического регулятора загрузки молотилки комбайна:

- 1) изменением количества подаваемого топлива;
- 2) регулировкой молотильного барабана;
- 3) регулировкой режущего аппарата;
- 4) изменением поступательной скорости движения?

32. Из приведенных уравнений укажите уравнение передаточной функции автоматического регулятора загрузки молотилки зерноуборочного комбайна:

- 1) $W = kx + 1$;
- 2) $T \frac{dy}{dt} + y = kx$;
- 3) $T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$;
- 4) $y = \int_0^t x dt$;
- 5) $W_0(s) = \frac{k_0}{T_0 s + 1} e^{-s\tau}$.

33. Из приведенных уравнений укажите уравнение описывающее работу воспринимающего элемента автоматического регулятора загрузки молотилки комбайна:

- 1) $W = kx$;
- 2) $T \frac{dy}{dt} + y = kx$;
- 3) $T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$;
- 4) $y = \int_0^t x dt$;

34. На сколько увеличивается производительность зерноуборочного комбайна при применении адаптивных автоматических систем?

- 1) 20 %;
- 2) 40 %;

- 3) 50 %;
- 4) 10 %.

35. Для автоматического контроля загрузки уровня зерна в ящиках посевных агрегатов применяется:

- 1) фотодатчик;
- 2) мерная линейка;
- 3) датчик Холла;
- 4) емкостный датчик.

36. При автоматическом контроле загрузки уровня зерна в ящиках посевных агрегатов вспышки света генерируют в фотопреобразователе:

- 1) импульсы напряжения;
- 2) импульсы тока;
- 3) изменение напряжения;
- 4) изменение сопротивления.

37. После прекращения потока семян или заполнения ящика при автоматическом контроле загрузки уровня зерна в ящиках посевных агрегатов конденсатор:

- 1) отключается;
- 2) заряжается;
- 3) разряжается;
- 4) включается.

38. После заполнения семенного ящика при автоматическом контроле загрузки уровня зерна в ящиках посевных агрегатов предупреждает об окончании технологической операции:

- 1) осветительная сигнализация;
- 2) звуковой сигнал;
- 3) габаритные огни;
- 4) опускание сошников на почву.

39. Принцип работы устройства контроля нормы высева зерновой сеялки основан на том, что:

- 1) норма высева пропорциональна массе высеваемых семян на единицу площади;
- 2) норма высева пропорциональна массе высеваемых семян за единицу времени;

3) норма высева пропорциональна числу семян, высеваемых за один оборот колеса сеялки;

4) норма высева пропорциональна числу семян, высеваемых за единицу времени.

40. Каким устройством при контроле нормы высева семян производится усреднение показаний с учетом трех предшествующих измерений:

- 1) счетчиком семян;
- 2) задатчиком;
- 3) дешифратором;
- 4) микропроцессором?

41. Работа датчика определения влажности зерна при хранении основана на явлении:

- 1) электропроводности;
- 2) электромагнитной индукции;
- 3) электромагнетизма;
- 4) ультразвукового воздействия.

42. С помощью какого датчика осуществляется автоматическая идентификация животного?

- 1) индуктивного;
- 2) механического;
- 3) потенциометрического;
- 4) радиотехнического.

43. При полной автоматизации процесса раздачи корма животным дозаторы работают:

- 1) по разомкнутому циклу;
- 2) по замкнутому циклу;
- 3) по непрерывному циклу;
- 4) не работают.

44. Чем измеряется давление в доильной установке:

- 1) манометром;
- 2) вакуумметром;
- 3) психометром;
- 4) потенциометром?

45. При попарном доении долей вымени соотношение тактов сосания и сжатия при стабильной частоте 60 пульсаций в минуту составляет:

- 1) 60:40;
- 2) 50:50;
- 3) 70:30;
- 4) 40:60?

46. Что из перечисленного не является основными возмущениями в автоматических охладителях молока:

- 1) колебания температуры хладоносителя;
- 2) изменение давления хладоносителя;
- 3) расход молока;
- 4) температура молока?

47. Какая из перечисленных задач не является основной операцией работы автоматического инкубатора:

- 1) поддержание температуры в рабочей зоне по заданному графику;
- 2) автоматическое включение и выключение питания печи по сигналу от датчика;
- 3) автоматическое открытие дверей;
- 4) автоматическое управление увлажнением?

48. Какой из перечисленных показателей не является основным при работе сооружения защищенного грунта:

- 1) температура воздуха в теплице;
- 2) температура почвы в теплице;
- 3) температура поливной воды;
- 4) температура окружающего воздуха?

49. Чем устанавливается уровень воды в колодце при автоматическом поддержании заданной влажности почвы:

- 1) высотой установки поплавкового клапана;
- 2) положением мембранного клапана;
- 3) показаниями дождемера;
- 4) датчиком влажности?

50. Вентиляция сооружения защищенного грунта осуществляется путем:

- 1) открытия фрамуг и включением вентилятора;
- 2) отключением обогрева;
- 3) изменением влажности;
- 4) отключением вентилятора.

51. Каким образом осуществляется изменение соотношения расходов удобрений и воды в автоматической системе поддержания заданной концентрации жидких удобрений в поливной воде:

- 1) перемещением вертушки в суженную часть трубопровода;
- 2) изменением напора воды в трубопроводе;
- 3) перемещением муфты;
- 4) полным закрытием заслонки?

52. Какие из перечисленных следующих функций не выполняет автоматическая система надпочвенного увлажнения почвы:

- 1) гадание суточного цикла влажности и поддержание необходимого климатического режима;
- 2) контроль расхода воды в канале распыления;
- 3) представление технологической информации в удобном для оператора виде;
- 4) включение тепловентилятора.

Уровень II (продуктивный)

1. Изобразить принципиальную схему автоматического регулирования глубины пахоты по отклонению.

2. Изобразить принципиальную схему автоматического силового регулирования глубины пахоты.

3. Изобразить принципиальную схему автоматического регулирования глубины заделки семян.

4. Изобразить принципиальную схему автоматического регулирования положения режущих аппаратов уборочных машин.

5. Изобразить принципиальную схему автоматического вождения пахотных агрегатов.

6. Изобразить принципиальную схему автоматического вождения самоходных зерноуборочных комбайнов.

7. Изобразить принципиальную схему автоматического вождения самоходных свеклоуборочных машин.

8. Изобразить принципиальную схему автоматического регулирования загрузки молотильного барабана зерноуборочных комбайнов.

9. Изобразить принципиальную схему автоматизации управления нагрузочными режимами двигателя.

10. Изобразить принципиальную схему автоматизации послеуборочной сушки зерна.

11. Изобразить принципиальную схему автоматизации послеуборочной обработки льна.

12. Изобразить принципиальную схему автоматизированного агрегата для сушки кормов.

13. Изобразить принципиальную схему автоматизированного агрегата измельчения кормов.

14. Изобразить принципиальную схему автоматизированного агрегата гранулирования и брикетирования кормов.

15. Изобразить принципиальную схему автоматизированного агрегата автоматического контроля и учета движения кормов.

16. Изобразить принципиальную схему автоматической установки для доения коров и первичной обработки молока.

17. Изобразить принципиальную схему автоматической установки для первичной обработки молока.

18. Изобразить принципиальную схему автоматизации установок очистки, пастеризации и охлаждения молока.

19. Объем автоматизации и основные технические решения.

20. Изобразить принципиальную схему автоматического поддержания влажности почвы.

21. Изобразить принципиальную схему автоматического управления температурой в сооружениях защищенного грунта.

22. Изобразить принципиальную схему автоматического управления вентиляцией сооружений защищенного грунта.

23. Изобразить функциональную схему автоматического регулирования глубины пахоты по отклонению.

24. Изобразить функциональную схему автоматического силового регулирования глубины пахоты.

25. Изобразить функциональную схему автоматического регулирования глубины заделки семян.

26. Изобразить функциональную схему автоматического регулирования положения режущих аппаратов уборочных машин.

27. Изобразить функциональную схему автоматического вождения пахотных агрегатов.

28. Изобразить функциональную схему автоматического вождения самоходных зерноуборочных комбайнов.

29. Изобразить функциональную схему автоматического вождения самоходных свеклоуборочных машин.

30. Изобразить функциональную схему автоматического регулирования загрузки молотилки зерноуборочных комбайнов.

31. Изобразить функциональную схему автоматизации управления нагрузочными режимами ДВС.

32. Изобразить функциональную схему автоматизации послеуборочной сушки зерна.

33. Изобразить функциональную схему автоматизации послеуборочной обработки льна.

34. Изобразить функциональную схему автоматизированного агрегата для сушки кормов.

35. Изобразить функциональную схему автоматизированного агрегата измельчения кормов.

36. Изобразить функциональную схему автоматизированного агрегата гранулирования и брикетирования кормов.

37. Изобразить функциональную схему автоматизированного агрегата автоматического контроля и учета движения кормов.

38. Изобразить функциональную схему автоматической установки для доения коров и первичной обработки молока.

39. Изобразить функциональную схему автоматической установки для первичной обработки молока.

40. Изобразить функциональную схему автоматического поддержания влажности почвы.

41. Изобразить функциональную схему автоматического управления температурой в сооружениях защищенного грунта.

42. Изобразить функциональную схему автоматического управления вентиляцией сооружений защищенного грунта.

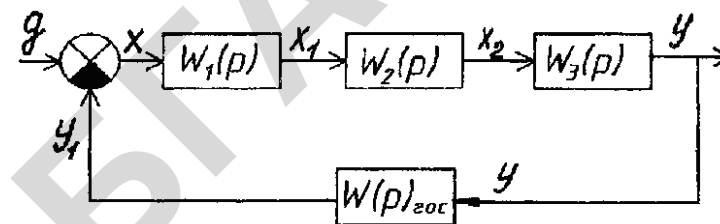
Уровень III (творческий)

Разработать схему автоматизации (модернизации с элементами автоматики) технологического процесса, выполняемого сельскохозяйственной машиной.

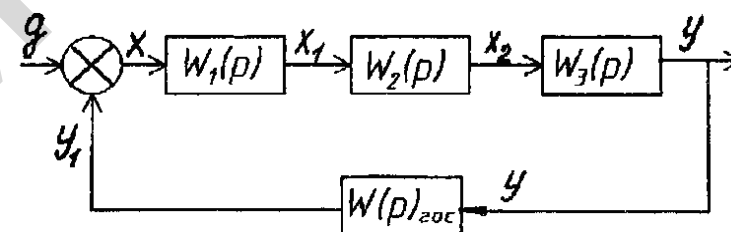
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Варианты схем для УСРС

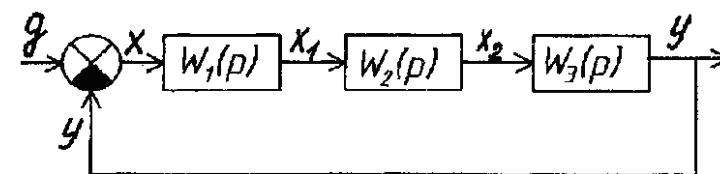
Варианты 1, 10



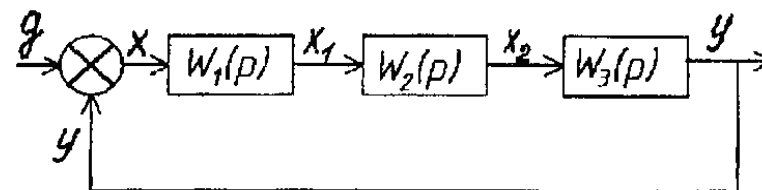
Вариант 2



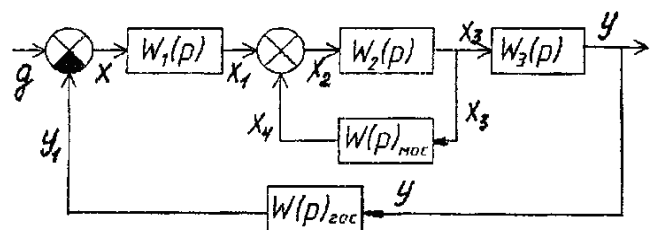
Варианты 3, 9



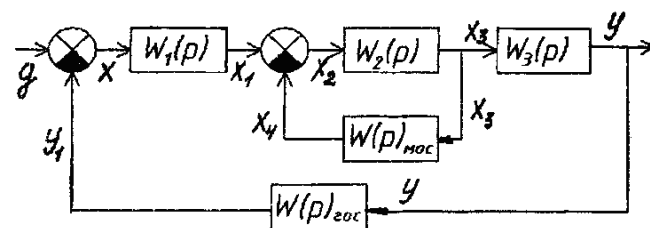
Вариант 4



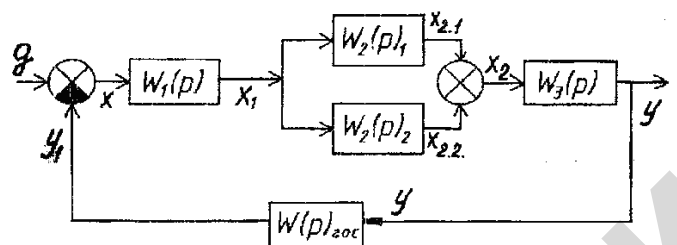
Вариант 5



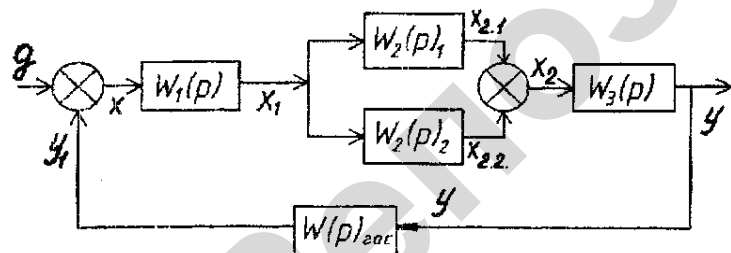
Вариант 6



Вариант 7



Вариант 8



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Дифференциальные уравнения звеньев САР для УСРС

Пред- послед- няя цифра шифра	Звенья САР для вариантов 1 и 2 структурной схемы			
	1-е звено	2-е звено	3-е звено	Звено обратной связи
0	$4p^2x_1 + 3px_1 = 2x$	$2px_2 + x_2 = 4px_1$	$3py = x_2$	$4y_1 = py$
1	$6p^2x_1 - 2px_1 = x$	$2px_2 + x_2 = 8px_1$	$3py - y = 1,5x_2$	$y_1 = 3y$
2	$4p^2x_1 - 2px_1 = 3x$	$px_2 + x_2 = 2px_1 + 4x_1$	$3py + y = px_2 + 2x_2$	$y_1 = 8y$
3	$2p^2x_1 + 6px_1 + x_1 = 4x$	$3x_2 = 9px_1$	$y = 2px_2$	$py_1 = 2y$
4	$px_1 + x_1 = px_1$	$2x_2 = px_1$	$5p^2y + py + y = 6x_2$	$y_1 = -5y$
5	$12p^2x_1 + x_1 = 6px + 2x$	$4px_2 + x_2 = px_1 + x_1$	$3py = -x_2$	$y_1 = 2y$
6	$px_1 + 2x_1 = 2px + x$	$4p^2x_2 - 2px_2 = x_1$	$py = 3x_2$	$6y_1 = y$
7	$8p^2x_1 + 8p^2x_1 + x_1 = 2x$	$2px_2 + x_2 = 4x_1$	$y = x_2$	$y_1 = -2y$
8	$10p^2x_1 - 5px_1 + 6x_1 = 5x$	$x_2 = 8px_1 + 2x_1$	$py = 2px_2 + 4x_2$	$8y_1 = y$
9	$2p^2x_1 + 6px_1 + x_1 = 2x$	$p^2x_2 + 8px_2 = 4x_1$	$2y = px_2$	$py_1 = 3y$

Предпо- следняя цифра шифра	Звенья САР для вариантов 3 и 4 структурной схемы			
	1-е звено	2-е звено	3-е звено	Звено обратной связи
0	$p^2x_1 + 8px_1 + 2x_1 = 4x$	$4px_2 + 2x_2 = 3px_1$	$3py = 2px_2 + 4x_2$	—
1	$2p^2x_1 + 3px_1 = 4px + x$	$2p^2x_2 + x_2 = 4x_1$	$3y = px_2 + x_1$	—
2	$6p^2x_1 + 2px_1 = 2x$	$4px_2 + x_2 = 2px_1$	$4py = 2px_2 + x_2$	—
3	$4p^2x_1 + 2px_1 + 3x_1 = 2x$	$2px_2 + x_2 = 4px_1$	$3py = x_2$	—
4	$6px_1 + x_1 = 4x$	$6px_2 + 2x_2 = px_1$	$2p^2y + 4py = x_2$	—
5	$6p^2x_1 + 3px_1 + x_1 = 2px$	$px_2 + 2x_2 = 4px_1 + x_1$	$py + 2y = 4x_2$	—
6	$8p^2x_1 + 6px_1 = 2px + x$	$2px_2 - 2x_2 = 3px_1$	$4py = 2px_2 + x_2$	—
7	$2p^2x_1 + 2px_1 = 4x$	$3px_2 - 2x_2 = 1,5x_1$	$2py + 3y = -6x_2$	—
8	$3p^2x_1 - 2px_1 = 2px + x$	$2x_2 = px_1$	$py + y = 8px_2 + x_2$	—
9	$9p^2x_1 + 3px_1 + 3x_1 = 4x$	$9px_2 + 3x_2 = 6x_1$	$4py + 2y = 8px_2$	—

Дифференциальные уравнения звеньев САР для УСПС

Предпоследняя цифра шифра	Звенья САР для вариантов 5 и 6 структурной схемы			
	1-е звено	2-е звено	3-е звено	Звено обратной связи
0	$3px_1 + x_1 = 2x$	$px_3 + 2x_3 = 4px_2 + x_2$	$2y = 2px_3 + x_3$	$4x_4 = 2px_3$ $6y_1 = 2y$
1	$2px_1 + 6x_1 = -2x$	$2px_3 + x_3 = 2x_2$	$6py + y = 2x_3$	$2x_4 = 3px_3$ $6py_1 + 2y_1 = 6y$
2	$0,12px_1 + x_1 = 2x$	$0,4p^2x_3 + 0,6px_3 = x_2$	$0,5p^2y + py + y = 4x_3$	$6x_4 = 2px_3 + x_3$ $4py_1 = 6py + y$
3	$2px_1 + x_1 = 3x$	$px_3 + 3x_3 = 4px_2 + 2x_2$	$2p^2y + 4py + y = px_3 + x_3$	$0,5px_4 + x_4 = 2x_3$ $0,2y_1 = 2py$
4	$4px_1 + 2x_1 = 3px + x$	$0,5px_3 + 0,1x_3 = 4px_2$	$0,2py + 4y = 3px_3 + 2x_3$	$2px_4 + 3x_4 = 0,5x_3$ $0,5y_1 = 2py + 0,5y$
5	$2p^2x_1 + 2px_1 = 4x$	$3px_3 + 2x_3 = 1,5x_2$	$py + y = 2px_3$	$8px_4 + 2x_4 = 2px_3$ $0,5py_1 + y_1 = 2py$
6	$3p^2x_1 - 2px_1 = 2x$	$2x_3 = px_2$	$4py + 3y = 2px_3 + x_3$	$3x_4 = 2px_3 + 4px_3$ $2py_1 + 4y_1 = 3y$
7	$2px_1 - x_1 = x$	$2px_3 - x_3 = x_2$	$2py + 1,5y = 2px_3 + x_3$	$0,5x_4 = 2px_3 + x_3$ $4py_1 + y_1 = 3py + y$
8	$5px_1 + x_1 = 4x$	$2px_3 + 3x_3 = 2px_2 + x_2$	$0,5py + 2y = 2px_3$	$2px_4 + x_4 = px_3$ $2x_3 3py_1 + 2y_1 = 4y$
9	$4px_1 + 2x_1 = 4px + x$	$4px_3 + x_3 = x_2$	$6py + y = 2px_3$	$4px_4 + x_4 = 2px_3$ $2py_1 + y_1 = 3py + y$

Дифференциальные уравнения звеньев САР для УСПС

Предпоследняя цифра шифра	Звенья САР для вариантов 7 и 8 структурной схемы			
	1-е звено	2-е звено	3-е звено	Звено обратной связи
0	$10p^2x_1 + 4px_1 = 2px$	$px_{21} + 2x_{21} = 4px_1$ $6px_{22} + 3x_{22} = x_1$	$2py = 2px_2 + x_2$	$6y_1 = 2y$
1	$2px_1 + 6x_1 = -2x$	$px_{21} + 2x_{21} = 4px_1$ $6px_{22} + 3x_{22} = px_1$	$6py + y = 2x_3$	$2y_1 = 6y$
2	$0,2px_1 + x_1 = 2x$	$px_{21} + 2x_{21} = 4px_1$ $2px_{22} + 3x_{22} = px_1$	$0,5p^2y + py + y = 4x_3$	$4py_1 = 6py + y$
3	$0,5p^2x_1 + 2px_1 = 3x$	$2px_{21} + 2x_{21} = px_1$ $6px_{22} + 3x_{22} = px_1$	$2p^2y + 4py + y = px_3 + x_3$	$0,2y_1 = 2py$
4	$2p^2x_1 - 4px_1 = x$	$px_{21} + 2x_{21} = 4px_1$ $6px_{22} + 3x_{22} = px_1$	$0,2py + 4y = 3px_3 + 2x_3$	$0,5y_1 = 0,5y$
5	$2p^2x_1 + 2px_1 = 4x$	$px_{21} + 2x_{21} = 2px_1$ $x_{22} = px_1 + x_1$	$py + y = 2px_3$	$0,5py_1 = 2py$
6	$3p^2x_1 - 2px_1 = 2x$	$px_{21} + 2x_{21} = px_1$ $2px_{22} + x_{22} = 2px_1$	$4py + 3y = 2px_3 + x_3$	$4y_1 = 3y$
7	$2px_1 - x_1 = x$	$px_{21} + 2x_{21} = 3px_1$ $6px_{22} + 3x_{22} = px_1$	$2py + 1,5y = 2px_3 + x_3$	$4py_1 + y_1 = 3py$
8	$3p^2x_1 + 5px_1 = 4x$	$px_{21} + 2x_{21} = 2px_1$ $3px_{22} + 3x_{22} = px_1$	$0,5py + 2y = 2px_3$	$3py_1 = 4y$
9	$4px_1 + 2x_1 = 4px + x$	$px_{21} + 2x_{21} = px_1$ $6px_{22} + x_{22} = px_1$	$6py + y = 2px_3$	$2py_1 + y_1 = 3py$

Дифференциальные уравнения звеньев САР для УСПС

Предпоследняя цифра шифра	Звенья САР для вариантов 9 и 10 структурной схемы			
	1-е звено	2-е звено	3-е звено	звено обратной связи
0	$p^2x_1 + 8px_1 = 4x$	$4px_2 + 2x_2 = 3px_1$	$3py = 2px_2 + 4x_2$	$4y_1 = py$
1	$2p^2x_1 + 3px_1 = x$	$2p^2x_2 + x_2 = 4x_1$	$3y = px_2 + x_1$	$y_1 = 3y$
2	$6p^2x_1 + 2px_1 = 2x$	$4px_2 + x_2 = 2px_1$	$4py = 2px_2 + x_2$	$y_1 = 8y$
3	$4p^2x_1 + 2px_1 = 2x$	$2px_2 + x_2 = 4px_1$	$3py = x_2$	$py_1 = 2y$
4	$6px_1 + 2x_1 = 4x$	$6px_2 + 2x_2 = px_1$	$2p^2y + 4py = x_2$	$y_1 = -5y$
5	$3px_1 + x_1 = 2px$	$px_2 + 2x_2 = 4px_1 + x_1$	$py + 2y = 4x_2$	$y_1 = 2y$
6	$8p^2x_1 + 6px_1 = x$	$2px_2 - 2x_2 = 3px_1$	$4py = 2px_2 + x_2$	$6y_1 = y$
7	$2p^2x_1 + 2px_1 = 4x$	$3px_2 - 2x_2 = 1,5x_1$	$2py + 3y = -6x_2$	$y_1 = -2y$
8	$3p^2x_1 + 2px_1 = x$	$2x_2 = px_1$	$py + y = 8px_2 + x_2$	$8y_1 = y$
9	$9p^2x_1 + 3px_1 = 4x$	$9px_2 + 3x_2 = 6x_1$	$4py + 2y = 8px_2$	$py_1 = 3y$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация сельскохозяйственной техники : краткий конспект лекций для студентов специальности 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства / БГАТУ, кафедра основ научных исследований и проектирования ; сост.: Н. И. Бохан [и др.]. – Минск, 2003. – 164 с.

2. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : БГАТУ, 2007. – 592 с.

3. Радченко, Г. Е. Автоматизация сельскохозяйственной техники : учеб.-метод. пособие / Г. Е. Радченко. – Минск : ИВЦ Минфина, 2011. – 496 с.

4. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – М. : Колос, 2003. – 344 с.

5. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, А. А. Рысс. – М. : Колос, 2006.

6. Автоматизация сельскохозяйственной техники : практикум для студентов специальности 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 02 Техническое обеспечение процессов переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, 1-74 06 03 Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве / БГАТУ, кафедра основ научных исследований и проектирования ; сост.: В. Б. Ловкис [и др.]. – Минск, 2008. – 131 с.

7. Средства автоматики и автоматизация производственных процессов : лабораторный практикум для студентов группы специальностей 74 06 Агроинженерия / БГАТУ, кафедра основ научных исследований и проектирования ; сост.: Н. И. Бохан [и др.]. – Минск, 2009. – 159 с.

8. Приборы безопасности грузоподъемных машин : сборник документов. – Вып. 2. – Челябинск : Резонанс, 2010. – 218 с.

9. Шандров, Б. В. Технические средства автоматизации / Б. В. Шандров, А. Д. Чудаков. – М. : Академия, 2007. – 368 с.

Учебное издание

Маркевич Владимир Владимирович,
Носко Вячеслав Владимирович

СРЕДСТВА АВТОМАТИКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Учебно-методический комплекс

Ответственный за выпуск *Ю. Т. Антонишин*

Редактор *Д. О. Бабакова*

Корректор *Д. О. Бабакова*

Компьютерная верстка *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 10.09.2014 г. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 16,51. Уч.-изд. л. 12,9. Тираж 90 экз. Заказ 463.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.