

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Сельскохозяйственные машины»

В. Б. Попов

АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

КУРС ЛЕКЦИЙ

**по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-36 12 01 «Проектирование
и производство сельскохозяйственной техники»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2010

УДК 631.171:631.3(075.8)
ББК 34.751-05я73
П57

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 9 от 22.09.2008 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого
д-р техн. наук, проф. *В. И. Луковников*

Попов, В. Б.

П57

Автоматизация сельскохозяйственных машин : курс лекций по одному. дисциплине для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. и заоч. форм обучения / В. Б. Попов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 176 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-893-0.

Представлены теоретические, методические и справочные сведения, а также примеры структурных и функциональных схем по автоматизации сельскохозяйственных машин.

Для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» дневной заочной форм обучения.

УДК 631.171:631.3(075.8)
ББК 34.751-05я73

ISBN 978-985-420-893-0

© Попов В. Б., 2010
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2010

Оглавление

<i>Тема 1.</i> Техничко-экономическая эффективность автоматизации сельскохозяйственного производства	5
<i>Тема 2.</i> Факторы, определяющие эффективность работы сельскохозяйственных машин. Принципы управления технологическими процессами	11
<i>Тема 3.</i> Особенности автоматизации сельскохозяйственных машин. Типовые технические решения при автоматизации технологических процессов	13
<i>Тема 4.</i> Объекты автоматизации. Методика построения теоретических математических моделей элементов системы автоматического управления.....	29
<i>Тема 5.</i> Экспериментальные методы построения математических моделей систем автоматического управления сельскохозяйственных машин.....	36
<i>Тема 6.</i> Первичные измерительные преобразователи (механические датчики).....	42
<i>Тема 7.</i> Другие виды измерительных преобразователей	50
<i>Тема 8.</i> Усилительные и стабилизирующие элементы систем автоматики.....	80
<i>Тема 9.</i> Исполнительные механизмы системы автоматизированного регулирования.....	91
<i>Тема 10.</i> Сравнительная оценка исполнительных механизмов систем автоматизированного регулирования.....	95
<i>Тема 11.</i> Регулирующие органы	101
<i>Тема 12.</i> Выбор автоматического регулятора сельскохозяйственной машины и закона управления.....	105
<i>Тема 13.</i> Методы синтеза одноконтурных и многоконтурных систем автоматизированного управления. Синтез систем автоматизированного управления сельскохозяйственных машин позиционного и следящего регулирования.....	114
<i>Тема 14.</i> Особенности систем автоматического управления нестационарных сельскохозяйственных объектов и сельскохозяйственных объектов с запаздыванием.....	117

<i>Тема 15.</i> Использование микропроцессоров в системах автоматического управления сельскохозяйственных машин. Управление при неполной начальной информации	118
<i>Тема 16.</i> Автоматическое управление положением рабочих органов сельскохозяйственных машин в продольно-вертикальной плоскости.....	124
<i>Тема 17.</i> Автоматическое регулирование положения режущих аппаратов уборочных машин	130
<i>Тема 18.</i> Автоматическое управление скоростным режимом двигателя сельскохозяйственных машин.....	132
<i>Тема 19.</i> Автоматическое управление загрузочными режимами рабочих органов машин	134
<i>Тема 20.</i> Автоматизация контроля работы сельскохозяйственных машин.....	140
<i>Тема 21.</i> Автоматическое управление движением машин и их рабочих органов в горизонтальной плоскости.....	149
<i>Тема 22.</i> Автоматизация послеуборочной обработки и хранения сельскохозяйственной продукции	158
<i>Тема 23.</i> Автоматизация обкатки двигателей.....	167
<i>Тема 24.</i> Автоматизация испытаний двигателей	170
Литература.....	176

Тема 1

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Экономическая эффективность систем автоматики

Автоматизация сельскохозяйственных процессов связана, как правило, с коренной заменой оборудования и помещений, с созданием новой технологии, базирующейся на применении наиболее совершенных методов и средств автоматики. Основным критерием жизнеспособности новых технических решений является их экономическая целесообразность.

Экономическая эффективность автоматизации измеряется степенью уменьшения совокупного живого и прошлого труда, затрачиваемого на производство единицы продукции. При автоматизации сельскохозяйственных производственных процессов капитальные затраты обычно несколько возрастают, а эксплуатационные расходы на единицу продукции существенно сокращаются. Другими словами, количество прошлого труда увеличивается в меньшей степени, чем снижаются затраты живого труда. Таким образом, эффективность автоматизации характеризуется суммарным сокращением затрат на производство продукции. Следовательно, критерием эффективности автоматизации должен быть показатель, соизмеряющий производимые затраты с получаемой экономией расходов от внедрения автоматизации.

Если какой-либо процесс можно автоматизировать различными способами, то надо выбрать самый эффективный вариант автоматизации, который обеспечивает более интенсивное снижение стоимости и более высокий рост производительности общественного труда. При этом очень важно за базовый вариант сравнения принять самый передовой и совершенный способ механизированного производства, применяемый в отечественной или зарубежной практике.

Экономическая эффективность автоматизации в общем случае складывается из энергетического, трудового, структурного и технологического эффектов.

Энергетический эффект определяется сокращением расхода топлива или энергии, ростом надежности работы энергетического оборудования, увеличением экономичности работы электрических сетей, повышением КПД силовых установок и т. д.

Трудовой эффект связан с сокращением прямых затрат труда обслуживающего персонала при выполнении необходимых операций в технологических процессах сельскохозяйственного производства.

Структурный эффект обусловлен сокращением регулирующих и запасных емкостей, уменьшением служебных помещений и инженерных коммуникаций, снижением металлоемкости и стоимости оборудования, увеличением съема продукции с единицы площади или объема производственных зданий, повышением концентрации построек на территории.

Технологический эффект обусловлен в основном увеличением производства сельскохозяйственной продукции за счет автоматизации технологических процессов, например в животноводстве, птицеводстве, защищенном грунте – это создание благоприятных климатических условий путем автоматического управления микроклиматом в зависимости от времени суток, сезона, возраста животных, вида растений, а также связанное с автоматизацией сокращение расхода корма и повышение качества продукции.

Основные показатели эффективности автоматизации

Технико-экономическая эффективность автоматизации сельского хозяйства может выражаться как количественными, так и качественными показателями. Характерно, что многие качественные показатели автоматизации трудно перевести в количественные.

В результате технико-экономических, социально-экономических и качественных сравнений автоматизированного и неавтоматизированного способов производства определяются основные показатели эффективности автоматизации: капитальные затраты, эксплуатационные годовые издержки, рентабельность, срок окупаемости, приведенные затраты и др.

В настоящее время в соответствии с типовой методикой экономическая целесообразность автоматизации определяется *минимумом приведенных затрат*. При этом существенное значение имеют также облегчение условий труда человека и обеспечение безопасности его работы, увеличение числа часов использования и срока службы строительного и технологического оборудования.

Капитальные затраты – одна из основных исходных величин при расчетах экономической эффективности автоматизации. Эти затраты складываются из стоимости K_c средств автоматики с учетом их доставки, монтажа и наладки; затрат K_m на модернизацию действующей

щей техники и технологии, вызванную автоматизацией; стоимости K_3 строительства и реконструкции зданий в связи с внедрением автоматизации; остаточной стоимости K_0 основных средств, подлежащих ликвидации при внедрении устройств автоматики, за вычетом стоимости K_p , полученной от реализации части ликвидируемых основных средств, т. е.

$$K = K_c + K_m + K_3 + K_0 - K_p.$$

Необходимо еще раз подчеркнуть, что при исчислении капитальных затрат на автоматизацию следует учитывать лишь те дополнительные затраты на здания, оборудование и перестройку технологии, которые вызваны только внедрением средств автоматизации.

Годовые эксплуатационные издержки производства складываются в основном из амортизационных отчислений I_0 , отчислений I_T на текущий ремонт, затрат I_3 на зарплату обслуживающего персонала, стоимости $I_э$ электроэнергии и стоимости I_f горюче-смазочных материалов, куда отнесены и некоторые другие годовые расходы:

$$I = I_0 + I_T + I_3 + I_э + I_f.$$

Экономия годовых эксплуатационных издержек

$$\mathcal{E}_и = I_n - I_a \pm D,$$

где I_n – годовые издержки при неавтоматизированном производстве; I_a – годовые издержки при автоматизированном способе производства; D – дополнительный доход (при знаке «плюс») за счет увеличения качества продукции, снижения потерь и т. п. или убыток (при знаке «минус») из-за недополученной продукции, ухудшения ее качества, перерасхода материалов и др.

При автоматизации сельскохозяйственного производства дополнительный доход D , не учтенный в ранее приведенных выражениях, играет существенную роль. В ряде случаев, принимая во внимание данный доход, можно применять высоконадежные и дорогостоящие автоматизированные средства, получая при этом значительный экономический эффект.

Срок окупаемости капитальных затрат на автоматизацию при одинаковом годовом объеме производства находят по формуле

$$N_o = \frac{K_a - K_n}{I_n - I_a},$$

где K_n и K_a – капитальные затраты соответственно неавтоматизированного и автоматизированного производства ($K_n < K_a$); I_n и I_a – эксплуатационные годовые издержки соответственно неавтоматизированного и автоматизированного производства ($I_n > I_a$).

Если автоматизация влияет на себестоимость C единицы вырабатываемой продукции, на годовую выработку P рабочего, списочный штат $Ш$ рабочих и отпускаемую продажную цену $Ц$, отнесенную к единице вырабатываемой продукции, то при определении срока окупаемости следует пользоваться формулой

$$T_o = \frac{K_a - K_n}{(Ц_a - C_a)Ш_a P_a - (Ц_n - C_n)Ш_n P_n},$$

где K_a и K_n – соответственно первоначальные капиталовложения автоматизированного и неавтоматизированного производства.

Данная формула учитывает увеличение объема продукции благодаря использованию автоматизации ($Ш_a P_a > Ш_n P_n$), повышению качества вырабатываемой продукции ($Ц_a > Ц_n$) и уменьшению ее себестоимости ($C_a < C_n$).

По сроку окупаемости судят о степени эффективности автоматизации: чем меньше срок окупаемости, тем выше эффективность. Расчетный срок окупаемости сравнивают с нормативным сроком окупаемости, который устанавливается директивными органами на основе экономического анализа хозяйства страны.

Производительность труда – важный показатель экономической эффективности. Она определяется количеством продукции, произведенной в единицу рабочего времени, или количеством рабочего времени, затраченного на производство единицы продукции. Повышение производительности труда, которое произошло в результате автоматизации, отражает уменьшение затрат труда, выраженное в процентах:

$$P = \frac{P_n - P_a}{P_n} \cdot 100 \%$$

Экономия труда получается благодаря повышению его производительности:

$$\mathcal{E}_T = (P_n - P_a) Q_a,$$

где P_n – затраты труда на единицу продукции или вид работы при неавтоматизированном способе производства; P_a – затраты труда при автоматизированном способе производства; Q_a – годовое производство продукции при автоматизированном способе производства.

Рентабельность производства связана с денежным измерением затрат труда и характеризует уровень доходности производства, т. е. относительное значение чистой прибыли:

$$p = \frac{Ц - С}{С} \cdot 100 \%,$$

где $Ц$ – оптовая цена продукции; $С$ – себестоимость продукции.

При автоматизации технологического процесса следует вычислять показатель *дополнительной рентабельности*, не связанной с оптовой ценой продукции:

$$\Delta p = \frac{C_n - C_a}{C_n} \cdot 100 \%,$$

где C_n – себестоимость продукции неавтоматизированного производства; C_a – себестоимость продукции автоматизированного производства.

Приведенные расчетные затраты служат обобщающим показателем эффективности капитальных вложений:

$$З = EK + И.$$

Кроме того, часто пользуются показателем удельных приведенных затрат (на единицу продукции Q_a):

$$З = \frac{З}{Q_a}.$$

Методика обоснования варианта автоматизации

Примерную последовательность расчетов экономической эффективности автоматизации можно представить следующим образом: сбор и обобщение исходных данных, выбор базы сравнения, определение капитальных затрат, необходимых для приобретения и внедрения средств автоматики, подсчет годовых эксплуатационных издержек на содержание средств автоматики, исследование влияния автоматизации на технико-экономические и социально-экономические показатели производственного процесса, выявление ожидаемой экономии и ожидаемого экономического эффекта от внедрения автоматизации.

В общем виде основной критерий экономической эффективности применения средств автоматики в сельском хозяйстве определяется минимальной суммарной величиной приведенных затрат:

$$Z = EK + И \rightarrow \min.$$

Увеличение капитальных затрат на автоматизацию, как правило, быстро окупается сокращением эксплуатационных расходов за счет повышения производительности труда, экономии рабочей силы, сырья, энергии, в результате более рациональной компоновки помещений и оборудования, позволяющих получить больше продукции с единицы площади производственных помещений и единицы оборудования при высоком ее качестве.

Как упоминалось ранее, если какой-либо процесс можно автоматизировать различными способами, то следует сравнить технически равноценные варианты по приведенным затратам и выбрать тот, который сопровождается минимальным их значением. Следует отметить, что в процессе сравнения вариантов автоматизации может возникнуть такой случай, когда при внедрении новых устройств автоматизации капитальные вложения K_2 и годовые эксплуатационные расходы I_2 окажутся выше, чем аналогичные показатели K_1 и I_1 для старого варианта, но тем не менее второй вариант будет экономически эффективным за счет дополнительного дохода D (вследствие увеличения продуктивности, уменьшения расхода кормов, улучшения качества продукции, сохранности поголовья и т. д.). В соответствии с этим приведем неравенство, по которому судят об эффективности нового варианта:

$$EK_1 + I_1 > EK_2 + I_2 - D.$$

Из последнего неравенства при учете выражения легко определить соотношение расчетного и нормативного сроков окупаемости:

$$T_{o.n} > \frac{K_2 - K_1}{I_1 - I_2 + D}.$$

Правая часть неравенства представляет собой расчетный срок окупаемости капитальных затрат второго варианта автоматизации с учетом дополнительного дохода D .

Таким образом, чем меньше расчетный срок окупаемости капитальных затрат по сравнению с нормативным, тем выше экономическая эффективность автоматизации по данному варианту. Из ряда вариантов выбирают тот, который дает минимальный срок окупаемости и, следовательно, наименьшие приведенные затраты.

Тема 2

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН. ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Факторы, определяющие эффективность работы уборочных машин

Характерным для большинства уборочных процессов является сезонность их выполнения, а также большая изменчивость свойств обрабатываемых материалов. Кроме того, уборочные процессы необходимо проводить в жесткие агротехнические сроки. Все это оказывает большое влияние на характер протекания процессов и предъявляет специфические требования к средствам, необходимым для их выполнения. Многие сельскохозяйственные машины не имеют конкретных показателей и строгих критериев качества работы. Очень часто машинами управляют «на глазок» на слух. Поэтому качество уборки во многом зависит от квалификации и опыта обслуживающего персонала. Это вызывает большую напряженность труда, особенно при переходе на повышенные рабочие скорости, когда человек уже не в состоянии длительное время качественно следить за работой агрегата и управлять им. Эффективность хозяйственной эксплуатации уборочных машин в связи с этим значительно снижается.

Уборочные машины являются наиболее сложными агрегатами, выполняющими большое число операций (скашивание наземных культур, извлечение из почвы корнеклубнеплодов, снятие с растений плодов, ягод, овощей и других продуктов, а также транспортировка, сепарация, обработка и частичная переработка продуктов уборки).

Эффективность уборочной техники обычно оценивается количеством убранной в единицу времени продукции и ее качеством, а производительность уборочного агрегата в основном определяется пропускной способностью, шириной захвата, скоростью движения. В зависимости от условий уборки производительность уборочных машин необходимо менять в процессе работы, изменяя скорость движения, ширину захвата и в некоторых случаях – пропускную способность. Для этого уборочные машины должны иметь специальные средства, чтобы можно было осуществлять соответствующие регулировки.

Качество уборки определяется такими показателями, как высота среза, степень выделения убираемого продукта из сопутствующего

материала, степень измельчения массы, полнота извлечения корнеклубнеплодов из почвы при допустимом их повреждении, полнота съема хлопка, чайного листа, овощей, плодов и ягод и др. Чтобы поддерживать требуемые значения показателей качества, уборочные машины также должны иметь соответствующие регулирующие органы.

Во время работы уборочные машины непрерывно испытывают со стороны обрабатываемых сред и материалов внешние воздействия, которые нарушают внутренние технологические операции. Это оказывает существенное влияние на эффективность выполняемого процесса.

К внешним воздействиям, которые, как правило, носят случайный характер, можно отнести: неровности рельефа поля и рядков убираемых культур, неравномерность урожайности культур по длине гона, засоренность, различие по влажности и другим физико-механическим свойствам убираемых культур и т. д. Учет этих воздействий и соответствующая реакция на них не могут быть запрограммированы. Поэтому требуемая эффективность уборочной машины может быть достигнута благодаря ее приспособлению к переменным условиям уборки, а также за счет соответствующих настроек и регулировок рабочих органов и механизмов.

Внутренние нарушения технологических операций не только ухудшают качество выполняемого процесса, но вызывают забивания и поломки рабочих и транспортирующих органов и механизмов привода. Внутренние нарушения могут возникать также из-за несоответствия конструктивных параметров рабочих органов машины технологическим требованиям или из-за недостаточной их надежности.

Стремление более полно удовлетворить технологические требования привело к значительному усложнению уборочных машин, введению большого числа тонких регулировок, что требует от обслуживающего персонала повышенного внимания, высокой квалификации и большого опыта работы. Поэтому большинство уборочных машин работает с существенным недоиспользованием их проектных возможностей по производительности и качеству уборки.

Дальнейшее совершенствование конструкций серийных уборочных машин, изыскание новых рабочих органов и технологических процессов, увеличение энергонасыщенности машин, повышение их производительности благодаря увеличению пропускной способности, ширины захвата и скорости движения, улучшение комфортабельности, гигиены труда и техники безопасности обслуживающего персонала и некоторые другие мероприятия позволят в ближайшие годы

оснастить сельское хозяйство более совершенной уборочной техникой. Однако, как показывает опыт, наиболее эффективно использовать эту технику можно только при условии автоматизации основных технологических операций или целых процессов, выполняемых уборочными машинами. Практикой последних лет доказано, что даже простейшие средства автоматизации позволяют существенно снизить затраты труда и его напряженность вследствие сокращения ручных операций по управлению машиной, позволяют более объективно оценивать технологические изменения в работе машины и своевременно их ликвидировать и тем самым повысить производительность и качество уборочных работ.

Тема 3

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН. ТИПОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В общем случае система управления сельскохозяйственным производством строится путем последовательного объединения систем управления отдельными технологическими процессами (ТП) при условии обеспечения максимальной универсальности систем, надежности и рационального использования новейших методов построения автоматических систем и технических средств. Такая поэтапная автоматизация позволяет получить наибольший эффект от внедрения автоматических устройств при минимальных затратах, связанных с автоматизацией важнейших звеньев ТП.

Выполнение этой задачи требует расчленения общей задачи управления по иерархическому принципу, определяющему порядок взаимодействия отдельных частей управляющей системы.

На нижней ступени располагают *локальные системы автоматического управления* и взаимосвязанные типовые ТП, соответствующие простейшим технологическим операциям и типовому оборудованию. Технические решения по автоматизации таких ТП обычно являются типовыми. Задачи таких систем автоматического управления – обеспечение эффективности управления и надежности работы технологического оборудования.

В состав технических средств локальных систем автоматики входят:

– автоматические устройства с априорной или текущей информацией о возмущении, действующие по разомкнутой цепи пре-

образования сигнала в управляющее воздействие на объект управления (ОУ);

– автоматические регуляторы, обеспечивающие стабилизацию заданного значения регулируемой величины путем выработки управляющего воздействия, соответствующего отклонению этой величины от заданного значения;

– средства автоматического контроля, которые выполняют функции измерения и регистрации контролируемых параметров процесса, а также сигнализации о достижении этими параметрами установленных предельных значений;

– системы оптимизации, автоматически определяющие и поддерживающие оптимальный режим протекания ТП.

Задача построения локальных систем управления ТП – первоэтапная в решении проблемы автоматизации управления сельскохозяйственным производством в целом.

На более высокой ступени находятся системы управления такими сложными ТП, которые характеризуются большим объемом перерабатываемой информации и не могут управляться автоматическим устройством без участия человека. В этом случае функции управления распределяются между человеком-оператором и вычислительной машиной, способной переработать практически неограниченный объем информации. Эту ступень автоматизированного управления называют АСУ ТП, и классифицированные ранее локальные системы управления входят в ее состав.

Использование ЭВМ в системе управления расширяет возможности осуществления сложных алгоритмов управления при большом числе переменных величин, характеризующих ход ТП. Участие человека в сложной системе оперативного управления обеспечивает высокую эффективность и надежность функционирования последней, позволяет решить специальные проблемы интеллектуального свойства, возникающие из-за неполноты сведений об автоматизированном процессе.

Снижение стоимости и увеличение объемов выпуска микроЭВМ и микроконтроллеров изменило техническую базу автоматизации производства.

В общем виде *микропроцессорное устройство*, применяемое в системах управления, – это специализированное вычислительное устройство, приспособленное к работе в производственных условиях и включающее в себя, кроме собственно микропроцессора, также и средства для обмена сигналами с ОУ (измерительные контроллеры и

интерфейсные блоки связи). При этом микропроцессор, выполненный на одной или нескольких больших интегральных схемах, предназначен для исполнения логических и арифметических операций по специальной программе, хранящейся в памяти устройства. **МикроЭВМ** – это комплектное устройство на базе микропроцессора, имеющее блоки памяти, ввода-вывода и сопряжения.

Структурная схема микропроцессорной системы управления на базе микроЭВМ показана на рис. 3.1.

Алгоритмы управления реализованы в виде программ, хранящихся в памяти ЭВМ. Интерфейсные блоки служат для связи ЭВМ с ОУ (с исполнительными механизмами и регулирующими органами) и периферийным оборудованием (с пультом оператора, дисплеем). Пульт оператор использует для управления работой микроЭВМ, а дисплей – для предоставления ему информации о состоянии оборудования, контролируемых параметрах и других характеристиках автоматизированного процесса.

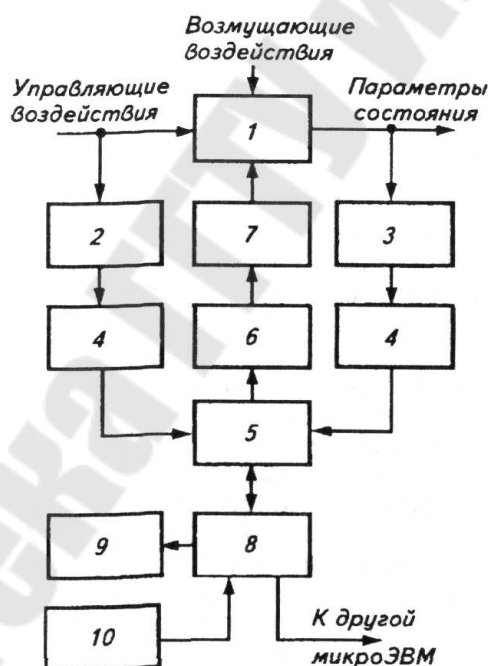


Рис. 3.1. Структурная схема микропроцессорной системы управления с микроЭВМ:

- 1 – технологический объект управления; 2 – измерительные преобразователи управляющих воздействий; 3 – измерительные преобразователи выходных параметров ОУ; 4 – измерительные контроллеры;
- 5 – управляющая микроЭВМ; 6 – интерфейсные блоки связи с объектом;
- 7 – исполнительные механизмы; 8 – интерфейсные блоки связи с периферией; 9 – дисплей; 10 – пульт оператора

Сбор и преобразование в цифровую форму информации о ходе ТП, поступающей от разного рода измерительных преобразователей, осуществляются измерительными контроллерами. В состав интерфейсных блоков связи и контроллеров тоже могут входить микропроцессоры, выполняющие те операции по вводу-выводу и предварительной обработке информации, которые обычно выполняет центральный процессор. При построении систем управления сложными объектами, имеющими ступенчатую (иерархическую) структуру, микропроцессорную систему управления низкого уровня связывают с вышерасположенной также через интерфейсные блоки связи.

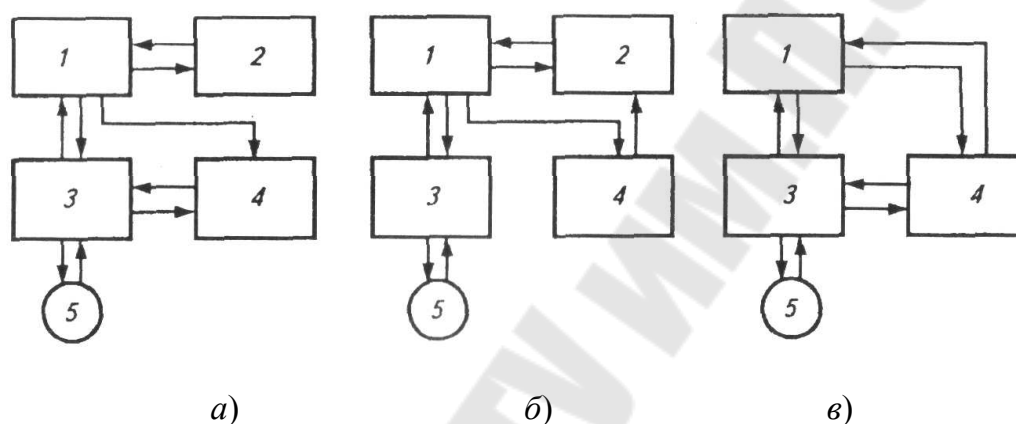


Рис. 3.2. Режим работы микроЭВМ в системах управления ТП:
 а – информационно-советующий режим; б – режим супервизорного управления; в – режим непосредственного цифрового управления:
 1 – технологический объект управления; 2 – локальные автоматические системы; 3 – пункт контроля и управления; 4 – управляющая микроЭВМ; 5 – оператор

Использование микроЭВМ в системах управления имеет ряд особенностей по сравнению с использованием ее в качестве универсальной ЭВМ, ориентированной прежде всего на взаимодействие с пользователем (человеком). Задача универсальных микроЭВМ – обработка данных по запросу пользователя, поэтому все устройства ввода-вывода информации (дисплеи, печатающие устройства, графопостроители, устройства внешней памяти и т. д.) подключаются к ЭВМ через свои блоки сопряжения по запросу пользователя.

В зависимости от достигнутого уровня совершенства технического и программного обеспечения управляющая микроЭВМ может работать в одном из трех режимов.

В *информационно-советующем режиме* (рис. 3.2, а) она выдает оператору рекомендации по управлению ТП, которые он анализирует

и либо принимает, либо отвергает, выдавая свое решение на основании текущей информации и предыдущего опыта.

Принятое решение реализуют вручную, через пульт контроля и управления. Основная тяжесть задачи управления (автоматическое регулирование, защита и сигнализация) ложится на локальные автоматические системы.

В *режиме супервизорного управления* (рис. 3.2, б) контроль и коррекцию работы автоматической СУ выполняет микроЭВМ и оператор вмешивается в работу автоматических систем только в случае обнаружения тех или иных нарушений хода ТП.

В *режиме прямого цифрового управления* (рис. 3.2, в) микроЭВМ, обладающая высокой степенью надежности, непосредственно воздействует на ТП через исполнительные механизмы.

Многообразие требований, предъявляемых к техническим системам, порождает множество конструктивных решений элементов автоматических систем. При автоматизации конкретных производств стремятся ограничить номенклатуру используемых технических средств, которые выбирают прежде всего из числа стандартных и специализированных элементов, прошедших практическую проверку.

Многочисленность операций, выполняемых элементами автоматики (получение, усиление, преобразование входных сигналов, передача контрольной и исполнение командной информации, вычисление исходных сигналов по их дискретному представлению, распределение выходного сигнала по отдельным цепям его передачи и другие операции), требует ориентации на определенные типы функциональных блоков, объединяющих несколько элементов и удовлетворяющих комплексу общетехнических и специальных (технологических) требований.

Специальные (отраслевые) элементы и блоки автоматики предназначены для использования на конкретном оборудовании. Важное требование, предъявляемое к этим устройствам автоматики, их универсальность, т. е. возможность применения в различных ТП и условиях эксплуатации.

Основой для применения одного и того же прибора или регулятора в различных автоматических системах с разными измерительными преобразователями (датчиками) служит идентичность параметров выходного электрического сигнала.

Существуют типовые измерительные преобразователи, позволяющие измерить и преобразовать в электрический сигнал практиче-

ски любой технологический параметр. Это позволяет обходиться ограниченным числом преобразователей, регулирующих устройств и исполнительного механизма (ИМ) для автоматизации систем управления различного назначения.

В результате автоматизации ТП непосредственное участие человека в системе управления не является необходимым, тем более что технические средства превосходят человека по физическим характеристикам, по надежности работы при выполнении повторяющихся операций, возможности хранить информацию и т. д. В этой связи возможны несколько вариантов оперативного управления ТП.

Децентрализованный контроль и управление, при котором оператор выполняет все функции по обслуживанию локальных систем автоматического управления последовательно одного объекта за другим. Первичная информация, определяемая совокупностью значений переменных параметров процесса, образуется и представляется с помощью средств контрольно-измерительной техники.

Централизованный контроль и управление, при котором функции управления выполняет по-прежнему оператор, но теперь с рабочего места в центральном диспетчерском пункте, куда стекается информация о ходе ТП, прошедшая первичную обработку, селекцию, обобщение, сопоставление и т. д.

Автоматизированное управление, при котором функции управления в определенной степени осуществляет человек с применением развитых технических средств и ЭВМ.

Автоматическое управление, при котором роль оператора сводится только к наблюдению за работой системы, обслуживанию ЭВМ и изменению различных заданий по управлению ТП.

Характеристика технологических процессов

Современное сельскохозяйственное производство – это объединение в комплекс сложных биотехнических систем.

Рассмотрим условия функционирования такой системы на базе одной из отраслей сельскохозяйственного производства – животноводства. При всем разнообразии технологических процессов в животноводстве их можно свести к сравнительно небольшому числу видов единичных операций:

- биологические, т. е. происходящие в организме животного;
- преобразования (приготовление корма, переработка навоза);
- тепловые;

– механические (перемещение материальных потоков, вращение рабочих органов).

Совокупность единичных операций образует конкретные технологические процессы, например приготовления и раздачи кормов, уборки и утилизации навоза, получения и переработки продукции и т. д.

В общем случае технологический процесс реализуется посредством технологических операций, которые выполняются параллельно, последовательно или комбинированно, когда начало последующей операции сдвинуто по отношению к началу предыдущей.

Технологические процессы сельскохозяйственного производства имеют существенные особенности:

1. *Поточность*. Потоки равны по закономерностям и структуре (материалы, энергия, биологические объекты и т. д.), но у них есть общее: возможность коммутировать, накапливать, менять интенсивность потока.

2. *Цикличность*. Технологический процесс имеет суточный или годовой цикл.

3. *Единство цели управления*. Технологический процесс есть единое целое, и нарушение в одном звене нарушает весь цикл. Потеря продукции в результате нарушения хода ТП, как правило, не может быть компенсирована.

4. *Разнообразие частей ТП*. Технологический процесс объединяет значительное число поточных линий (на животноводческом комплексе 6...10). Отсюда большой объем информации и сложность выработки оптимального алгоритма управления.

5. *Плохая подготовленность к автоматизации*. Вызвана тяжелыми условиями работы, значительной рассредоточенностью объектов, низкой квалификацией обслуживающего персонала. Эти особенности общие для широкого круга ТП, что делает возможной разработку систем управления, предназначенных для большого числа однотипных ТП.

Решение по управлению ТП принимают с учетом распорядка дня, режимов работы, организационных особенностей ТП.

Технологический процесс характеризуют группой качественных и численных показателей, на которые влияют возмущающие, а также управляющие воздействия.

Возмущения, влияющие на ход технологического процесса, могут контролироваться, а могут иметь случайный и неконтролируемый характер (поломки оборудования, заболевания животных).

Управляющие воздействия регламентируются расписанием дня, режимом работы технологического оборудования, производственными инструкциями и т. д. Осуществляются управляющие воздействия автоматически или вручную. Управление технологическим процессом представляет собой организационно-техническую задачу, и решают ее сегодня, создавая автоматические или автоматизированные системы управления технологическим процессом, органичное звено которых – человек-оператор, чьи функции зависят от режима, в котором действует СУ.

Схема связей в СУ показана на рис. 3.3. Воздействия на процесс можно классифицировать следующим образом.

Управляемые воздействия на рис. 3.3 обозначены вектором \bar{Y} . В эту группу входят переменные параметры, которые необходимо поддерживать на заданном уровне или изменять по заданному закону. Качество стабилизации параметров определяется требованиями технологии автоматизированного процесса и возможностями системы управления. Как правило, переменные, входящие в вектор \bar{Y} , измеряют непосредственно, но иногда такая возможность отсутствует, и тогда соответствующий параметр может быть определен с помощью вычислительного устройства, использующего математическую модель процесса и результаты измерений входных возмущений.

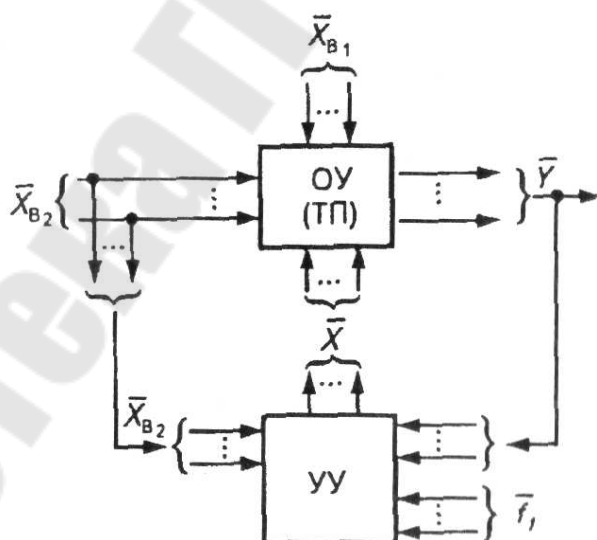


Рис. 3.3. Схема связей в автоматических САУ:
 ОУ – объект управления; УУ – управляющее устройство

Возмущающие воздействия на рис. 3.3 обозначены вектором \bar{X}_B . В эту группу входят переменные, изменения в которых характеризуют-

ся влиянием внешних условий, характеристик оборудования и т. д. Часть этих воздействий \bar{X}_{B_1} измерить нельзя, их называют **неконтролируемыми**, а часть \bar{X}_{B_2} – можно, их называют **контролируемыми**, и результаты контроля могут быть использованы для корректировки хода процесса.

Регулирующие воздействия на рис. 3.3 обозначены вектором X . Переменные, входящие в эту группу, используют для воздействия на процесс с целью управления.

Воздействия на УУ разделяют следующим образом:

1. Регулируемые величины \bar{Y} , характеризующие состояние автоматизируемого процесса.
2. Возмущающие воздействия (контролируемые) \bar{X}_{B_2} , характеризующие влияние внешних условий на ход процесса.
3. Воздействия \bar{f}_1 от различных факторов, действующие на объект управления через УУ.

Структура и принципы управления технологическими процессами

В общем виде структура управления ТП показана на рис. 3.4. Если оператор – необходимая часть системы, то ее квалифицируют как автоматизированную, если нет – то как автоматическую.

Оператор действует в соответствии с целью управления, и его функции, в общем случае, очень обширны. К примеру, в обязанности оператора-животновода входят:

- соблюдение распорядка дня содержания и режимов кормления животных;
- получение информации от зооветслужбы о коррекции условий содержания, кормления и т. д.;
- восприятие информации о поведении объекта управления (животных);
- оценка и анализ технологической ситуации и выработка соответствующих решений;
- установка задания системе управления, коррекция программ в соответствии с текущими условиями;
- анализ информационных потоков о ходе ТП;
- защита животных и оборудования в случае возникновения аварийной ситуации;
- оперативная связь с вышестоящими органами управления, учет полученной продукции и т. д.

Все многообразие перечисленных задач, возникающих в ходе управления технологическим процессом, может быть классифицировано следующим образом.

Логическое управление применяют для управления поточно-транспортными линиями приготовления и раздачи корма, уборки навоза и т. д. в том случае, когда имеется необходимость обеспечения последовательности пуска, переключения и остановки механизмов, наличия блокировок, обеспечивающих нормальное функционирование ТП и защиту оборудования в аварийных ситуациях. Для логического управления важно знать состояние ТП в предшествующий момент времени.

Программное управление реализуется в разомкнутых системах автоматического управления. Управляемая величина изменяется по заранее заданной программе.

Например, норму жидкого корма, раздаваемого свиньям, устанавливают в зависимости от состояния животных и поедаемости корма и корректируют 1 раз в трое суток. В отличие от принципа логического управления знание состояния ТП в предшествующий момент времени не обязательно.

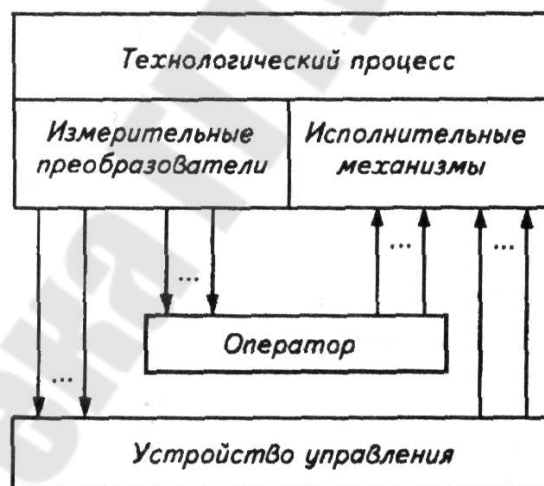


Рис. 3.4. Структурная схема управления ТП

Управление по отклонению используют в замкнутых автоматических СУ. Например, при регулировании уровня воды в баке водоподкачки неконтролируемые возмущения по нагрузке объекта (изменение расхода воды) или по каналу регулирующего воздействия (изменение подачи насоса) автоматически компенсируются в процессе стабилизации регулируемого параметра (уровня). Недостаток

принципа управления по отклонению – низкие эксплуатационные характеристики в случае значительной инерционности объекта.

Управление по возмущению используют в разомкнутых автоматических СУ. Управляющее воздействие принимают исходя из анализа действующих на систему возмущений. Например, решение о загрузке бункера принимают по анализу расходования кормов в связи с тем, что непрерывный контроль уровня сыпучих материалов затруднен. Недостаток управления по возмущению – накопление ошибки регулирования.

Комбинированное управление представляет собой комбинацию принципов управления по отклонению и возмущению. Например, система управления обогревом свинарника включает в себя замкнутую автоматическую СУ температурой электрообогреваемого пола и разомкнутую систему включения инфракрасного обогрева в зависимости от температуры воздуха.

Все пять рассмотренных принципов управления могут быть осуществлены в системах:

- местного управления (оператор следит за ходом ТП и управляет им, находясь рядом с технологической линией);
- дистанционного управления (оператор следит за ходом ТП по мнемосхеме, при этом улучшаются условия его работы, но контроль за ходом процесса ухудшается);
- централизованного управления (оператор следит за ходом ТП с центрального пульта, имеющего развитую систему контрольно-измерительных приборов, а возможно и ЭВМ в режиме оператора-советчика).

Производственные процессы в сельском хозяйстве сложны и многообразны, имеют большой объем технологической информации и тесную взаимосвязь. Это обуславливает большое разнообразие ТП, исторически сложившихся в период использования живой тягловой силы и находящихся в стадии незавершенной перестройки на точное машинное производство, а также большое число типов, конструкций, характеристик и режимов работы сельскохозяйственных машин и установок, многие из которых далеко не всегда приспособлены для применения на них даже простейших устройств автоматики.

Система машин, разработанная для сельского хозяйства, имеет около трех тысяч наименований по типам, почти 60 % из которых предназначены для полеводства и около 30 % – для животноводства и птицеводства.

Немаловажные особенности – рассредоточенность сельскохозяйственной техники по большим площадям и удаленность ее от ремонтной базы, относительно малая мощность установок, тихоходность и невысокая квалификация обслуживающего персонала, а также сезонность их работы и непродолжительное использование в течение суток. Даже в животноводстве, где операции совершаются и повторяются ежедневно по определенному циклу, общее число часов работы машин в сутки относительно мало. Следовательно, средства автоматики должны быть очень многообразными, относительно дешевыми, простыми по устройству и надежными в эксплуатации.

Основная особенность сельскохозяйственного производства заключается в неразрывной связи техники с биологическими объектами (животными и растениями), для которых характерны непрерывность процессов образования продукции и цикличность ее получения, невозможность увеличения выпуска продукции за счет ускорения производства. В этих условиях автоматика должна работать надежно, так как такой процесс нельзя прервать и практически невозможно наверстать упущенное путем интенсификации последующего периода. Например, автоматика в животноводстве должна обеспечить цикличность выполнения технологических операций в течение суток независимо от погодных условий.

Возмущающие воздействия имеют высокую степень неоднородности и случайности с изменением своих величин. Многие объекты сельскохозяйственной автоматики имеют контролируемые и регулируемые параметры, распределенные как по технологическому полю или большому объему, так и во времени. Например, в нагревательных установках и сушилках, зернохранилищах и овощехранилищах, теплицах и животноводческих помещениях необходимо по всему объекту контролировать параметры (температуру, влажность, газосодержание, освещение и т. п.) и управлять ими. Для таких объектов системы автоматики должны иметь оптимальное число первичных преобразователей (датчиков) и исполнительных органов и в то же время обеспечить управление параметрами во всех рассредоточенных зонах с заданной точностью и надежностью.

Существенная особенность большинства сельскохозяйственных установок – их работа на открытом воздухе, где окружающая среда непостоянна: широкие пределы изменения влажности и температуры, наличие примесей, пыли, мякины, песка в полеводстве или агрессивных газов (аммиака, сероводорода и углекислого газа), бактериальной

осеменности, плесени в животноводстве, а также наличие значительных вибраций и толчков.

Поэтому условия работы средств автоматики в сельском хозяйстве очень тяжелые и вероятность возникновения этих неисправностей значительно чаще, чем в других отраслях народного хозяйства.

Вследствие перечисленных особенностей и ряда других причин методы и средства автоматизации и требования к ним в сельском хозяйстве значительно отличаются от промышленных.

При разработке устройств автоматики сельских установок их необходимо рассчитывать на широкие пределы изменения параметров окружающей среды. Это позволит получить высоконадежные средства, так как наиболее эффективные мероприятия борьбы за повышение надежности устройств автоматики – выбор элементов с малой опасностью отказов и различные способы увеличения надежности при проектировании. Указанные специфические особенности в первую очередь влияют на первичные преобразователи (датчики) и исполнительные органы автоматики, устанавливаемые непосредственно на объектах автоматизации и испытывающие все неблагоприятные условия окружающей среды. Остальные узлы автоматики можно располагать в отдельных помещениях или специальных шкафах, исключающих неблагоприятное воздействие окружающей среды.

Типовые технические решения при автоматизации технологических процессов

Общая задача управления ТП – это минимизация (максимизация) некоторого критерия (себестоимость, затраты энергии и т. д.) при выполнении ограничений на технологические параметры, накладываемых регламентом.

Поскольку решение данной задачи для всего процесса в целом затруднительно (много влияющих факторов), весь ТП следует разбить на отдельные участки, причем обычно участок соответствует законченной технологической операции, имеющей свою подзадачу (приготовление корма, обработка молока и т. д.).

Для отдельного ТП критерий оптимальности установить проще. Это может быть требование стабилизации параметра или несложно вычисляемого критерия. На основании принятого критерия оптимальности для отдельного ТП легко формулируется задача автоматизации. Кроме критерия оптимальности для решения этой задачи необходим анализ объекта автоматизации с точки зрения выявления всех

существенных входных и выходных переменных, а также анализ статических и динамических характеристик каналов передачи возмущающих и управляющих воздействий.

Технологические процессы одного типа (например, процессы нагрева) могут отличаться исполнением аппаратуры, физико-химическими свойствами участвующих в них потоков сырья и т. д. Однако все они протекают по одним и тем же законам и подчиняются общим закономерностям. Характер этих закономерностей в первую очередь определяется тем, какой параметр участвует в управлении. Для одного класса процессов, протекающих в типовой технологической системе, может быть разработано типовое решение по автоматизации, являющееся приемлемым для широкого круга систем. Наличие типового решения значительно упрощает задачу построения АСУ.

К числу типовых технологических параметров, подлежащих контролю и регулированию, относят расход, уровень, давление, температуру и ряд показателей качества.

Регулирование расхода. Системы регулирования расхода характеризуются малой инерционностью и частой пульсацией параметра.

Обычно *управление расходом* – это дросселирование потока вещества с помощью клапана или шиберов; изменение напора в трубопроводе за счет изменения частоты вращения привода насоса или степени байпасирования (отведения части потока через дополнительные каналы).

Принципы реализации регуляторов расхода жидких и газообразных сред показаны на рис. 3.4, а, сыпучих материалов – на рис. 3.4, б.

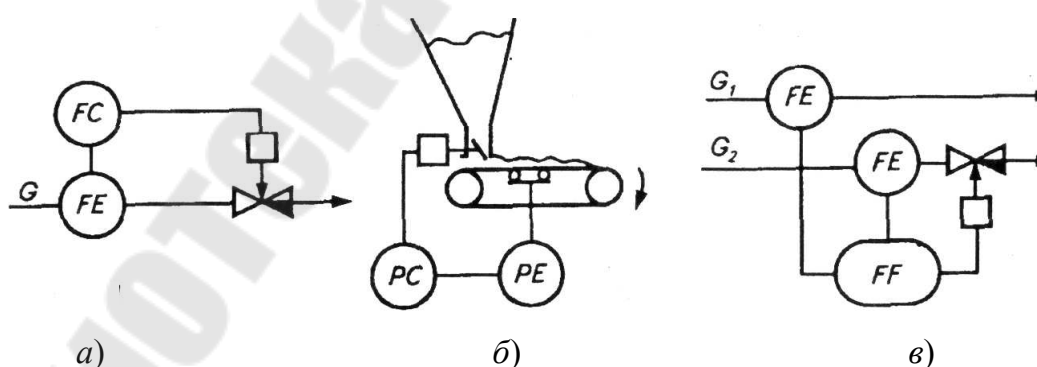


Рис. 3.4. Схемы регулирования расхода:

а – жидких и газообразных сред; б – сыпучих материалов;

в – соотношения сред

В практике автоматизации ТП встречаются случаи, когда требуется стабилизация соотношения расходов двух или более сред.

В схеме, показанной на рис. 3.4, *в*, поток G_1 – ведущий, а поток $G_2 = \gamma G_1$ – ведомый, где γ – коэффициент соотношения расходов, который устанавливают в процессе статической настройки регулятора.

При изменении ведущего потока G_1 регулятор FF пропорционально изменяет ведомый поток G_2 .

Выбор закона регулирования зависит от требуемого качества стабилизации параметра.

Регулирование уровня. Системы регулирования уровня имеют те же особенности, что и системы регулирования расхода. В общем случае поведение уровня описывается дифференциальным уравнением

$$S \frac{dL}{dt} = G_{\text{вх}} - G_{\text{вых}} \pm G_{\text{обр}}, \quad (3.1)$$

где S – площадь горизонтального сечения емкости; L – уровень; $G_{\text{вх}}$, $G_{\text{вых}}$ – расход среды на входе и выходе; $G_{\text{обр}}$ – количество среды, увеличивающейся или уменьшающейся в емкости (может быть равно 0) в единицу времени t .

Постоянство уровня свидетельствует о равенстве количеств подаваемой и расходуемой жидкости. Это условие может быть обеспечено воздействием на подачу (рис. 3.5, *а*) или расход (рис. 3.5, *б*) жидкости. В варианте регулятора, показанном на рис. 3.5, *в*, используют для стабилизации параметра результаты измерений подачи и расхода жидкости. Импульс по уровню жидкости – корректирующий, он исключает накопление ошибки вследствие неизбежных погрешностей, возникающих при изменении подачи и расхода. Выбор закона регулирования также зависит от требуемого качества стабилизации параметра. При этом возможно использование не только пропорциональных, но также и позиционных регуляторов.

Регулирование давления. Постоянство давления, как и постоянство уровня, свидетельствует о материальном балансе объекта.

В общем случае изменение давления описывается уравнением, аналогичным формуле (3.1):

$$V \frac{dp}{dt} = G_{\text{вх}} - G_{\text{вых}} \pm G_{\text{обр}}, \quad (3.2)$$

где V – объем аппарата; p – давление.

Аналогичность уравнений (3.1) и (3.2) свидетельствует о том, что способы регулирования давления аналогичны способам регулирования уровня.

Регулирование температуры. Температура – показатель термодинамического состояния объекта. Динамические характеристики САР температуры зависят от физико-химических параметров процесса и конструкции аппарата. Особенность такой САР – значительная инерционность объекта и нередко измерительного преобразователя.

Принципы реализации регуляторов температуры аналогичны принципам реализации регуляторов уровня (рис. 3.5) с учетом управления расходом энергии в объекте.

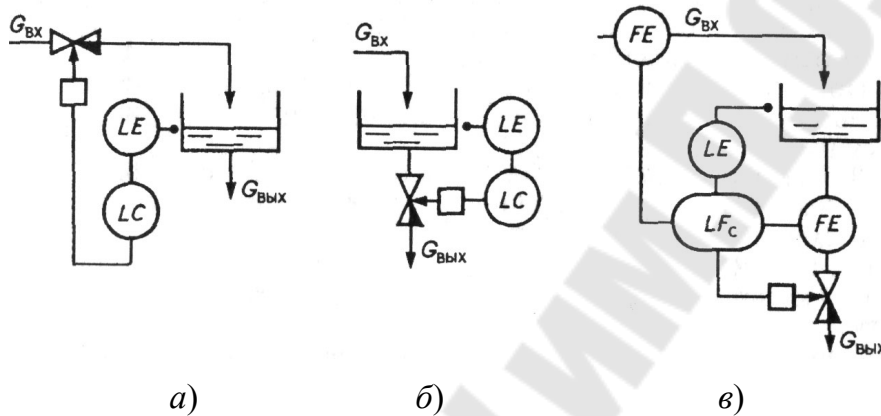


Рис. 3.5. Схемы систем регулирования уровня:
 а – с воздействием на подачу; б и в – с воздействием на расход среды

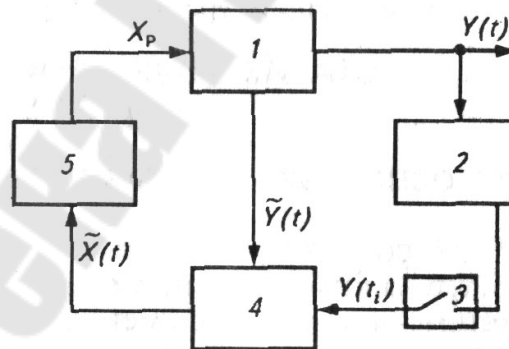


Рис. 3.6. Схема системы регулирования качества продукта:
 1 – объект; 2 – анализатор качества; 3 – экстраполяционный фильтр;
 4 – вычислительное устройство; 5 – регулятор

Выбор закона регулирования зависит от инерционности объекта: чем она больше, тем закон регулирования сложнее. Постоянная времени измерительного преобразователя может быть снижена за счет увеличения скорости движения теплоносителя, уменьшения толщины стенок защитного чехла (гильзы) и т. д.

Регулирование параметров состава и качества продукта. При регулировании состава или качества продукта возможна ситуация, когда параметр (например, влажность зерна) измеряют дискретно. При этом неизбежны потеря информации и снижение точности процесса регулирования. Схема регулятора, стабилизирующего промежуточный параметр $Y(t)$, значение которого зависит от основного регулируемого параметра – показателя качества продукта $Y(t_i)$, показана на рис. 3.6. Вычислительное устройство 4, используя математическую модель связи между параметрами $Y(t)$ и $Y(t_i)$, непрерывно оценивает показатель качества. Экстраполяционный фильтр 3 выдает оценочный параметр качества продукта $Y(t_i)$ в промежутках между двумя измерениями.

Тема 4

ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Виды объектов САУ в сельскохозяйственном производстве

Любая система автоматического управления или регулирования (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 коорди-

нате, 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. 4.1, а кривая 1), астатические (кривая 2) и неустойчивые (кривая 3).

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. 4.1, б). В установившемся состоянии приток равен расходу $Q_{\text{пр}} = Q_{\text{расх}}$ и $h = \text{const}$. 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 $h + \Delta h = \text{const}$, при котором также $Q_{\text{пр}} = Q_{\text{расх}}$.

Примером астатического объекта может служить резервуар с водой при подаче ее над уровнем. Расход ее обеспечивается насосом, вращающимся с постоянной скоростью (рис. 4.1, в). В этом резервуаре величина уровня h не влияет как на ее приток $Q_{\text{пр}}$, так и на ее расход, зависящий от производительности насоса.

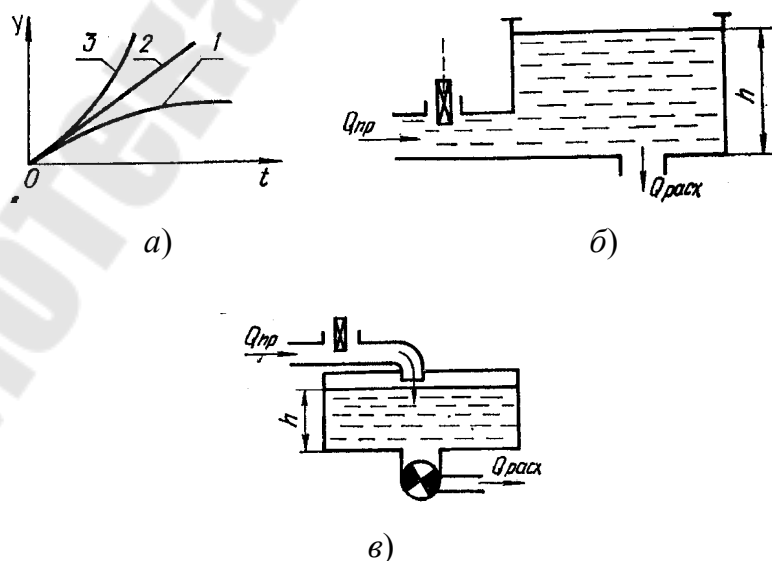


Рис. 4.1. Пример астатического объекта

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.

Свойства объектов управления

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.

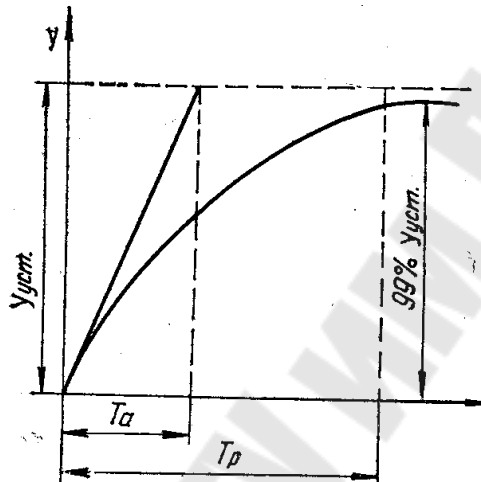


Рис. 4.2. Переходный процесс

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. 4.2). 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, или **скорость разгона объекта** представляет величину, обратную времени разгона $\varepsilon = 1/T_p$. Если $\varepsilon \rightarrow \infty$,

$T_p \rightarrow 0$ – объект представляет собой усилительное 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, лишённого самовыравнивания. Постоянная времени T_a определяется аналитически или графически, путем проведения касательной к кривой разгона объекта. Значение T_a можно принимать равным

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

Самовыравнивание объекта – это свойство объекта после возникновения возмущения придти 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)

$$\delta = \frac{H_0}{Q_0} \left[\left(\frac{dQ_p}{dH} \right)_0 + \left(- \frac{dQ_n}{dH} \right)_0 \right],$$

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. 4.3).

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. 4.3, 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 .

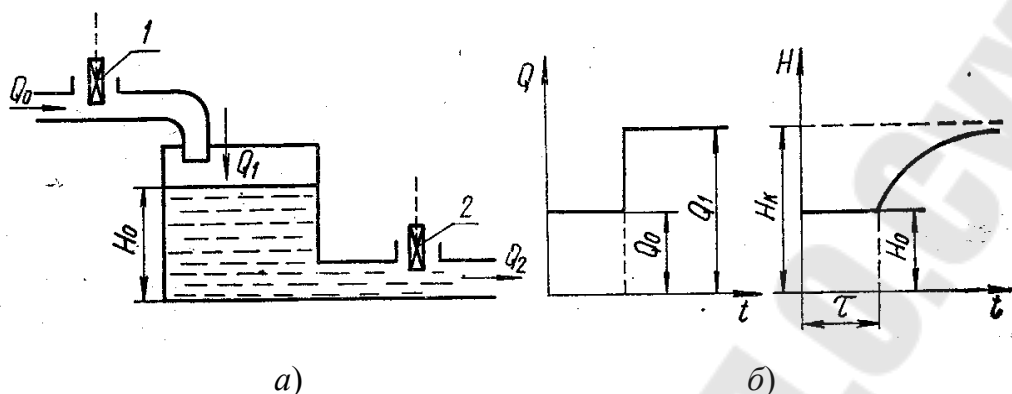


Рис. 4.3. Объект с самовыравниванием

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. 4.3, б). При этом различают два вида запаздывания: передаточное (транспортное) τ_T и переходное τ_{II} . Время общего запаздывания $\tau_{об} = \tau_T + \tau_{II}$.

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

Переходное запаздывание τ_{II} (иногда его называют емкостным) — это промежуток времени от момента возмущения до начала изменения параметра. Например, для изменения температуры воздуха в помеще-

нии необходимо некоторое время на прогрев потолка, стен, пола и предметов, находящихся в помещении, после чего в нем установится заданная температура.

Аналитический метод построения математической модели

Дифференциальные уравнения простых элементов можно составить, используя закономерности протекающих в них физических явлений. Такими закономерностями могут быть: закон сохранения вещества (объект регулирования уровня, давления), закон сохранения энергии (объект регулирования температуры), законы электротехники и т. д. Уравнения статических и переходных режимов составляют на базе уравнений балансов вещества или энергии.

При составлении дифференциальных уравнений сложного объекта (или системы) он должен быть расчленен на простейшие элементы, соединенные последовательно, для каждого из которых составляются математические модели статики и динамики. Дифференциальное уравнение объекта или системы в целом получают путем исключения промежуточных величин.

Как указывалось ранее, в большинстве случаев уравнения элементов нелинейные, и потому дифференциальное уравнение системы, как правило, нелинейное и подлежит линеаризации.

В целях упрощения задачи при использовании аналитического метода построения математической модели допускают определенные упрощения (пренебрегают распределенностью параметров, исключают несущественные возмущающие воздействия и т. д.).

Проиллюстрируем применение метода на примере пневматической системы, состоящей из дросселя D и камеры объемом V . Входная величина системы – давление $p_{\text{вх}}$ воздуха перед дросселем, выходная – давление $p_{\text{вых}}$ за камерой. Расход воздуха через дроссель

$$M = \alpha(p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}}),$$

где α – коэффициент расхода (проводимость) дросселя, кг/(с · Па). С другой стороны, согласно уравнению состояния идеального газа $M = pV / RT$, где R – универсальная газовая постоянная; T – температура газа, К.

Изменение массового расхода за время Δt :

$$\Delta M = \frac{V}{RT} \Delta p_{\text{вых}} = \alpha(p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}}) \Delta t.$$

Разделив обе части уравнения на $\alpha\Delta t$, получим уравнение динамики элемента

$$\frac{V}{\alpha RT} \frac{dp_{\text{ВЫХ}}}{dt} + p_{\text{ВЫХ}} = p_{\text{ВХ}}.$$

В статическом режиме $p_{\text{ВЫХ}} = kp_{\text{ВХ}}$.

Чтобы получить такое простое уравнение, был сделан ряд допущений: процесс дросселирования газа считали изотермическим и не учитывали зависимость α от Δp .

Тема 5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В практике синтеза автоматических СУ технологическими процессами сельскохозяйственного производства используют два метода экспериментального определения (идентификации) статических и динамических характеристик объектов автоматизации – активный и пассивный.

В первом случае испытательное воздействие стандартной формы задают искусственно, во втором – объект исследуют путем сопоставления выходных и входных величин в условиях нормальной эксплуатации объекта.

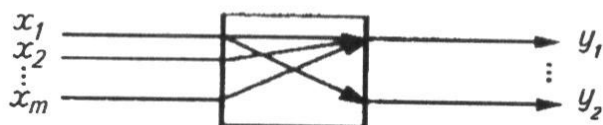
Выбор метода идентификации объекта определяется поставленной задачей, условиями опытов, эксплуатационными возмущениями и допустимыми по технологическим требованиям отклонениями исследуемых величин. Активный метод предполагает определение статических характеристик объекта, т. е. его поведение в установившемся состоянии, т. е. показывают взаимосвязи между входными $x(t)$ и выходными $y(t)$ координатами, когда все производные функций $x(t)$ и $y(t)$ равны нулю. В общем виде статическая характеристика объекта с m входами (рис. 5.1, а) имеет вид

$$y_1 = f(x_1, x_2, \dots, x_m).$$

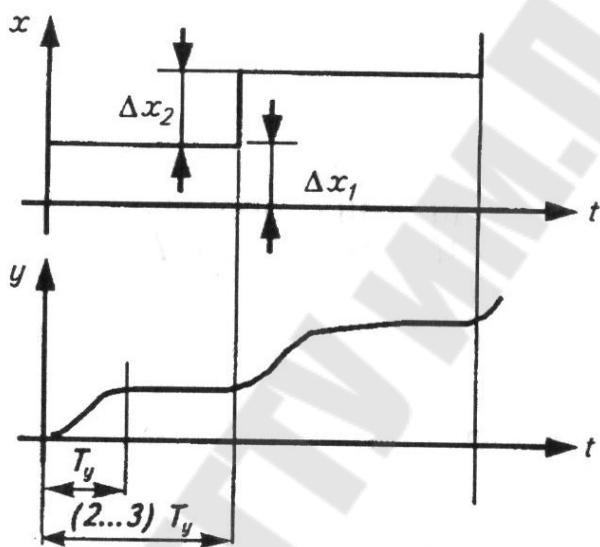
Рассмотрим процедуру определения статических характеристик объекта поэтапно:

1. *Подготовка и планирование эксперимента.* Изучают ТП, оборудование и устанавливают взаимные связи между выходными и входными параметрами.

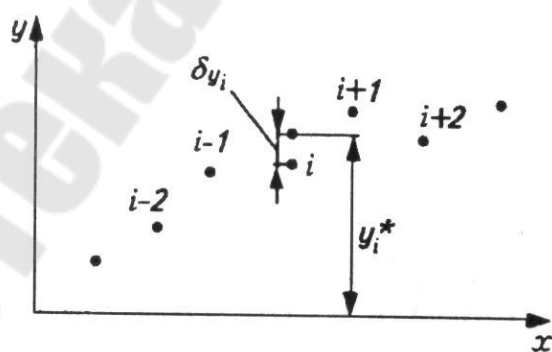
2. Проведение эксперимента. Каждая входная величина изменяется ступенчато в пределах рабочего диапазона Δx : и спустя $(2...3)T_y$, где T_y – длительность переходного процесса, фиксируют значение выходной величины y (рис. 5.1, б).



а)



б)



в)

Рис. 5.1. Активный эксперимент по определению статических характеристик:

а – схема связей между входными и выходными параметрами;
 б – график эксперимента; в – к методу четвертых разностей

Так, для определения статических характеристик зимней теплицы с водяным обогревом устанавливают соотношения между расходом воды через регулирующий клапан и температурой воздуха в средней точке теплицы. При этом температуру измеряют после стабилизации температурного режима сооружения.

Общее число опытов

$$d = (x_{\max} - x_{\min}) / \Delta x,$$

где x_{\max} , x_{\min} – верхняя и нижняя границы диапазона изменения входной величины; Δx – величина входного воздействия.

Практически рекомендуемое число опытов $d = 6 \dots 10$. Опыт повторяют по каждому из каналов исследования.

3. *Обработка результатов эксперимента.* Полученные зависимости $y = f(x_1, x_2, \dots)$ могут быть искажены помехой и потому подлежат сглаживанию одним из известных методов (обычно скользящего среднего или четвертых разностей).

Идея метода четвертых разностей (рис. 5.1, в) состоит в последовательном вычислении поправки для каждой экспериментальной точки последовательно. Эту поправку вычисляют по формуле

$$\delta y_i = y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2},$$

в которую входят ордината i -й точки и ординаты четырех соседних с ней точек $i - 2, i - 1, i + 1, i + 2$. Истинное значение

$$y_i^* = y_i + \delta y_i.$$

Полученная статическая характеристика, как правило, нелинейна и потому желательна ее линеаризация одним из рассмотренных ранее методов с целью аппроксимации простейшей зависимостью вида $y = a + bx$.

При двух входных воздействиях x_1 и x_2 вид аппроксимирующего выражения усложняется:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1x_2.$$

Определение статических характеристик (пассивный метод)

Стохастические (случайные) изменения выходных величин нормально функционирующего объекта автоматизации обусловлены как случайными изменениями входных величин, так и процессами, происходящими в самом объекте, причем последующие значения случайно изменяющихся физических величин точно предсказать невозможно.

В рассмотренном выше примере с теплицей такого рода случайно изменяющимися воздействиями являются изменения наружной температуры, солнечной радиации или давления воды в питающей тепловой сети. С математической точки зрения такие воздействия и процессы, ими вызываемые, рассматривают как случайные функции (СФ) времени. Значение их статических характеристик позволяет определить динамические характеристики объекта автоматизации и успешно решить задачу синтеза САР. При этом обычно достаточно использования теории СФ, характеристиками случайного процесса (СП) которой служат математическое ожидание (МО) и корреляционная функция (КФ).

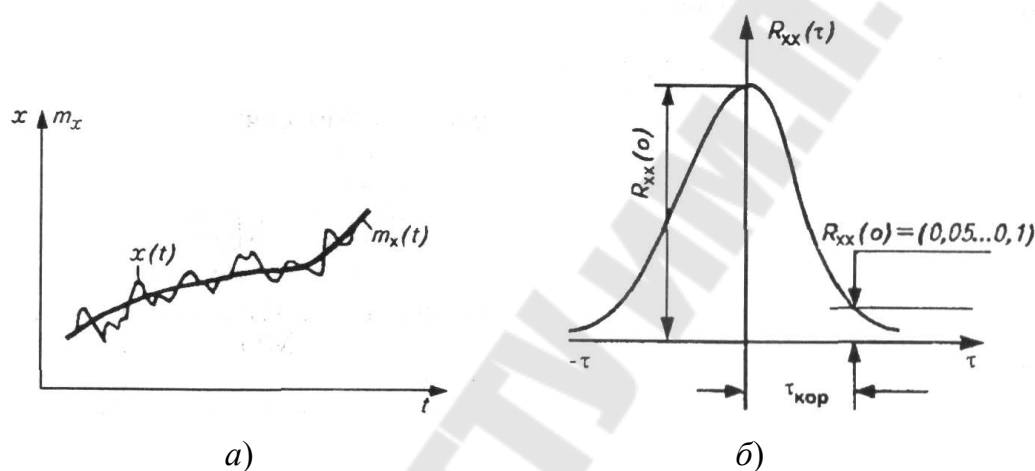


Рис. 5.2. Графики:
а – случайного процесса; б – автокорреляционной функции

Математическое ожидание СП $x(t)$ в момент времени t_i (рис. 5.2, а) есть среднее арифметическое значение для N реализаций СП:

$$m_x(t_i) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t_i),$$

где i – номер реализации.

Математическое ожидание СП – детерминированная величина. Случайный процесс $x(t)$, МО которого равно нулю, называют *центрированным*, $m[x(t)] = 0$.

Дисперсия характеризует интенсивность отклонения СП от МО. Ее определяют как среднее значение квадрата колебаний центрированного СП:

$$D_x(t_i) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{x_i(t_i) - m_x(t_i)\}^2.$$

Дисперсия СП в момент t_i – детерминированная величина. Она всегда положительна.

Вместо дисперсии часто используют *среднее квадратическое отклонение* СФ:

$$\sigma_x(t_i) = \sqrt{D_x(t_i)}.$$

Автокорреляционная функция характеризует связь между значениями СП в разные моменты времени t_i и t_j :

$$R_{xx}(t_i, t_j) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x_i(t_i) - m_x(t_i)][x_j(t_j) - m_x(t_j)].$$

Случайные процессы могут быть *стационарными* и *нестационарными*. К группе нестационарных относятся СП, МО и КФ, которые зависят от времени, т. е. от точки отсчета.

Автокорреляционная функция R_{xx} стационарного СП зависит только от интервала сдвига (τ) и не зависит от момента отсчета (рис. 4.2, б).

Многие СП обладают свойством *эргодичности*, которое состоит в том, что характеристики процессов, вычисленные по множеству реализаций при фиксированном времени и усреднением по времени одной реализации длиной T , совпадают.

Для СП, обладающих свойством эргодичности,

$$R_{xx}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t + \tau)dt.$$

Если интервал реализации T разделить на N дискретных интервалов времени Δt (шаг дискретизации), то оценка центрированной КФ:

$$R_{xx}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i\Delta t)x(i\Delta t + j\Delta t). \quad (5.1)$$

Спектральная плотность характеризует частотные свойства СП (среднее значение квадрата амплитуды гармоник):

$$S_{xx}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_{xx}(\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau = 2 \int_0^{\infty} R_{xx}(\tau) \cos \omega\tau d\tau.$$

Первое из выражений для вычисления спектральной плотности связано с предварительной аппроксимацией КФ каким-либо аналитическим выражением с последующим использованием табличных интегралов.

лов. При использовании ЭВМ предпочтительно вычисление $S_{xx}(\omega)$ и $R_{xx}(\tau)$ методами численного эксперимента.

Кроме расчетных методов для получения спектральных плотностей может быть использован специальный частотный анализатор.

Спектральная плотность – четная функция частоты, причем медленно меняющиеся (низкочастотные) процессы имеют более узкий график спектральной плотности, чем быстро меняющиеся (высокочастотные) процессы.

Определение динамических характеристик

Динамические характеристики объекта автоматизации могут быть представлены в виде *амплитудной фазочастотной характеристики* (АФЧХ), определяемой по формуле

$$W_{об}(j\omega) = S_{yx}(\omega) / S_{xx}(\omega),$$

где $S_{xx}(\omega)$ и $S_{yy}(\omega)$ – спектральная плотность входного сигнала и взаимная спектральная плотность входного и выходного сигналов.

Если входной сигнал объекта – «белый шум», то расчетная формула упрощается, ибо его спектральная плотность $S_{xx}(\omega)$ величина постоянная и равна a :

$$W_{об}(j\omega) = S_{yx}(\omega) / a.$$

По этим формулам строят АФЧХ объекта при изменении ω от 0 до ∞ .

Подводя итоги, можно предложить следующие рекомендации по выбору метода построения модели объекта:

1. Аналитический метод дает модель, применимую для всего класса однотипных объектов, позволяющую оценить влияние конструктивно-технологических параметров объекта на его статические и динамические характеристики.

Недостаток метода – невысокая точность, поскольку его использование требует существенных упрощений задачи.

2. Экспериментальный метод дает модель, отличающуюся большей точностью и значительно меньшими трудозатратами.

Недостатки метода – невозможность применить модель для другого объекта и оценить влияние отдельных конструктивно-технологических параметров на характеристики объекта.

Пассивный эксперимент применим при высоком уровне возмущающих воздействий, а также при невозможности обеспечить тре-

буемое детерминированное воздействие. В остальных случаях активный эксперимент предпочтительнее.

Перспективен экспериментально-аналитический метод. В этом случае уравнения статики и динамики составляются аналитическими методами, а коэффициенты этих уравнений находят экспериментально на реально существующих объектах.

Критерий адекватности модели и объекта – близость результата численного решения дифференциального уравнения и экспериментальной переходной характеристики.

Тема 6 ПЕРВИЧНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (МЕХАНИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ)

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. 6.1). В том случае если в датчике не происходит преобразования сигналов, он включает только чувствительный элемент.

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.

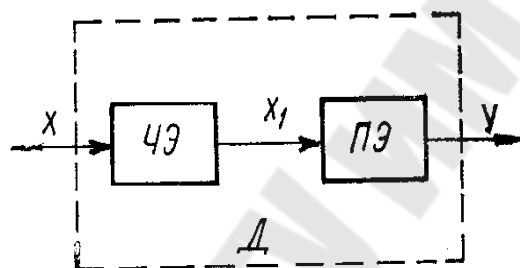


Рис. 6.1. Функциональная схема датчика

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. 6.2, кривая 1) чувствительность постоянная:

$$k_c = y / x.$$

Для датчиков с нелинейной характеристикой (рис. 6.2, кривая 2) чувствительность 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.

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

Относительная погрешность $y = \Delta y / y \cdot 100 \%$.

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

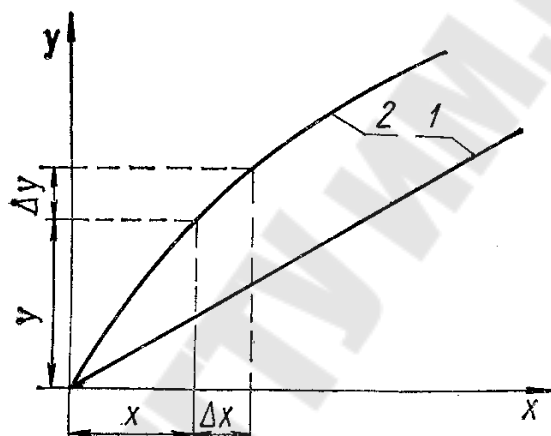


Рис. 6.2. Статическая характеристика датчика

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 звеном и находится в состоянии силового замыкания с источником информации (рис. 6.3). Определенная силовая настройка щупа позволяет выделить полезный сигнал, например, культурные растения, поэтому его тип выбирают в зависимости от физико-механических свойств источника информации.

Полозок 1 (рис. 6.3, а) 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. Посредством рычажной системы и демпфирующего устройства 2 ползок 1 соединен с гидрораспределителем 3, который вырабатывает управляющий сигнал (рис. 6.3, б).

Копиры 1 (рис. 6.3, в), движущиеся по рядам свеклы, при сближении на угол рассогласования σ посредством тяги 2 вызывают смещение x золотника гидрораспределителя 3.

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

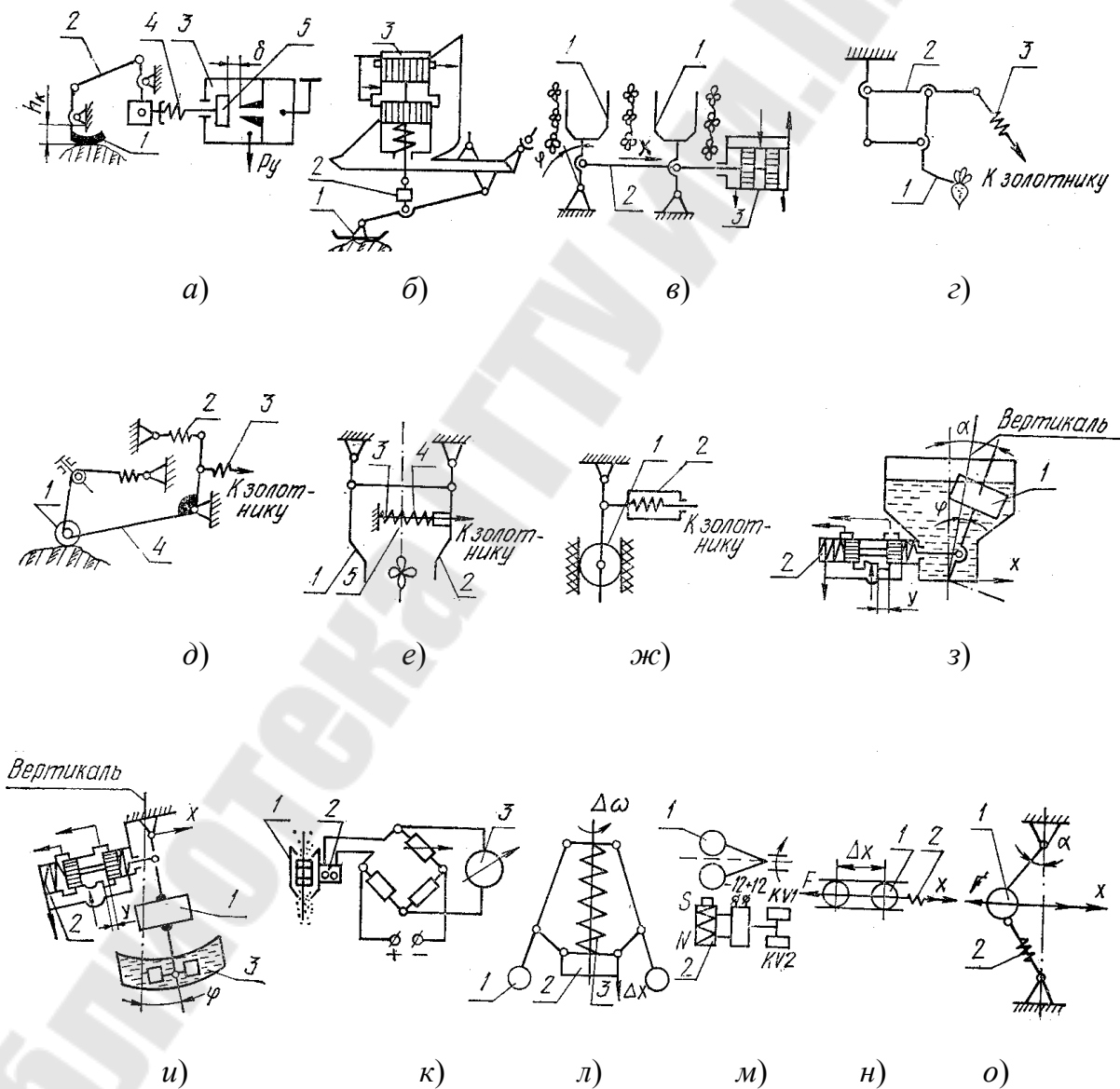


Рис. 6.3. Примеры механических датчиков

На рис. 6.3, *г* приведена схема чувствительного элемента системы регулирования высоты среза ботвы корнеуборочными машинами.

Чувствительный элемент (рис. 6.3, *д*) состоит из копирующих катков 1 (обычно их четыре), связанных кинематически, уравновешивающей пружины 2, демпфера 3 и рычажной системы 4, действующей на золотник гидрораспределителя.

На рис. 6.3, *е* приведена схема чувствительного элемента системы автоматизации пропашного культиватора при наличии пропусков растений в рядках. Щупы 1, 2 самоустанавливаются в нейтральное положение при отсутствии растений под действием пружин 3, 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. 6.3, *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. 6.3, *з*) или подвешенный (рис. 6.3, *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 y золотника из нейтрального положения.

В механическом устройстве для определения потерь зерна на конечном участке соломотряса зерноуборочного комбайна (рис. 6.3, *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 w в механическое перемещение x муфты 2 (рис. 6.3, л), связанный с рейкой топливного насоса. Роль чувствительного элемента выполняет груз 1, роль задающего устройства – пружина 3.

На рис. 6.3, 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. 6.3, 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.

В маятниковом акселерометре с чувствительным элементом 1 и противодействующей пружиной 2 (рис. 6.3, о) 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 нестабильных свойств чаще используют электромагнитные устройства.

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. 6.4, 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. 6.4, 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 гидросилителем руля.

Аналогичное устройство (рис. 6.4, в) используется в системе автоматического направления движения чехословацкого культиватора КРН-6А. 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. 6.4, г 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.

На рис. 6.4, д показано электроконтактное измерительное устройство регулятора загрузки молотилки комбайна, выполненное на базе пружинного динамометра. Датчик встраивается между ведомым шкивом 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. 6.4, е) 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 :

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

Механический чувствительный элемент 1 с электроконтактами (рис. 6.4, 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.

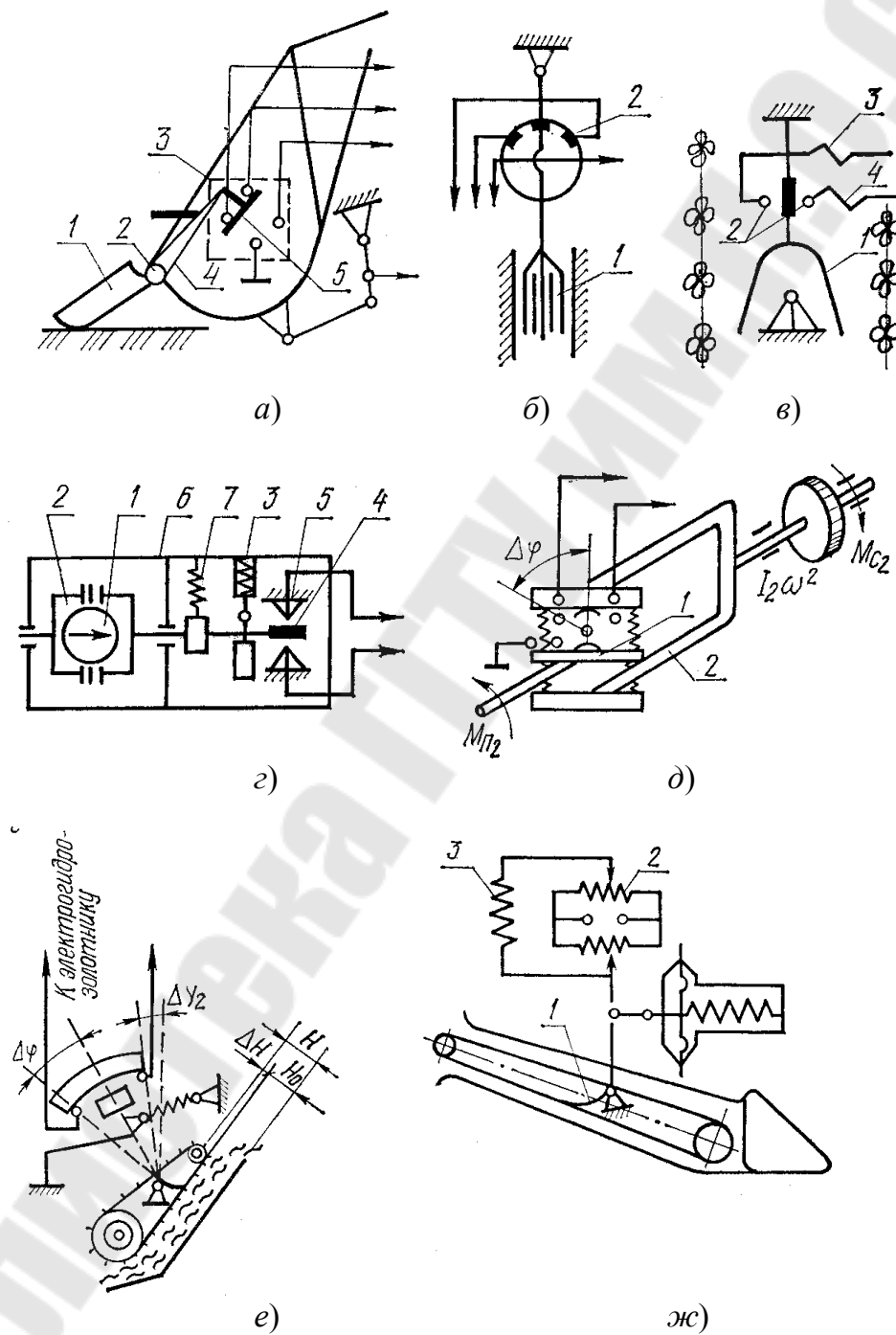


Рис. 6.4. Механические измерительные преобразователи с электроконтактами

Тема 7 ДРУГИЕ ВИДЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

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 $U = f(x)$, $U = f(\varphi)$.

Конструктивно потенциометрическое измерительное устройство (рис. 7.1) состоит из каркаса 1 (прямого или кругового), обмотки 2 (из константа, 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.

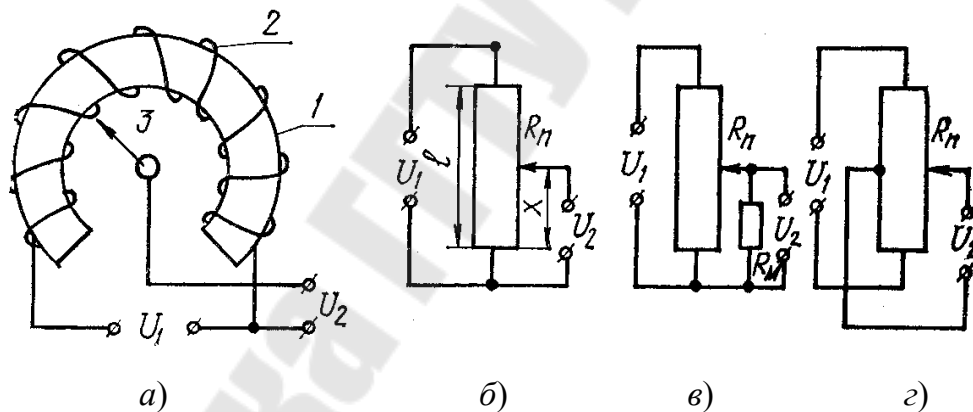


Рис. 7.1. Пример потенциометрических датчиков

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 схемы на рис. 7.1, 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 устройств согласно схемам на рис. 7.1, а, б напряжение на выходе определяется из выражений:

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

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

Для схемы на рис. 7.1, з

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

Широко применяются в системах автоматики потенциметрические датчики ПЛ1 и ПЛ2, ПД, ПК, МУ.

Применение потенциметрических измерительных устройств в системах сельскохозяйственной автоматики иллюстрирует рис. 7.2.

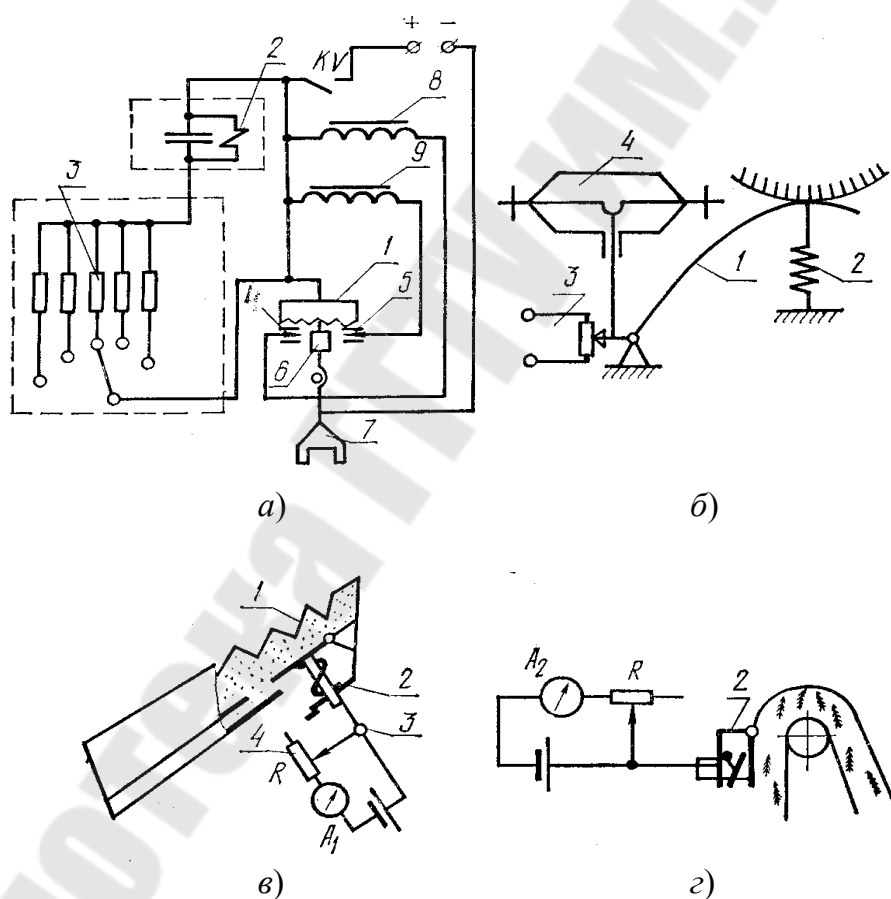


Рис. 7.2. Использование потенциметрических датчиков в системе автоматического управления сельскохозяйственных машин

В автоматической системе управления тракторным агрегатом (рис. 7.2, 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. 7.2, б) в системе автовождения комбайна, выполненный в виде флюгер-копира, закрепляется на левом полевом делителе и прижимается к бровке пружинной 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 потенциометрических преобразователей для определения потерь зерна комбайном (рис. 7.2, 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. 7.2, г) размещено в верхней головке колосового элеватора и служит для определения потерь зерна недомолотом.

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. 7.3, а–в): проволочные на бумажной (типа 2ПКБ) и пленочной (типа 2ПКП) основе; фольговые прямо угольные (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 0,5А. Максимальная допустимая относительная деформация не превышает 0,3 %.

При измерениях датчики включают либо по потенциометрической (рис. 7.3, з) либо по мостовой (рис. 7.3, д) схемам.

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

К числу резисторных преобразователей относятся также угольные преобразователи (рис. 7.3, е). 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.

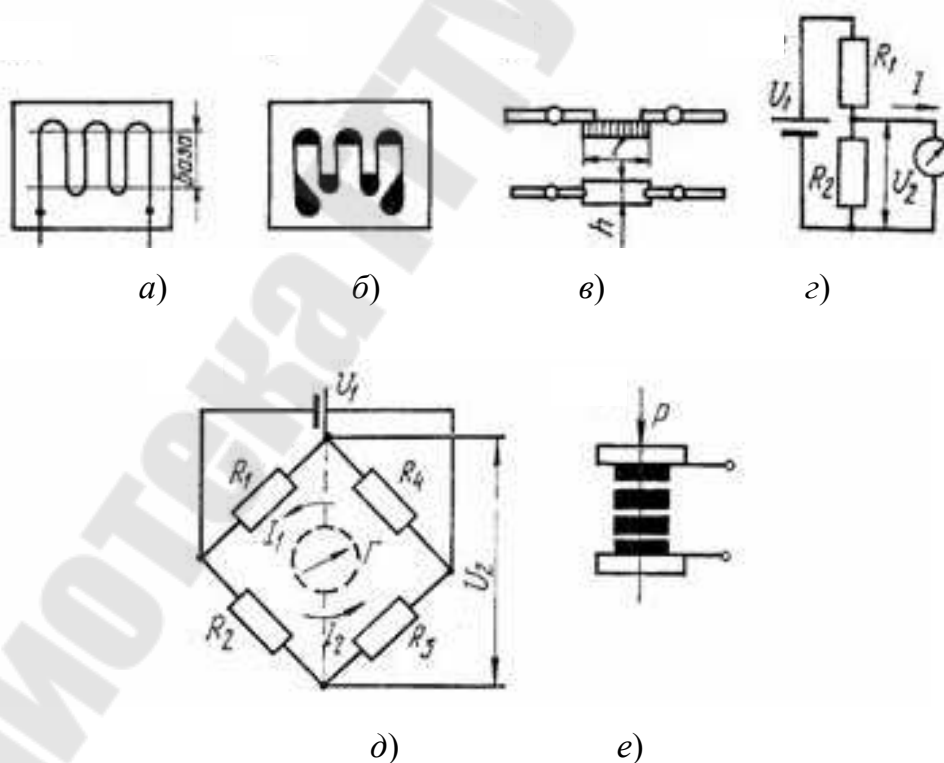


Рис. 7.3. Тензометрические датчики

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.

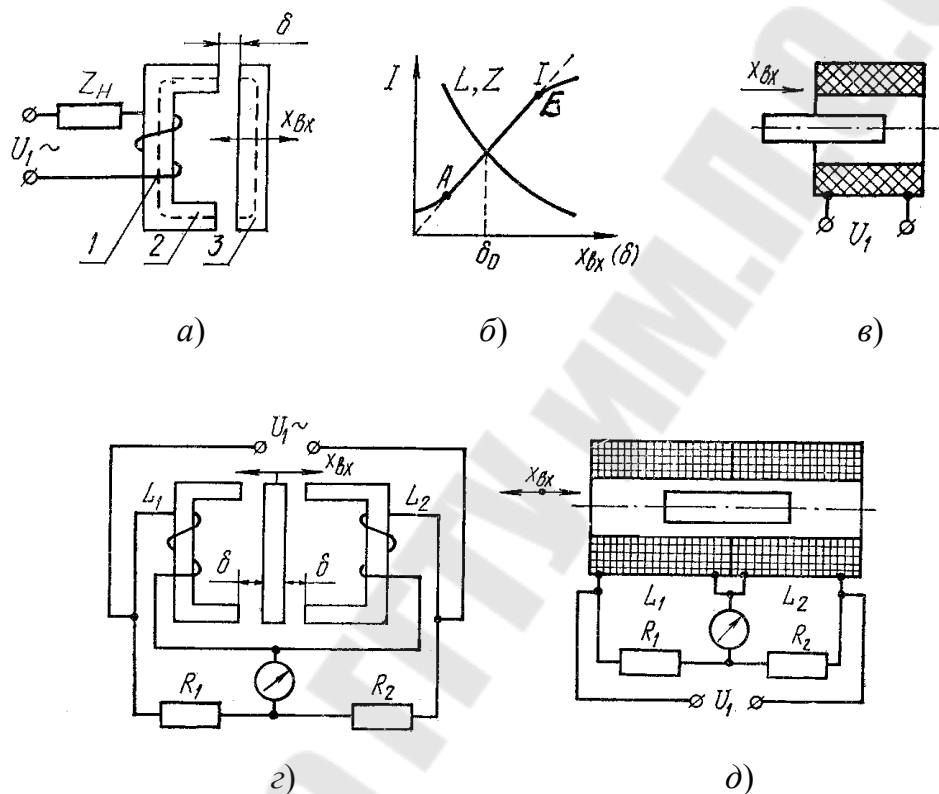


Рис. 7.4. Индуктивные датчики

Индуктивные датчики преобразуют изменения регулируемой величины в изменение индуктивного сопротивления обмотки. Они работают на переменном токе и состоят из сердечника 2, катушки индуктивности L и якоря 3 (рис. 7.4, а).

При перемещении якоря изменяется воздушный зазор δ , индуктивность катушки и ее полное сопротивление переменному току

$$Z = \sqrt{R_{\text{ок}}^2 + R_L^2}.$$

Чувствительность индуктивного преобразователя $S = \frac{\Delta Z/Z}{\Delta \delta/\delta}$, т. е. обратно пропорциональна начальному зазору. 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. 7.4, б) имеет изгибы в точках А и Б, поэтому величину первоначального зазора δ_0 следует выбирать в середине прямолинейного участка. Для устройства (рис. 7.4, а) входное перемещение допускается от 0,01 до 5 мм, а для соленоидного преобразователя (рис. 7.4, в, д) от 3 до 100 мм.

Реверсивная схема (рис. 7.4, д, з) включения (дифференциальный преобразователь) 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. 7.5, а–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. 7.5, а) датчика индуцируется ЭДС E_2 , величина которой находится в определенной зависимости от величины зазора δ . При $I = \text{const}$ $E_2 = w \cdot W_2 \cdot \Phi = f(\delta)$, где w – угловая частота, Φ – магнитный поток.

На рис. 7.5, 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:

$$U_{\text{вых}} = ka.$$

Для трансформаторного датчика соленоидного типа (рис. 7.5, в)

$$U_{\text{ВЫХ}} = kU_1 \frac{W_2}{W_1} x_{\text{ВХ}},$$

где $x_{\text{ВХ}} = (0,1 - 0,2)l$.

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

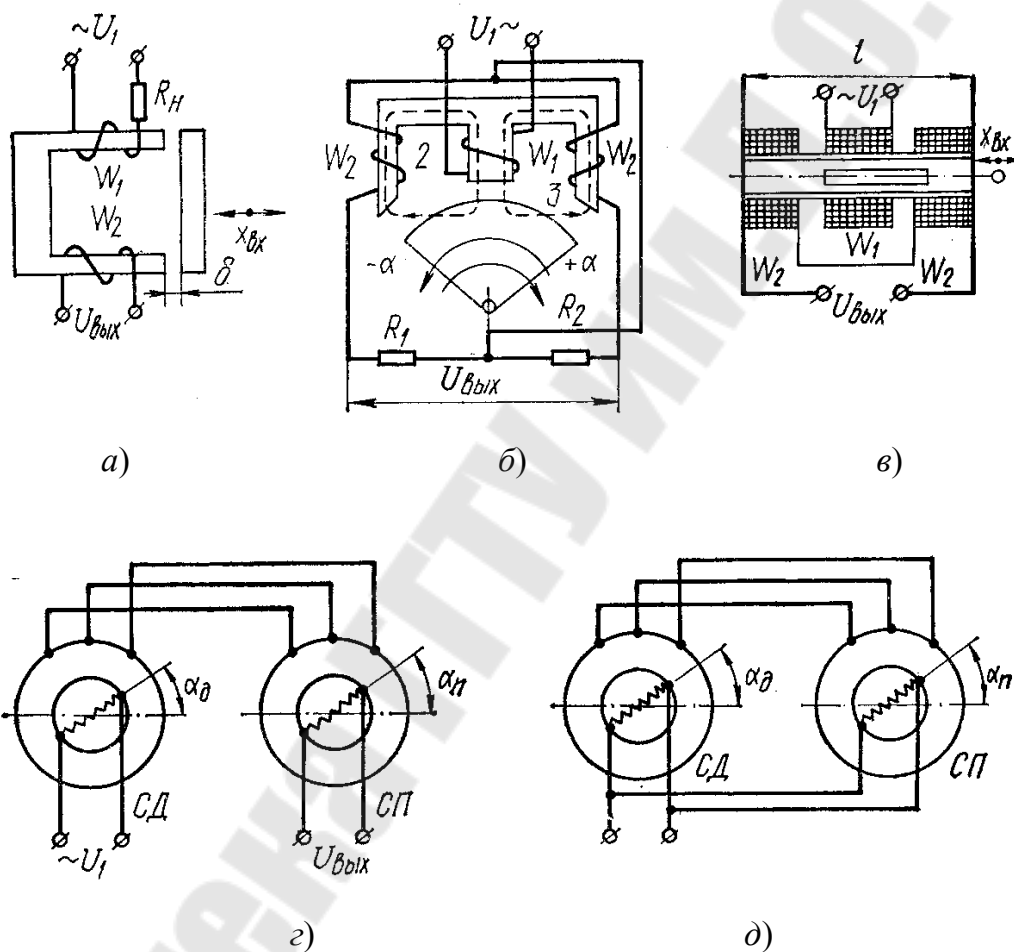


Рис. 7.5. Трансформаторные датчики

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 (СКВТ) и режима линейного вращающегося трансформатора (ЛВТ).

Разновидностью вращающихся трансформаторов являются **сельсины** – специальные индуктивные миниатюрные машины. Контактные и бесконтактные сельсины подразделяют на сельсинь-датчики (СД), сельсины-приемники (СП), 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. 7.5, з) и трансформаторном (рис. 7.5, 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. 7.6) конструктивно представляют собой магнитные сердечники той или иной конфигурации с расположенными на них одной или несколькими обмотками. Действие магнитоупругих датчиков основано на изменении магнитной проницаемости ферромагнитных тел, испытывающих воздействие сил или температуры (магнитоупругий эффект). На этом принципе строятся датчики для из-

мерения усилий или температуры. Под действием нагрузки происходит одновременное изменение магнитной проницаемости и линейных размеров сердечника.

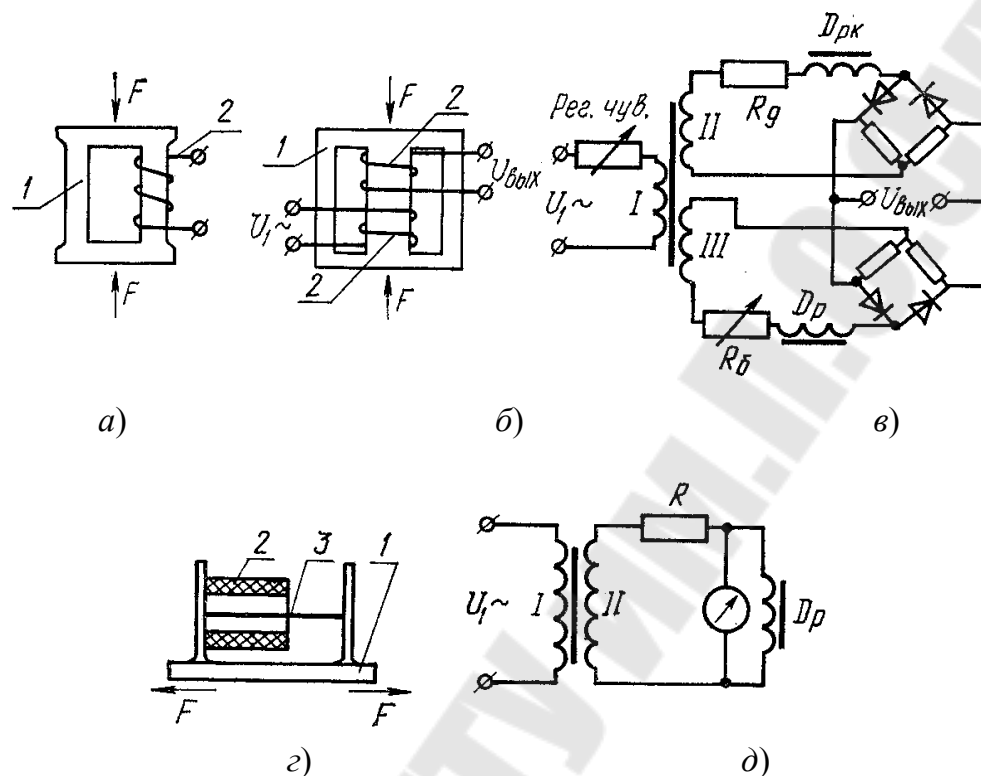


Рис. 7.6. Магнитоупругие датчики

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 $k \approx 200...300$, 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. 7.6, з представлен магнитоупругий датчик для измерения деформации с помощью пермаллового провода 3, помещенного внутри соленоида 2 и связанный 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. 7.6, б, в, д показаны схемы включения магнитоупругих датчиков. Последовательная схема (рис. 7.6, 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. 7.6, в), состоящая из двух цепей, в которые включены измерительный дроссель D_p и компенсационный D_{pk} .

Индукционные датчики (рис. 7.6) 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. 7.7, а), т. е. $T = k\Phi dx/dt$, 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 %.

К индукционным датчикам относятся также тахогенераторы постоянного (рис. 7.7, б, в) и переменного тока (рис. 7.7, 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.

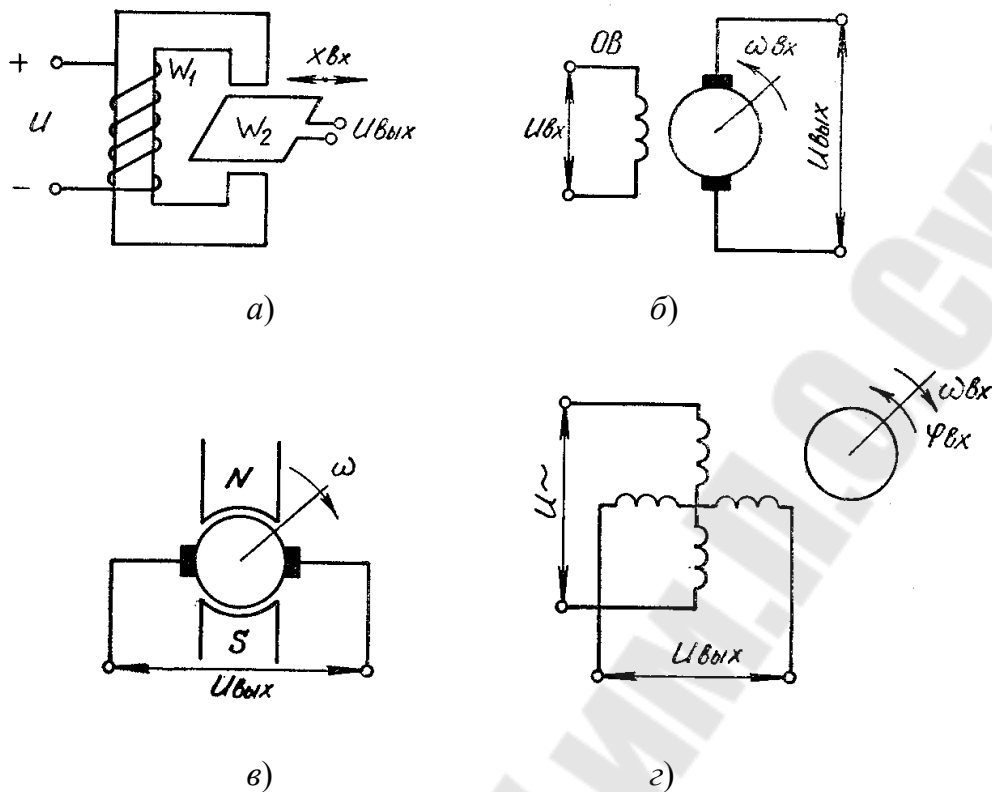


Рис. 7.7. Индукционные датчики

Электронные датчики

Электронный датчик (механотрон, рис. 7.8, 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 :

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

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.

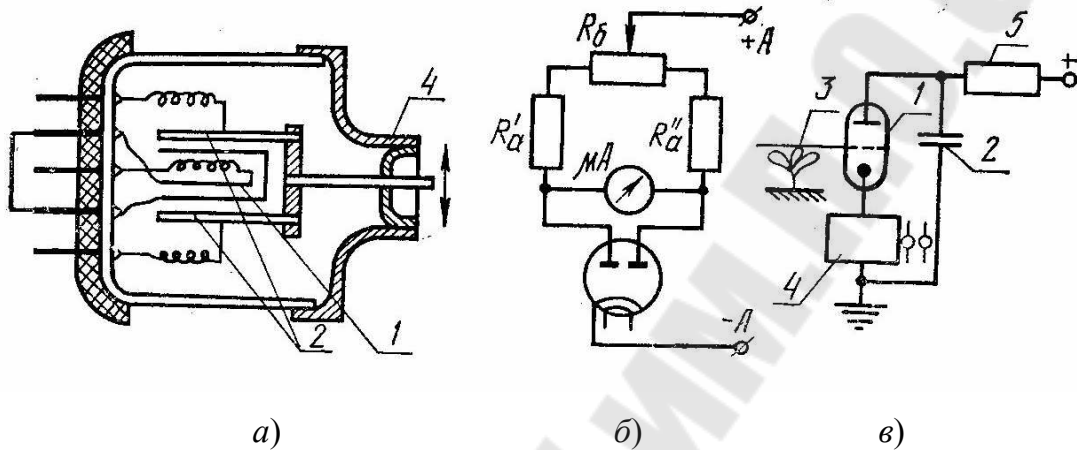


Рис. 7.8. Электронные датчики

На рис. 7.8, б показана схема включения механотрона в измерительную цепь. На рис. 7.8, 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.

Емкостные датчики

Емкостные датчики (рис. 7.9) представляют собой конденсаторы с изменяющимся зазором d (см) между обкладками, площадью перекрытия пластин F (см²) или диэлектрической проницаемостью ϵ (пФ/см). Изменение входной величины вызывает изменение емкости конденсатора.

Емкость плоского конденсатора C и его сопротивление R_c определяются формулами:

$$C = 0,088 \frac{\varepsilon F}{d}, \text{ пФ}, \quad R_c = \frac{1}{2\pi f C},$$

где f – частота питающей сети.

Емкостные преобразователи с переменным зазором между пластинами (рис. 7.9, а, з) служат для измерения линейных перемещений с точностью до 0,1...0,01 мкм; с переменной площадью (рис. 7.9, ж) для измерения линейных и угловых перемещений; с изменением диэлектрической проницаемости среды (рис. 7.9, в) – для измерения уровней, влажности, температуры, химического состава и пр. Для повышения точности измерения и чувствительности применяется дифференциальное устройство (рис. 7.9, д), емкости которого включены в соседние плечи мостовой схемы (рис. 7.9, е). На рис. 7.9, е показана резонансная схема включения.

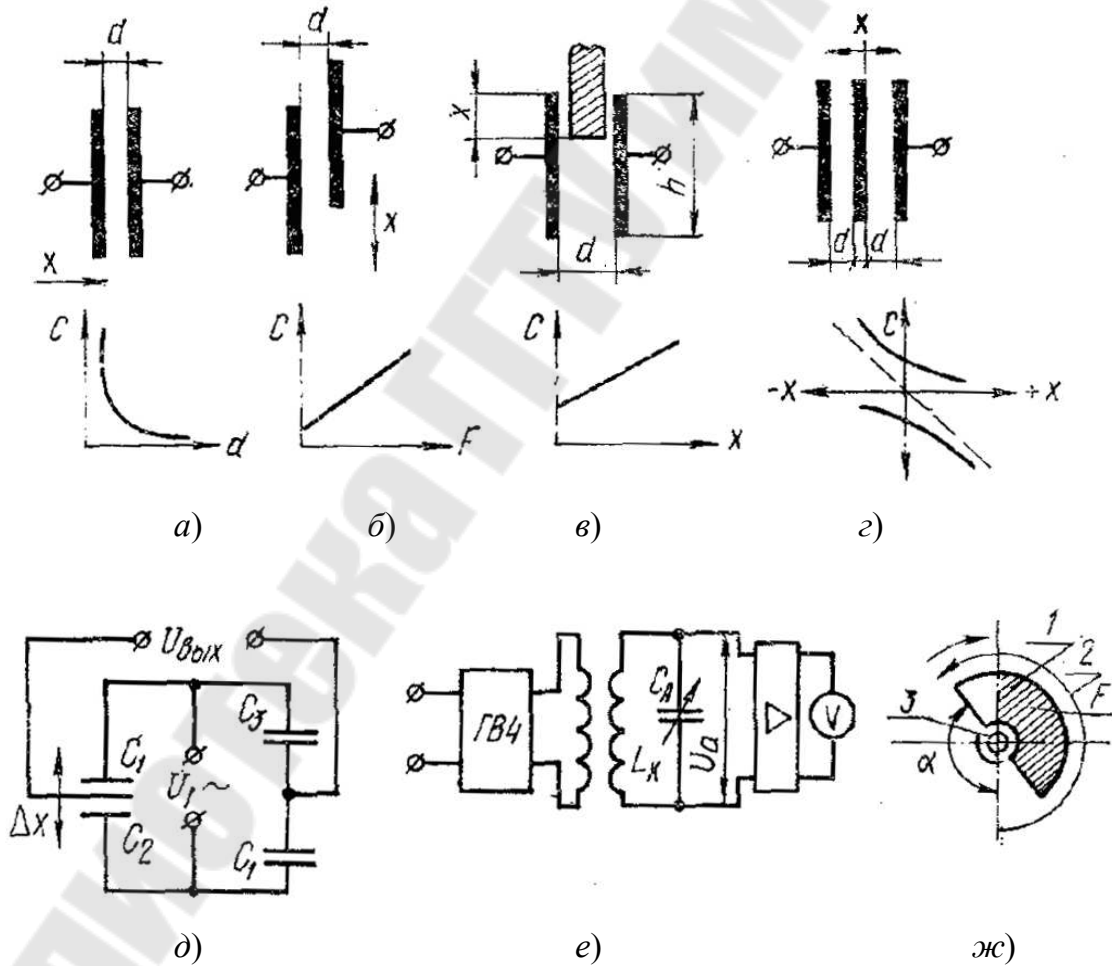


Рис. 7.9. Емкостные датчики

Пьезоэлектрические датчики

Пьезоэлектрические датчики (рис. 7.10) используются в сельскохозяйственной автоматике при измерении усилий, давлений, вибраций, для ориентации машин и в других случаях. 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: $-k_0 = \frac{f_y}{f_x} \frac{Q_y}{P_y}$.

Пьезоэлемент представляет собой пластину кристалла l с обкладками 2 на гранях f_x (рис. 7.10, *a*). Напряжение между обкладками 2 при отсутствии нагрузки и без учета емкости измерительной схемы (рис. 7.10, *б*):

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

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 (рис. 7.10, *в, з*) и на сдвиг (рис. 7.10, *д*). 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 (рис. 7.10, б), либо сумму зарядов (рис. 7.10, з). 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.

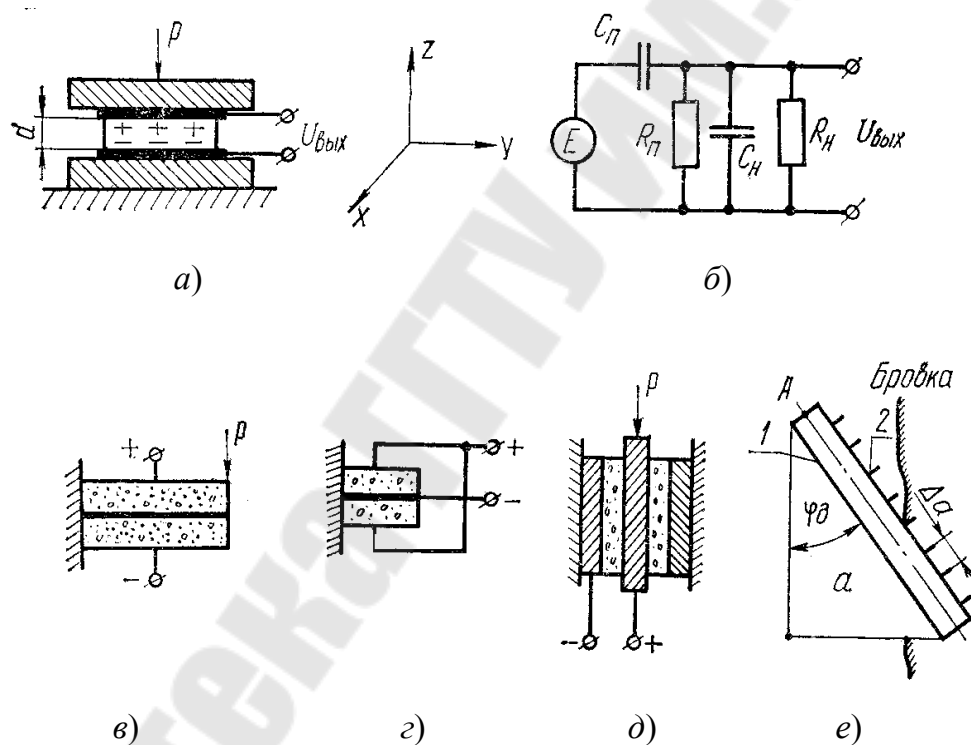


Рис. 7.10. Пьезоэлектрические датчики:

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

На рис. 7.10, е показан пьезоэлектрический преобразователь системы автоматического вождения зерноуборочных комбайнов по бровке несошенного 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.

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. 7.11, а); с внутренним фотоэффектом (фотосопротивления, рис. 7.11, б) и вентильные (полупроводниковые, рис. 7.11, в).

Основными характеристиками фотоэлементов являются:

- *световая* – зависимость фототока от освещенности $I_{\Phi} = f(\Phi)$ (рис. 7.11);
- *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.

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом (рис. 7.11, а) представляют собой вакуумную или газонаполненную лампу, на внутреннюю стенку которой нанесен фоточувствительный слой, являющийся катодом. Под действием светового потока в катоде возникают свободные электроны, которые под действием электрического поля перемещаются к аноду, создавая внутри фотоэлемента ток (фототок).

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом (рис. 7.11, 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. 7.11, 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. 7.11, 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.

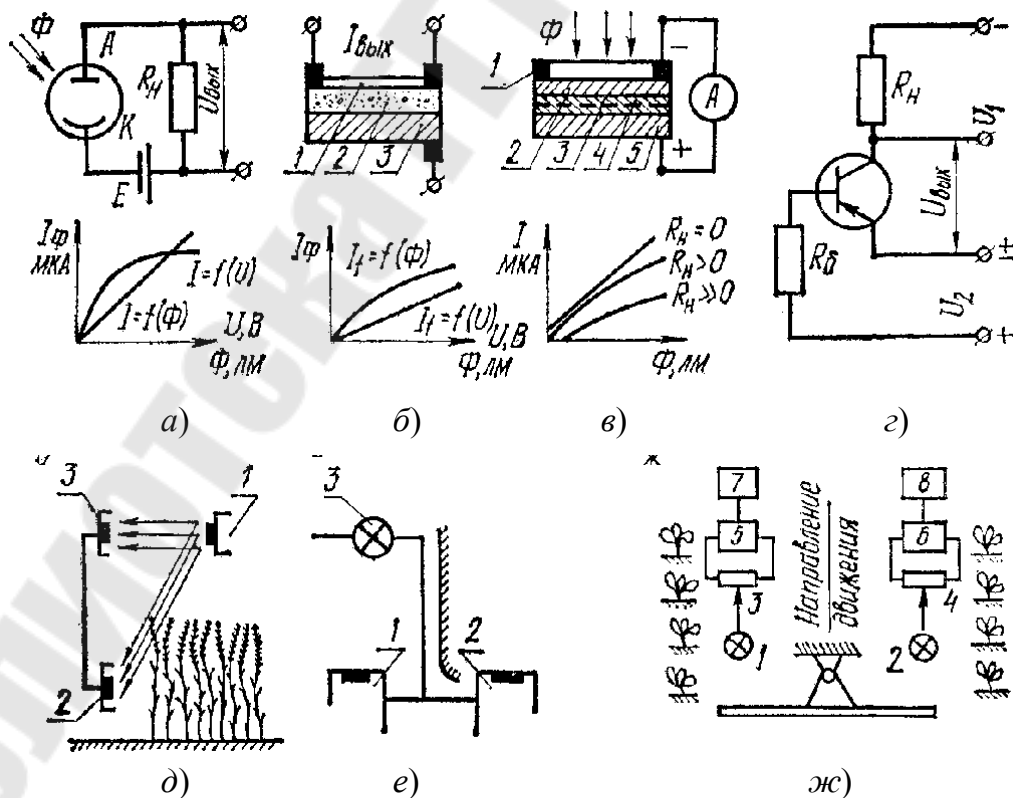


Рис. 7.11. Фотоэлектрические датчики

На рис. 6.15, *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 рядка растений системы автовождения пропашного агрегата (рис. 7.11, *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 рядка 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.

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. 7.12, *а* показано бесконтактное радиотехническое устройство для обнаружения растений в начальной стадии их развития. Воспринимающая часть 1 представляет собой транзисторный автогенератор метровых волн с колебательной системой, помещенный в экран с вырезом в стенке, обращенным в сторону набегающего рядка растений, и располагается вблизи поверхности почвы под углом к оси рядка. 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. 7.12, 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. 7.12, в, г, у которых косвенным показателем потерь зерна служит проход зерна через конечный участок соломотряса. У датчиков (рис. 7.12, 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.

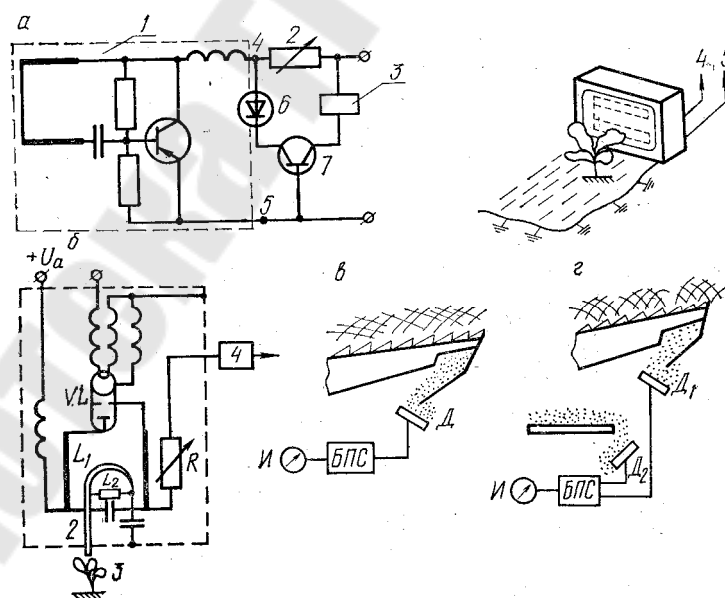


Рис. 7.12. Радиотехнические и ультразвуковые датчики

Датчики температуры

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

Тепломеханические датчики (термобиметаллические, дилатометрические) используются в качестве воспринимающих элементов, преобразующих изменение фактического значения регулируемой температуры в перемещение (рис. 7.17, 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.

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°С изменения температуры.

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

На рис. 7.17, б показан тепломеханический преобразователь с расширяющейся жидкостью или газом. Изменение температуры $T_{\text{вх}}$ металлического баллона 1 связано с изменением давления находящейся в нем жидкости 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 °С, для гелия – 269 °С, а верхний предел ограничивается теплостойкостью баллона.

Теплоэлектрические датчики – металлические и полупроводниковые терморезисторы (рис. 7.17, *з–е*), термопары (рис. 6.17, *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_M – температурный коэффициент электрического сопротивления.

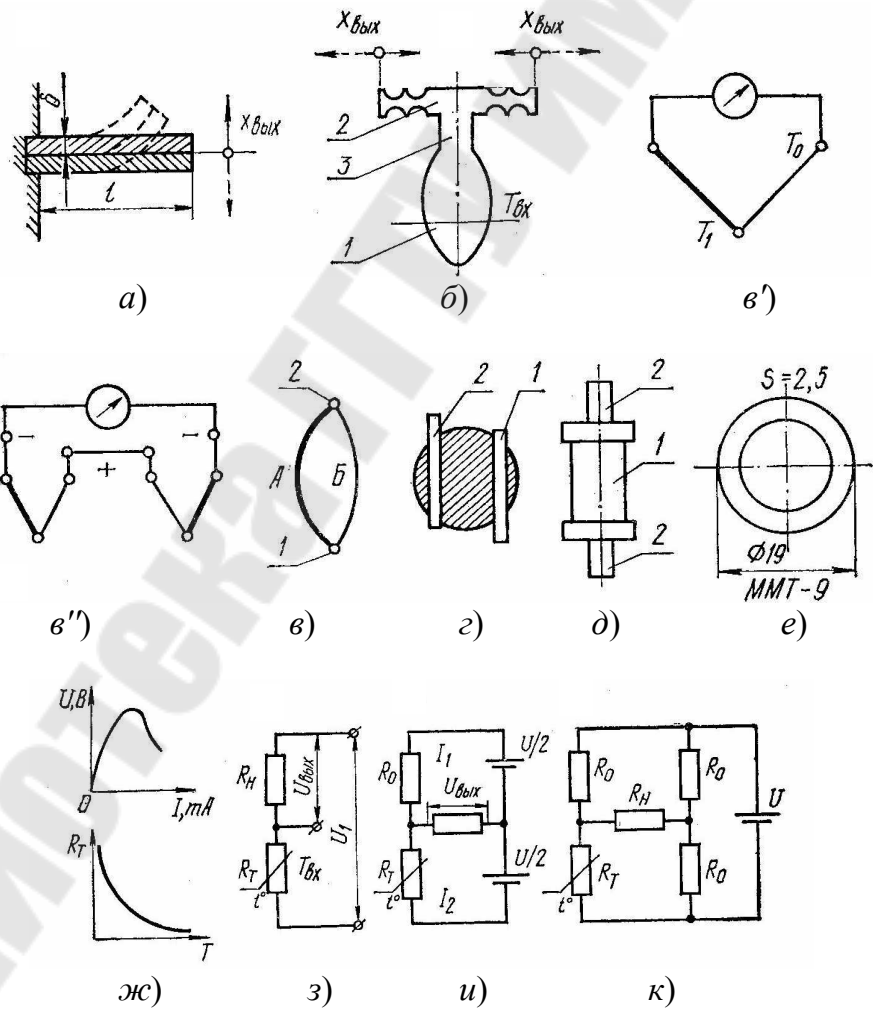


Рис. 7.17. Теплоэлектрические датчики

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 °С – из медной проволоки.

Чувствительность проволочных терморезисторов характеризуется температурным коэффициентом сопротивления:

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

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

К достоинствам 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. 7.17, а), трубчатой (рис. 7.17, б), дисковой (рис. 7.17, в) и другими формами. Характеристика управления термистора подчиняется убывающему экспоненциальному закону (рис. 7.17, г), 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.

Отечественная промышленность выпускает позисторы типа СТ5-1, СТ6-1А, СТ6-1Б, СТ6-2Б, СТ6-3Б, СТ6-1В и СТ6-1Г.

Терморезисторы могут включаться в простейшие нереверсивные (рис. 7.17, з), дифференциальные (рис. 7.17, и) и мостовые (рис. 7.17, 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. 7.17, 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 (термоЭДС).

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 термоЭДС:

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

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. 6.17, в''). Погрешности от нелинейности характеристик термопар достигают 5 %.

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. 7.18, 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.

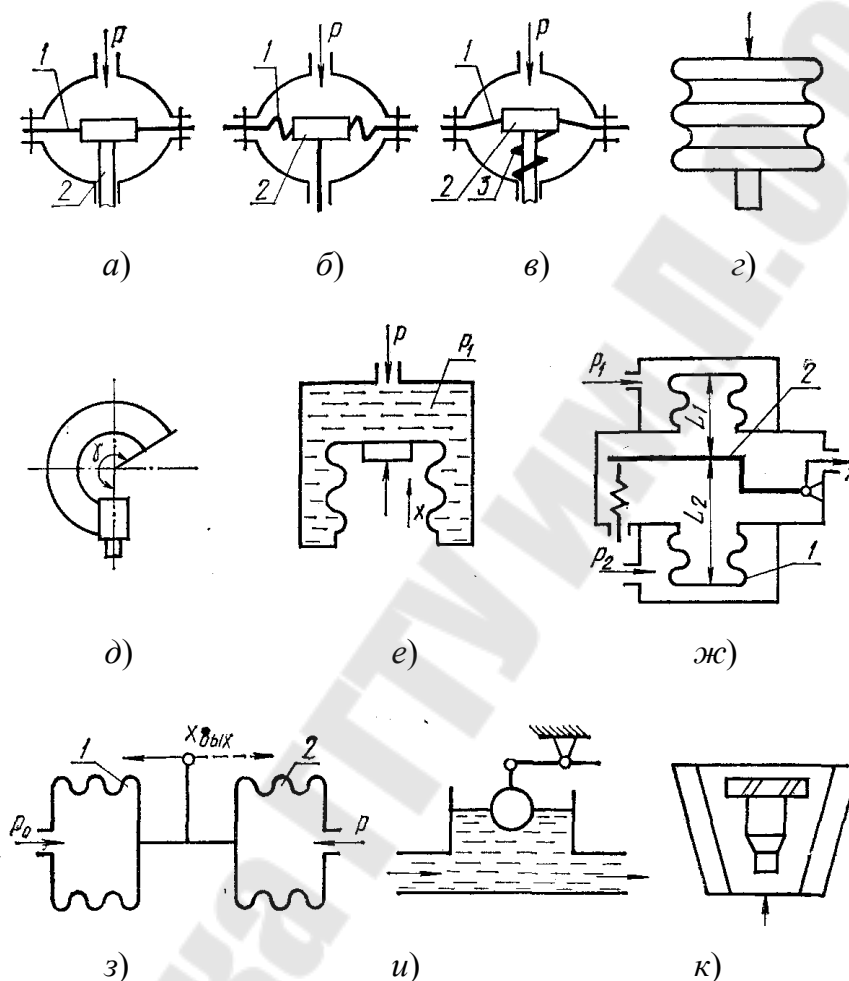


Рис. 7.18. Гидравлические и пневматические датчики

Чувствительный элемент с гофрированной мембраной 1 (рис. 7.18, 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. 7.18, 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 $p \gg p_{\text{макс}}$ мембрана достаточно быстро меняет свой прогиб на противоположный. При уменьшении давления ниже $p_{\text{макс}}$ под воз-

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

Сильфонный упругий чувствительный элемент (рис. 7.18, з) 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. 7.18, 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. 7.18, е показан чувствительный элемент с гармонической мембраной, а на рис. 7.18, ж, з – дифференциальная и компенсационная измерительные схемы с сильфонными элементами. На рис. 7.18, 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. 7.19, 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 ($x_{вх} = 0$) 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.

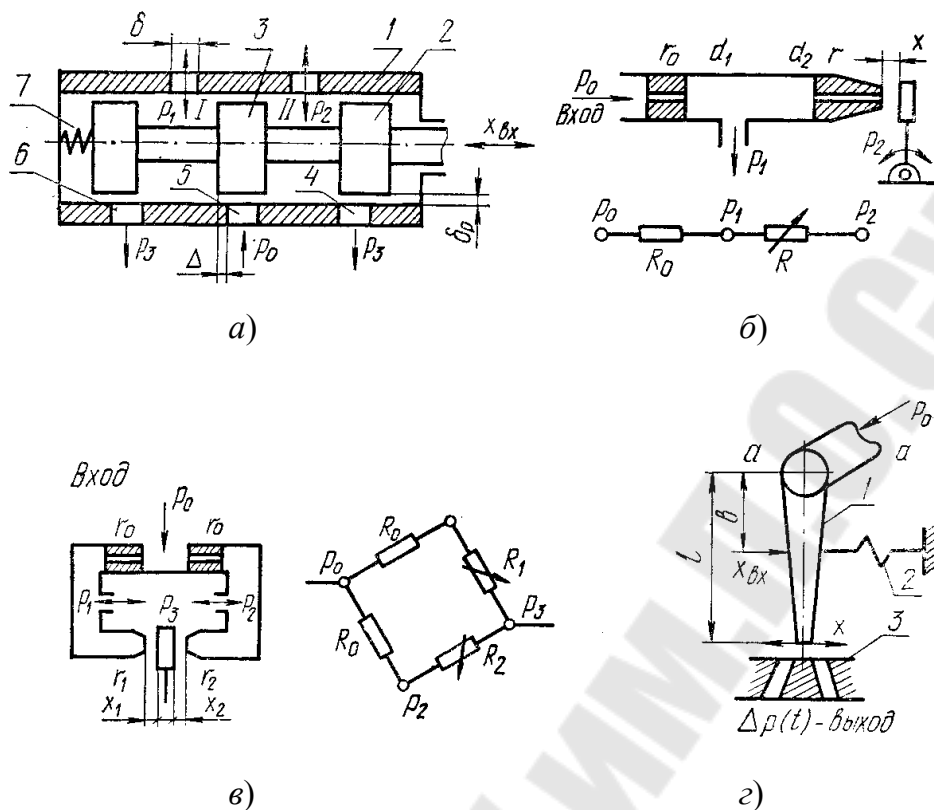


Рис. 7.19. Струйные и золотниковые преобразователи

Статические характеристики золотниковых преобразователей в общем случае нелинейны и зависят от величины $\delta_p \Delta$ и гидравлического сопротивления золотника.

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. 7.19, 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 $x_0 = 0,5 x$.

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 тот недостаток, что 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. 7.19, в). На рис. 7.19, в показаны аналоги преобразователей типа сопло-заслонка. Преобразователи с соплом и заслонкой обладают высокой чувствительностью к малым перемещениям заслонки.

Преобразователи со струйной трубкой (рис. 7.19, 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.

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. 7.20 приведены некоторые наиболее распространенные в сельскохозяйственной автоматике сравнивающие устройства.

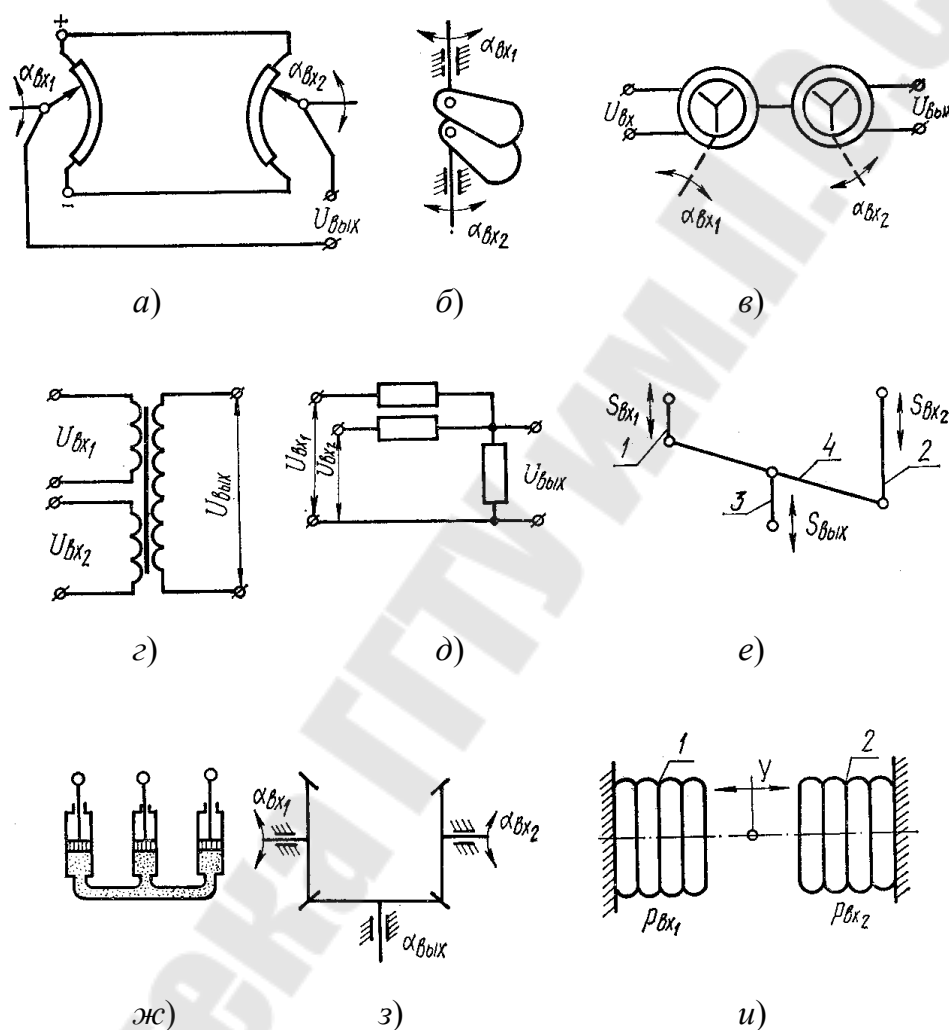


Рис. 7.20. Сравнивающие устройства

Например, сравнивающее рычажное устройство (рис. 7.20, e) выполняет функцию сложения (вычитания) двух сигналов. Оно состоит из стержней 1–3 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 $S_{\text{ВЫХ}}$. Из плана перемещений можно определить

$$S_{\text{ВЫХ}} = S_{\text{ВХ}} \frac{l_2}{l_1 + l_2} + S_{\text{ВХ2}} \frac{l_1}{l_1 + l_2}.$$

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. 7.20, *ж*.

Эти схемы часто используются для сравнения двух сопротивлений в реверсивных схемах усилителей.

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 кинопленки и т. п.

Программные задающие устройства бывают в виде механических копиров с механической передачей программы (кулачки) и с электромеханической передачей программы (рис. 7.21, *а*). Двигатель *1* поворачивает токопроводящий кулачок *б*, 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.

Потенциометрические задатчики бывают в виде профильных (рис. 7.21, *б*), ступенчатых с переменным шагом намотки и шунтированных сопротивлениями потенциометров.

Программоносители в виде токопроводящей линии с контактным слежением (рис. 7.21, *б*) представляют собой диаграммную бумагу *3* с программой в виде кривой *1* из токопроводящей массы (9 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.

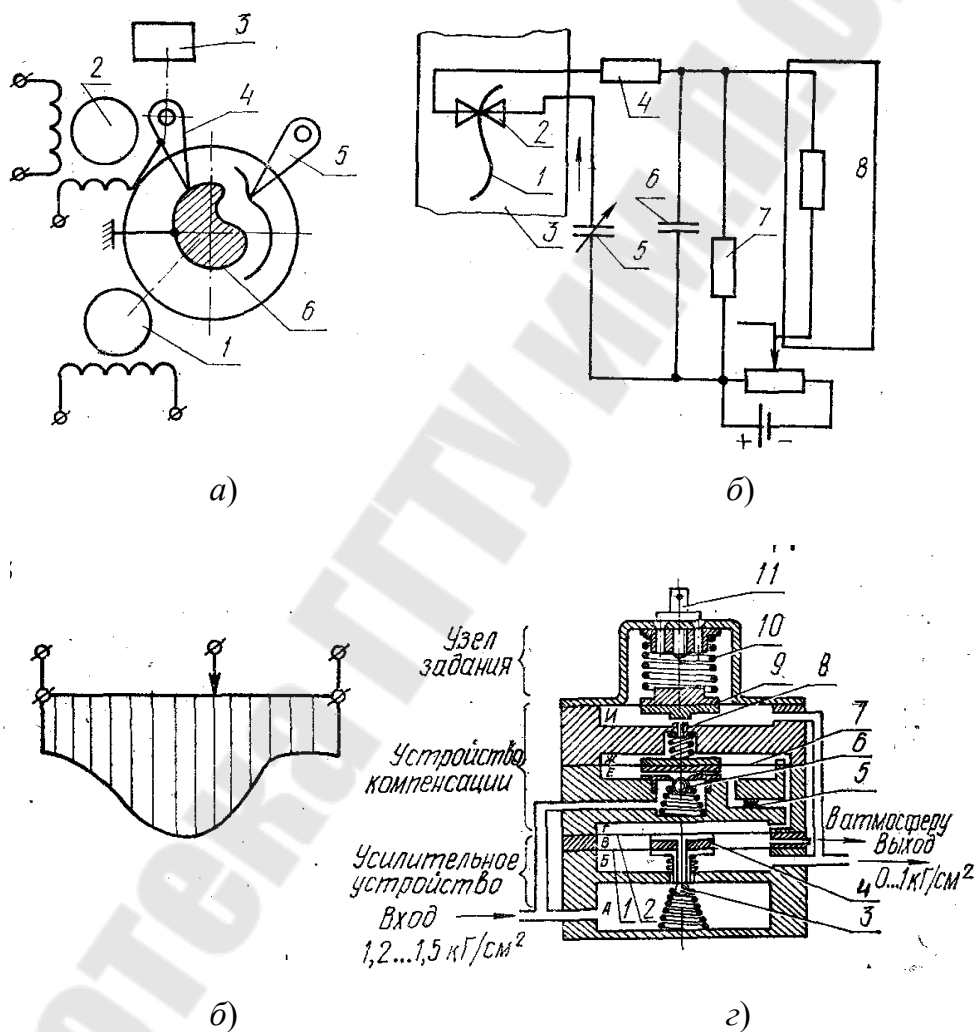


Рис. 7.21. Задающие устройства

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. 7.21, з).

Давление питания подводится через камеру *A* к шариковому клапану *3* усилительного реле и одновременно через камеру *Д* в дополнительное клапанное устройство, зазор между шариком *б* и седлом которого 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 уравновесит усилие сжатия пружины *10*. Таким образом, создается постоянное соответствие между сжатием и давлением на выходе задатчика.

Тема 8

УСИЛИТЕЛЬНЫЕ И СТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Общие сведения об усилителях

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. 8.1, *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 части его.

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. 8.1, *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. 8.1, б).

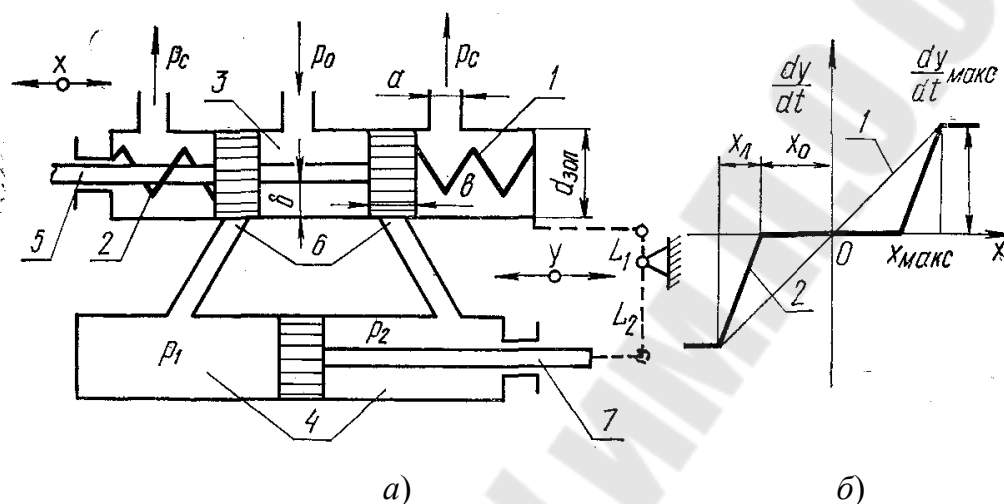


Рис. 8.1. Гидравлический поршневой усилитель с золотниковым управлением

Статическая скоростная характеристика этого усилителя нелинейная (рис. 8.1, 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. 8.1, 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. 8.1, 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 $10^3 \dots 10^4$.

Усилитель типа сопло-заслонка (рис. 8.2, 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, воздействующей 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 .

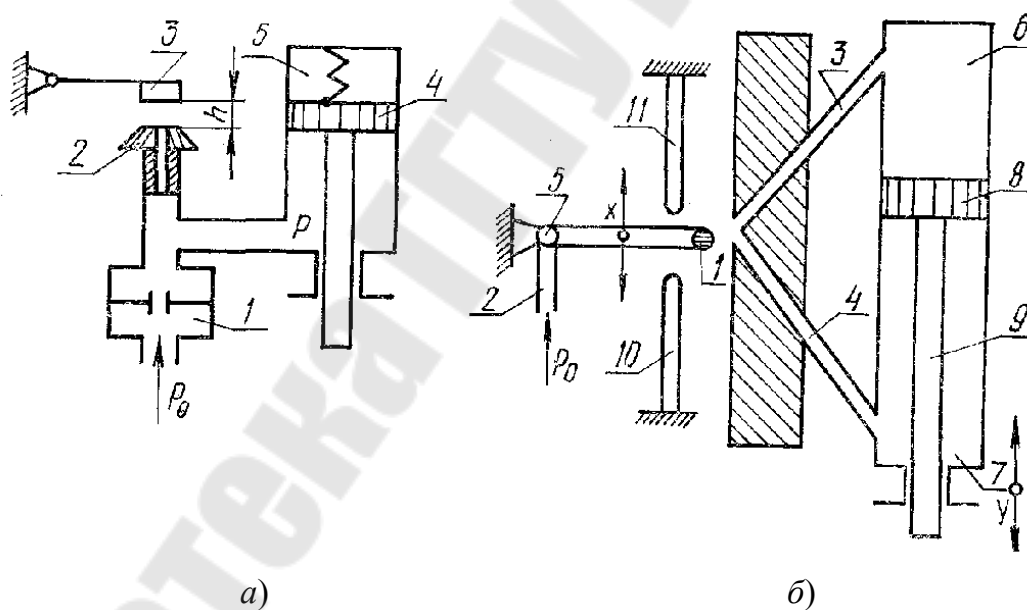


Рис. 8.2. Усилитель типа сопло-заслонка

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. 8.2, 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 $\gg 1$). Они обладают высоким коэффициентом усиления по мощности и то-

ку, 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. 8.3, 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.

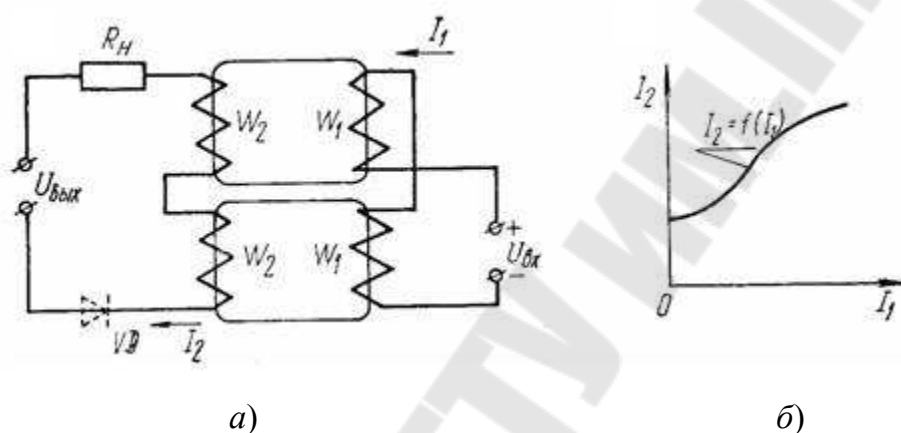


Рис. 8.3. Магнитный усилитель

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. 8.3, б).

Коэффициент усиления по току

$$k = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}} = \frac{I_2}{I_1},$$

по мощности

$$k_1 = \frac{N}{N_{\text{П}}} \approx 50 \div 200,$$

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_n 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.

Электромашинные усилители

Электромашинным 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). Электромашинные усилители нашли широкое применение в системах автоматического регулирования электроприводами (особенно в подъемно-транспортных машинах), в следящих электроприводах.

Электромашинные усилители бывают с независимым возбуждением (независимые) (рис. 8.4, а) и с самовозбуждением с поперечным и продольным полем.

Электромашинный усилитель 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 нагрузке R_n , 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.

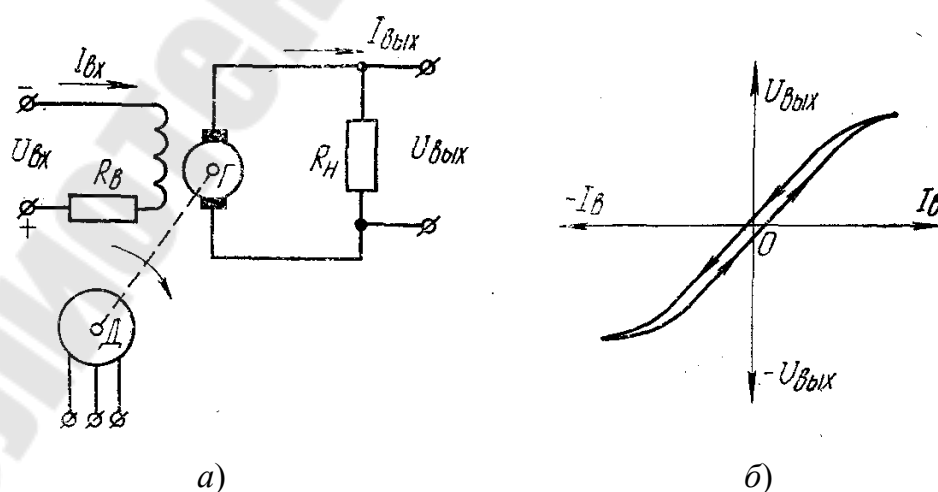


Рис. 8.4. Электромашинный усилитель

Наибольший коэффициент усиления можно получить на ЭМУ с поперечным полем (рис. 8.4, 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, снимаемая со щеток aa . Поперечная цепь якоря имеет малое сопротивление, поэтому по ней протекает значительный ток I_1 , который вызывает магнитный поток Φ_1 значительно больший потока $\Phi_{в}$. Под действием магнитного потока Φ_1 в продольной цепи якоря индуцируется ЭДС, снимаемая щетками bb . Эта ЭДС вызывает появление тока I_2 , под действием которого в якоре создается продольный магнитный поток реакции якоря $\Phi_{а}$. Магнитный поток $\Phi_{г}$ во много раз больше потока возбуждения $\Phi_{в}$, 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_n и образующей магнитный поток Φ_k , компенсирующий поток Φ_2 . Для изменения значения потока Φ_k параллельно обмотке K включен переменный резистор $R_{ш}$. В ЭМУ с поперечным магнитным полем можно получить коэффициент усиления по мощности, равный $10^3 \dots 10^5$.

Полупроводниковые усилители

Соответственно трем типам ламповых схем: с общей сеткой (рис. 8.5, а), общим катодом (рис. 8.5, б) и анодом (рис. 8.5, в) полупроводниковые триоды (транзисторы) могут быть включены по схеме с общей базой (рис. 8.5, г), общим эмиттером (рис. 8.5, д) и общим коллектором (рис. 8.5, 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.

Рассмотрим работу усилителя напряжения низкой частоты на транзисторе, включенном по схеме с общей базой (рис. 8.6, а). В схе-

ме 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 $\sim U_{вх}$ на входе каскада появится выпрямленный ток, так как в этом режиме будут усиливаться только отрицательные полуволны входного напряжения (рис. 8.6, б, верхний график). Выходной ток в этой схеме всегда меньше входного, так как коэффициент усиления по току

$$\alpha = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_э} < 1,$$

где ΔI_k приращение тока коллектора; $\Delta I_э$ – приращение тока эмиттера.

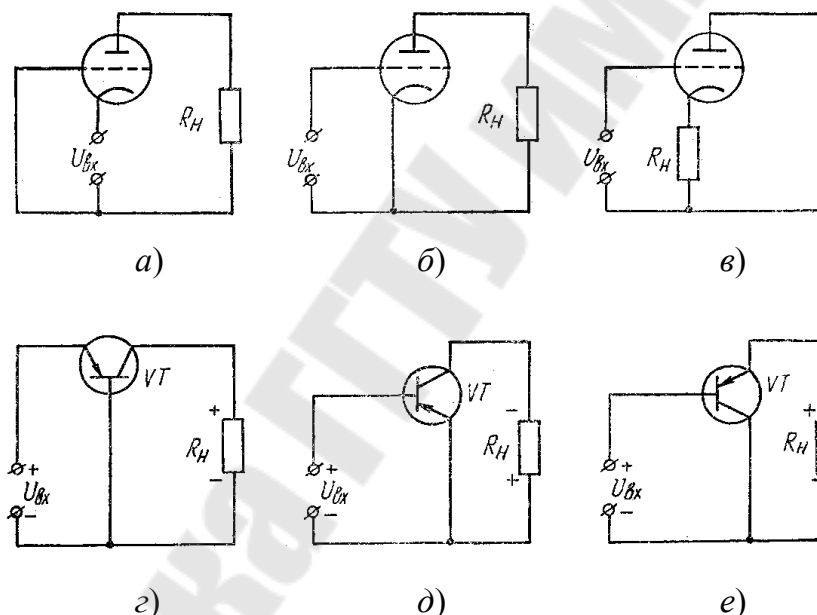


Рис. 8.5. Электроламповые и полупроводниковые усилители

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. 8.6, 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.

Поэтому переменная составляющая падения напряжения на коллекторном резисторе R_k повторяет по форме входной сигнал. Мощность сигнала на нагрузке R_H (в схеме не показана) может в несколько раз превосходить мощность сигнала на входе.

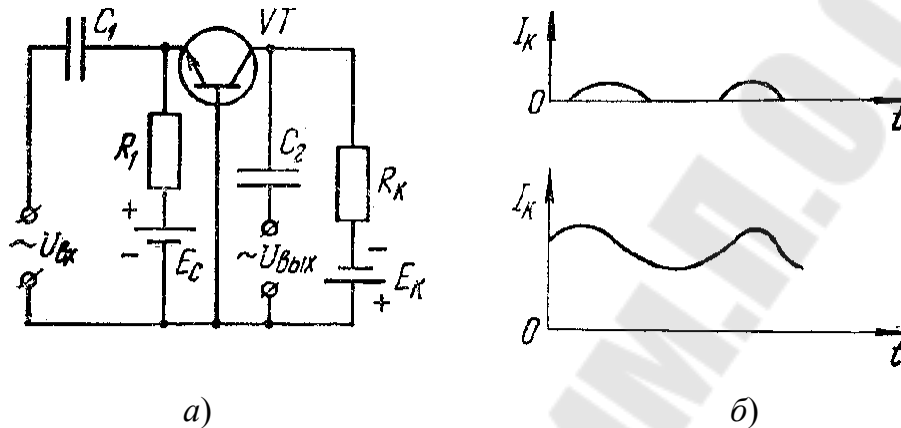


Рис. 8.6. Усилитель напряжения низкой частоты

Коэффициент усиления по мощности

$$k_{p.б} = \frac{P_{\text{вых.б}}}{P_{\text{вх.б}}} = \alpha^2 \frac{R_H}{R_{\text{вх.б}}}$$

Коэффициент усиления по напряжению

$$k_{u.б} = \frac{k_{p.б}}{\alpha} = \alpha \frac{R_H}{R_{\text{вх.б}}}$$

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 усиления и последующей демодуляцией.

Тема 9 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Общие сведения

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. 9.1.

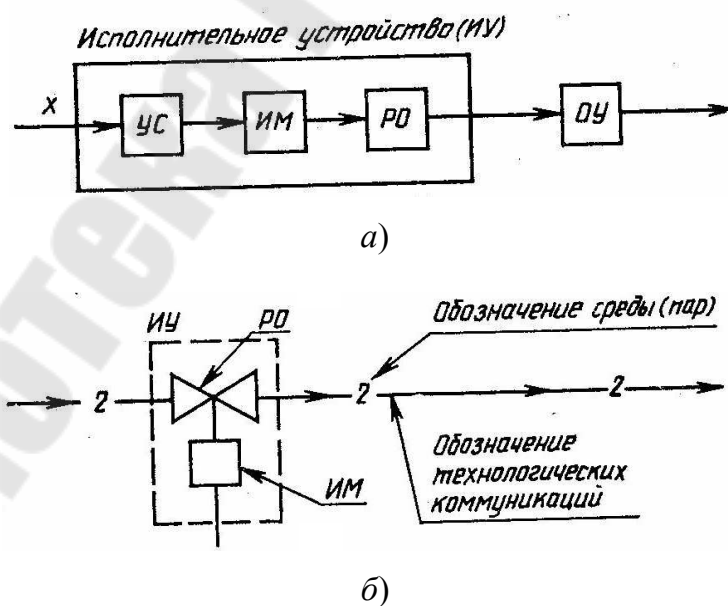


Рис. 9.1. Исполнительное устройство:
а – структурная схема; б – обозначения элементов исполнительного устройства на функциональной технологической схеме

В общем случае ИМ состоят 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° для однооборотных; до 3° 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 ОС.

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 делятся: 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; 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 две 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 также 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.

Тема 10

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Устройство, преобразующее управляющий сигнал регулятора в перемещение РО, называют *исполнительным механизмом*. Такое устройство обычно состоит из исполнительного двигателя, передаточного или преобразующего узла (например, редуктора), а также систем защиты, контроля и сигнализации положения выходного элемента, блокировки и отключения. Передаточная функция ИМ входит в ПФ регулятора, и потому ИМ должен обладать достаточным быстродействием и точностью, с тем чтобы осуществлять перемещение РО с возможно меньшим искажением закона регулирования.

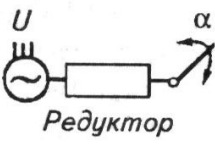
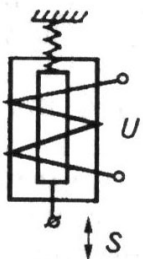
Наиболее характерна классификация ИМ по виду потребляемой энергии (табл. 10.1) на гидравлические, пневматические и электродвигательные или электромагнитные.

Гидравлические исполнительные механизмы. Они состоят из управляющего и исполнительного элементов. Обычный вариант первого элемента – золотник, второго – гидроцилиндр. Последний, в свою очередь, реализует поступательное (а) или вращательное (б) движение выходного вала (табл. 10.1). В гидравлических ИМ входная величина – перемещение управляющего устройства или давление жидкости на поршень p , а выходная – перемещение (поворот) выходного вала S .

Таблица 10.1

Исполнительные механизмы

Схема	Наименование	Вход	Выход	Выходная мощность, Вт
 <p>а) б)</p>	Поршневые двигатели с наступательным (а) и вращательным (б) движением поршня	Давление 0,1...10 МПа	Механическое перемещение	$10^{-2} \dots 5 \cdot 10^4$
	Пневматический мембранный двигатель	Давление 0,1...0,5 МПа	То же	До 200

Схема	Наименование	Вход	Выход	Выходная мощность, Вт
 <p>Редуктор</p>	Электродвигательный исполнительный механизм	Напряжение	Механическое вращение	До $4 \cdot 10^4$
	Электромагнитный соленоид	То же	Механическое перемещение	До $4 \cdot 10^3$

Постоянная времени реального гидравлического ИМ при больших скоростях перемещения поршня сильно возрастает, что объясняется резким увеличением сил поршня вязкого трения, но все-таки с достаточной точностью его характеристики совпадают с характеристиками интегрирующего звена, постоянная времени которого прямо пропорциональна площади поршня и обратно пропорциональна $\sqrt{p_1 - p_2}$, где p_1 и p_2 – давление нагнетания и слива рабочей жидкости.

Гидравлические ИМ обладают очень большим быстродействием и выходной мощностью, и потому их применяют в системах автоматизации мобильных сельскохозяйственных машин и агрегатов.

Пневматические исполнительные механизмы. По устройству аналогичны гидравлическим. Они получили широкое распространение благодаря высокой надежности, простоте конструкции и возможности получения достаточно больших усилий.

Крутизна статической характеристики пневматического ИМ находится в прямой зависимости от площади мембраны и в обратной – от коэффициента жесткости пружины (несколько возрастает по мере ее сжатия). Соответственно при малых изменениях выходного параметра S динамику механизма можно представить характеристиками безынерционного звена, причем коэффициент передачи которого несколько убывает с увеличением S .

Общие недостатки пневматических и гидравлических ИМ – сложность операций по их наладке и, главное, необходимость специальных компрессорных (насосных) установок для их питания.

Электродвигательные исполнительные механизмы. В них используют электродвигатели постоянного и переменного тока, в том числе асинхронные двухфазные с полым ротором, с конденсаторами в цепи обмотки управления, а также асинхронные трехфазные двигатели. Исполнительные двигатели постоянного тока имеют независимое возбуждение или возбуждение от постоянных магнитов. Управляют этими двигателями, изменяя напряжение на якоре или на обмотке возбуждения (якорное или полюсное управление).

В большинстве конструкций электрических ИМ применяют двухфазные и трехфазные асинхронные двигатели.

Асинхронный двухфазный двигатель приближенно можно рассматривать как инерционное звено, если выходная величина – угловая скорость ротора, или как два последовательно соединенных звена – интегрирующее и инерционное, если выходная величина – угол α поворота ротора (табл. 10.1).

Значение коэффициента передачи зависит от способа управления двигателем, а постоянная времени – от сигнала управления, возрастая с уменьшением пускового момента двигателя от 0,1 до 0,2 с (для полого ротора с обмоткой типа «белочья клетка»).

Передаточная функция асинхронного трехфазного двигателя совпадает с ПФ инерционного звена.

Коэффициент преобразования и постоянную времени определяют по механической характеристике двигателя и рабочей машины.

Большинство электродвигательных ИМ работает в режиме, когда скорость перемещения не зависит от значения отклонения регулируемого параметра от заданного. Такой ИМ состоит из асинхронного электродвигателя, редуктора, концевых и путевых выключателей, датчиков (преобразователей), тормозного устройства и ручного привода.

Электродвигатель с редуктором служит для преобразования электрической энергии в механическую, достаточную для перемещения РО.

Концевые выключатели используют для отключения пускателя при достижении РО крайних положений, а путевые выключатели – для ограничения диапазона перемещения РО в автоматическом режиме.

Датчики положения формируют сигнал, пропорциональный углу поворота выходного вала ИМ. Этот сигнал используется индикатором положения на пульте оператора, а также, возможно, в качестве

сигнала ОС по положению ИМ (для формирования П-закона регулирования, например).

Ручной привод обеспечивает возможность ручной перестановки РО при нарушениях работы электрической части механизма.

Включение-отключение электродвигателя по команде регулирующего устройства осуществляется через средство электромагнитного или полупроводникового релейного устройства-пускателя.

Реверс электродвигателя электромагнитного ИМ с трехфазным электродвигателем обеспечивается изменением схемы подключения двух фаз.

После размыкания силовых контактов (рис. 10.1, *a*) и отключения напряжения питания электродвигателя выходной вал ИМ останавливается не сразу, а продолжает в течение некоторого времени движение по инерции. Так называемый «выбег» может существенно ухудшать качество регулирования. Уменьшают выбег с помощью тормоза, представляющего собой электролитический конденсатор C , подключаемый через размыкающие блок-контакты КМ1 и КМ2 к одной из статорных обмоток электродвигателя. В результате этого в статорной обмотке появляется ток, наводящий в статоре магнитное поле, которое, взаимодействуя с вращающимся ротором, создает противодействующий вращению тормозной момент, уменьшающий выбег ИМ.

Главный недостаток электромагнитного релейного пускового устройства – невысокая надежность. Значительно лучшие характеристики имеет полупроводниковое релейное устройство.

Основу устройства составляют два тиристорных ключа на симисторах $VS1$ и $VS2$, которыми управляют с помощью сигналов «Больше» – «Меньше», вырабатываемых регулятором или оператором. Каждый из тиристорных ключей включен в цепь питания одной из статорных обмоток электродвигателя.

При отсутствии управляющих сигналов тиристорные ключи разомкнуты и электродвигатель неподвижен.

Включение симистора происходит в результате подачи на управляющий электрод отрицательного напряжения, вырабатываемого соответствующим выпрямительным мостом, питаемым от разделительного трансформатора $T2$ ($T3$) при наличии командного сигнала от регулятора или оператора.

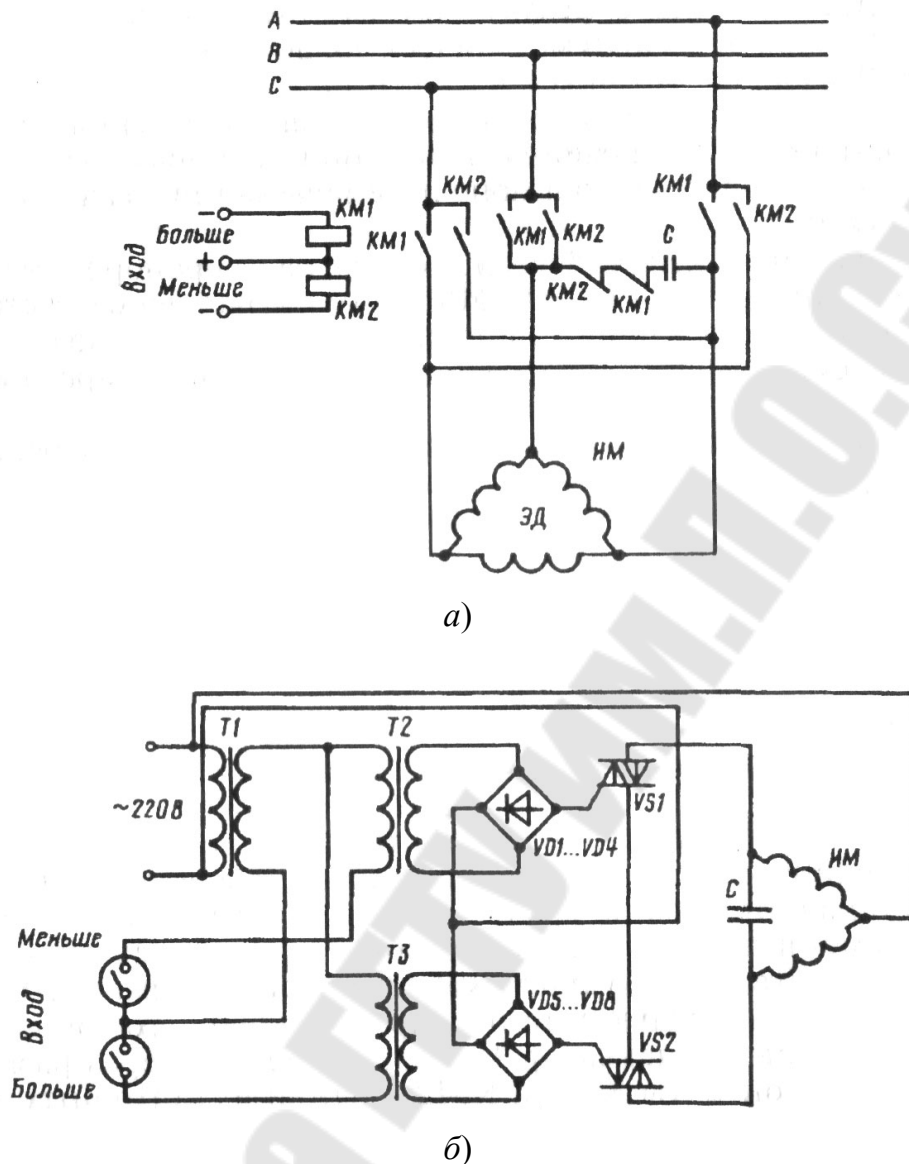


Рис. 10.1. Схемы управл. ИМ:

- а – с трехфазным асинхронным электрическим двигателем;
- б – с однофазным конденсаторным электрическим двигателем

Трансформатор $T1$ разделяет управляющие и силовые цепи. Реверсирование электродвигателя осуществляется изменением схемы подключения обмоток, при этом одна обмотка подключается к сети непосредственно, а вторая – через фазосдвигающий конденсатор C .

Таким образом, движение ИМ может быть описано системой уравнений, соответствующих движению ИМ в сторону открытия, неподвижному состоянию и движению в сторону закрытия:

$$\begin{cases} T_{\text{ИМ}} \frac{dy}{dt} = 1 & \text{при } x > 0; \\ T_{\text{ИМ}} \frac{dy}{dt} = 0 & \text{при } -\Delta < x < \Delta; \\ T_{\text{ИМ}} \frac{dy}{dt} = -1 & \text{при } x < -\Delta, \end{cases}$$

где $T_{\text{ИМ}}$ – время, равное времени движения ИМ из одного крайнего положения в другое; Δ – зона нечувствительности релейного устройства.

Характеристика ИМ – существенно нелинейная, но линейные законы регулирования могут быть реализованы, и с этим механизмом при использовании регулятора с импульсным выходом.

Электромагнитные исполнительные механизмы. Они представляют собой соленоиды и электромагнитные муфты. Соленоидный ИМ – это катушка, втягивающее усилие которой при подаче управляющего сигнала U перемещает якорь на расстояние S , преодолевая сопротивление пружины.

Статическая характеристика электромагнитных ИМ, как правило, нелинейная, и их используют в системах позиционного регулирования.

Электромагнитные муфты могут быть фрикционными, порошковыми или асинхронными. Фрикционная муфта состоит из двух полумуфт, посаженных на ведущий и ведомый валы. В одной из полумуфт расположена обмотка возбуждения. При подаче на нее напряжения полумуфты сдвигаются и возникающая сила трения приводит их в движение. Такие муфты также применяют в системах позиционного регулирования и защиты оборудования при аварийных нарушениях его работы.

Принцип действия порошковой муфты основан на изменении вязкости ферромагнитной массы, заполняющей муфту. При подаче на катушку напряжения вязкость ферромагнитной массы возрастает и передаваемый момент увеличивается.

В муфтах скольжения момент вращения передается посредством магнитного поля, создаваемого обмоткой, расположенной на ведущей полумуфте. При ее вращении в ведомой полумуфте, как в роторе асинхронного двигателя, индуцируется ток, от взаимодействия которого с магнитным полем возникает момент вращения, увлекающий ведомую полумуфту за ведущей.

Порошковые и асинхронные электромагнитные муфты могут быть использованы и в системах непрерывного регулирования. В этом случае их характеризует ПФ инерционного звена с постоянной времени 0,03...0,25 с (для порошковых) и 0,11...0,45 с (для асинхронных муфт).

Тема 11 РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

Устройство, позволяющее изменять направление или расход потока вещества или энергии в соответствии с требованиями ТП, называют *регулирующим органом* (РО).

Работоспособность РО определяется его характеристиками: диапазоном регулирования и рабочей расходной характеристикой.

Отношение максимального расхода среды G_{\max} к минимальному G_{\min} , соответствующему перемещению РО из одного крайнего положения h_{\min} в другое h_{\max} , называют *диапазоном регулирования*

$$R = G_{\max} / G_{\min}.$$

Зависимость расхода среды от положения РО h называют *рабочей расходной характеристикой*

$$G = f(h).$$

При разработке, выборе и наладке РО для обеспечения возможности эффективного управления ТП в широком диапазоне нагрузок и при разных режимах следует обеспечить достаточный диапазон регулирования и линейную рабочую характеристику в пределах этого диапазона. Используемые в сельскохозяйственном производстве РО можно разделить на три группы.

Регулирующие органы объемного типа (рис. 11.1, а). Они изменяют расход среды за счет изменения ее объема (например, ленточные питатели-дозаторы компонентов кормовых смесей). Материал на ленту поступает непосредственно из бункера через воронку в его нижней части. На фронтальной грани воронки в вертикальных направляющих перемещается заслонка, посредством которой осуществляется регулирование производительности питателя.

Для исключения заклинивания ленты высота щели h между заслонкой и лентой должна быть не менее $(2,5...3)d_{\max}$, где d_{\max} – максимально возможный размер частиц материала.

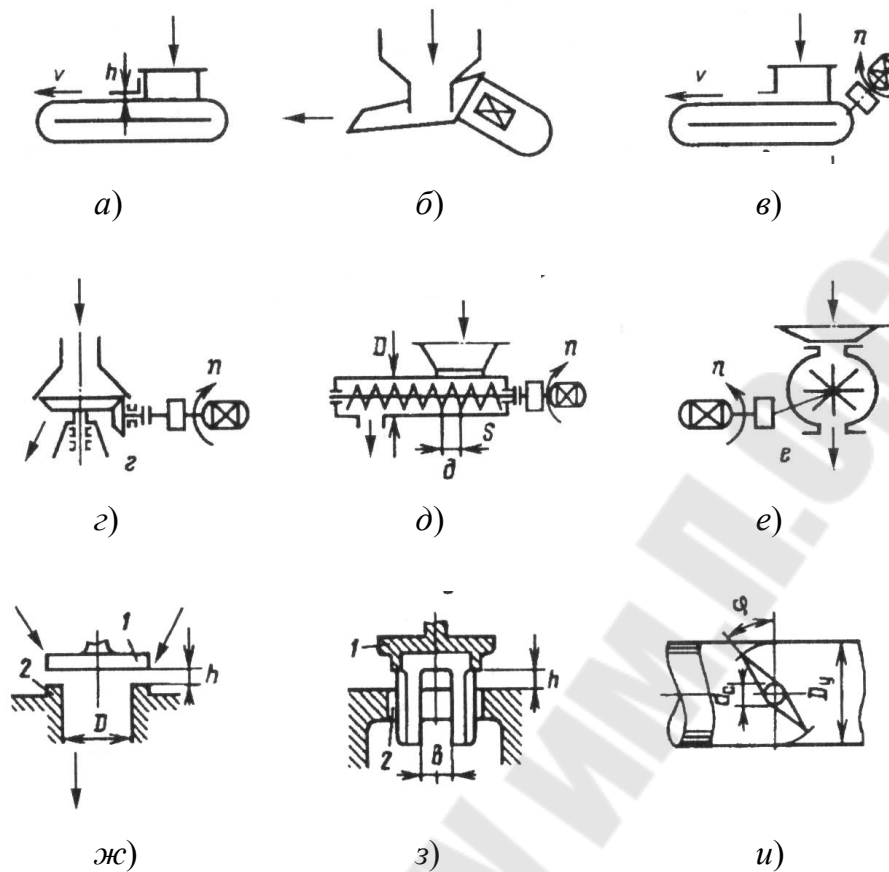


Рис. 11.1. Регулирующие органы:

- а – ленточный питатель (объемный); б – вибрационный питатель;
 в – ленточный питатель (скоростной); г – тарельчатый питатель;
 д – шнековый питатель; е – секторный питатель; ж – тарельчатый клапан;
 з – золотниковый клапан; и – поворотная заслонка

Регулирующие органы скоростного типа. Они изменяют производительность РО за счет изменения его частоты вращения. К РО этого типа относят устройства для регулирования частоты вращения вытяжных вентиляторов систем вентиляции животноводческих помещений, шнековых питателей-дозаторов и т. д.

В связи с большим разнообразием физико-химических свойств дозируемых компонентов кормов, других сыпучих материалов и условий, в которых работают эти РО, известно большое число конструкций их рабочих органов. Эти органы, как правило, состоят из активных элементов, обеспечивающих перемещение дозируемого материала, ограничивающих элементов, формирующих поток, и вспомогательных элементов.

Рациональный выбор рабочего органа и его конструктивное и оформление в значительной степени обеспечивают надежность устройства и точность дозирования. *Вибрационные питатели* (рис. 11.1, б)

предназначены ДОЯ подачи из бункера, не имеющего дна, мелко- и крупнокусковых материалов. Подачу материала регулируют изменением амплитуды выпрямленного напряжения, подводимого к электромагнитам питателя. Электромагниты, жестко связанные с корпусом лотка, заставляют его вибрировать с определенной частотой. Материал вследствие небольшого наклона лотка перемещается к его концу со скоростью, зависящей от амплитуды питающего напряжения. Достоинства вибрационных питателей – отсутствие вращающихся частей, плавное и практически безинерционное регулирование производительности.

Ленточные питатели (рис. 11.1, в) предназначены для выдачи сыпучих материалов с различными размерами фракций. Производительность питателя зависит от размеров фракций материала и скорости перемещения ленты v . Последнюю можно изменять с помощью частоты вращения электропривода или бесступенчатого вариатора, управляемого ИМ.

Тарельчатые питатели (рис. 11.1, г) предназначены для подачи из бункеров преимущественно мелкозернистых и мелкокусковых материалов. Тарельчатый питатель представляет собой круглый плоский диск (тарель), устанавливаемый под бункером и вращаемый специальным приводом желательного с возможностью регулирования частоты вращения n .

Между бункером и тарелью устанавливают манжеты и нож, с помощью которых осуществляется регулирование сечения потока материала. Более точное регулирование осуществляют поворотом ножа или изменением частоты вращения тарели. Производительность питателя зависит от изменения физических свойств материала, высыпавшегося на тарель.

Шнековые питатели (рис. 11.1, д) более всего пригодны для выдачи мелкозернистых и мелкодисперсных материалов.

Производительность шнекового питателя пропорциональна квадрату диаметра рабочего винта D , шагу S и частоте его вращения n .

Секторные питатели (рис. 11.1, е) предназначены для выдачи мелкозернистых материалов. Основа конструкции секторного питателя – вращающийся барабан, разделенный радиальными перегородками на несколько секторов.

В частном случае (барабанный питатель) сектор может быть и один. Секторный питатель устанавливают под бункером. Материал выдается за счет поочередного заполнения и опорожнения секторов в процессе вращения ротора.

Производительность регулируют, изменяя частоту η вращения рабочего органа.

Недостатком питателя является зависимость степени заполнения секторов от числа оборотов η вращения ротора.

Регулирующие органы дроссельного типа. Они изменяют расход вещества за счет изменения скорости и площади сечения потока жидкости или газа при прохождении его через дросселирующее устройство, гидравлическое сопротивление которого – переменная величина.

Регулирующие клапаны (рис. 11.1, *ж, з*) отличаются формами плунжера 1 и седла 2.

Каждая конструкция характеризуется прежде всего зависимостью площади проходного сечения F клапана от положения плунжера.

Для тарельчатого клапана, показанного на рисунке 11.1, *ж*, эту характеристику называют конструктивной и рассчитывают по формуле ($h_{\max} = 0,25D$)

$$F = \pi Dh,$$

где D – диаметр отверстия, м.

Для золотникового клапана (рис. 11.1, *з*) с прямоугольным сечением окон

$$F = nbh,$$

где n – число окон; b и h – ширина и высота окна, м.

Поворотные заслонки (рис. 11.1, *и*) круглой или прямоугольной формы предназначены в основном для регулирования расхода газообразных сред при малых перепадах давления на регулирующем органе.

Зависимость площади проходного сечения от угла поворота заслонки имеет вид:

$$F = 0,78D_y^2(1 - \cos \varphi),$$

где D_y – диаметр условного прохода круглой или равной ей по площади прямоугольной заслонки, численно равный внутреннему диаметру круглой заслонки, м; φ – угол поворота заслонки, изменяющийся от 0 до φ_{\max} .

Работоспособность системы автоматического управления в значительной мере зависит от правильности выбора регулирующего органа. Выбирают конкретный РО по данным справочников или каталогов в соответствии с наибольшим значением пропускной способности.

Тема 12

ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ И ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ

Автоматические регуляторы

Устройство, которое воспринимает разность между текущим и заданным значениями регулируемой величины и преобразует ее в воздействие на РО в соответствии с заложенным в регулятор законом регулирования, называют *автоматическим регулятором*.

Напомним, что элементы типового регулятора – это измерительный преобразователь, задатчик, усилитель и собственно регулирующее устройство, которое вырабатывает сигнал рассогласования текущего и заданного значения регулируемой величины, усиливает его и корректирует в соответствии с законом регулирования, вырабатывая сигнал регулирующего воздействия.

Большинство систем автоматического регулирования включает также ИМ, преобразующий командный сигнал от регулятора в соответствующее воздействие на РО.

Основные типы регуляторов – позиционные и непрерывного действия. Последние, в свою очередь, делят на пропорциональные, пропорционально-интегральные и пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы (табл. 12.1).

Пропорциональный (П) регулятор. Он перемещает РО на значение x , пропорциональное отклонению регулируемой величины y от заданного значения.

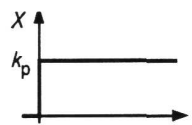
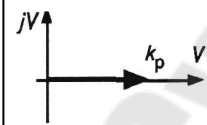
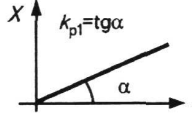


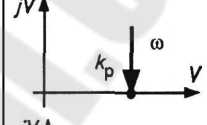
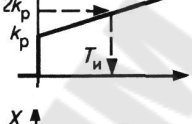
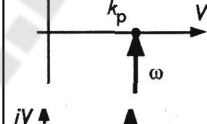

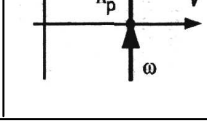
Дифференциальное уравнение регулятора (p означает запись в операторной форме):

$$x(p) = k_p y(p).$$

Таким образом в динамическом отношении П-регулятор подобен безынерционному (пропорциональному) звену.

Параметр настройки П-регулятора – коэффициент пропорциональности k_p , равный перемещению РО x при отклонении регулируемой величины y на единицу ее изменения.

Характеристики автоматических регуляторов

Закон	Дифференциальное уравнение	Передачная функция	Передачная характеристика	АФЧХ	Параметры настройки
П	$X(t) = k_p y(t)$	k_p			k_p
И	$X(t) = k_{pI} \int y(t) dt$	$\frac{k_{pI}}{p}$			k_{pI}
ПД	$X(t) = k_p [y(t) + T_{np} \frac{dy(t)}{dt}]$	$k_p(1 + T_{np} p)$			k_p, T_{np}
ПИ	$X(t) = k_p [y(t) + \frac{1}{T_i} \int y(t) dt]$	$k_p \left(\frac{1 + T_i p}{T_i p} \right)$			k_p, T_i
ПИД	$X(t) = k_p [y(t) + \frac{1}{T_i} \int y(t) dt + T_{np} \frac{dy(t)}{dt}]$	$k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_{np} p \right)$			k_p, T_i, T_{np}

При выборе структурной схемы любого реального регулятора, в том числе и пропорционального, решающее значение имеет передаточная функция (ПФ) исполнительного механизма, которая может соответствовать ПФ интегрирующего или пропорционального звена. К первой группе относятся электродвигательные ИМ, обеспечивающие постоянную скорость перемещения РО, ко второй – пневматические мембранные ИМ, у которых перемещение РО пропорционально регулирующему воздействию.

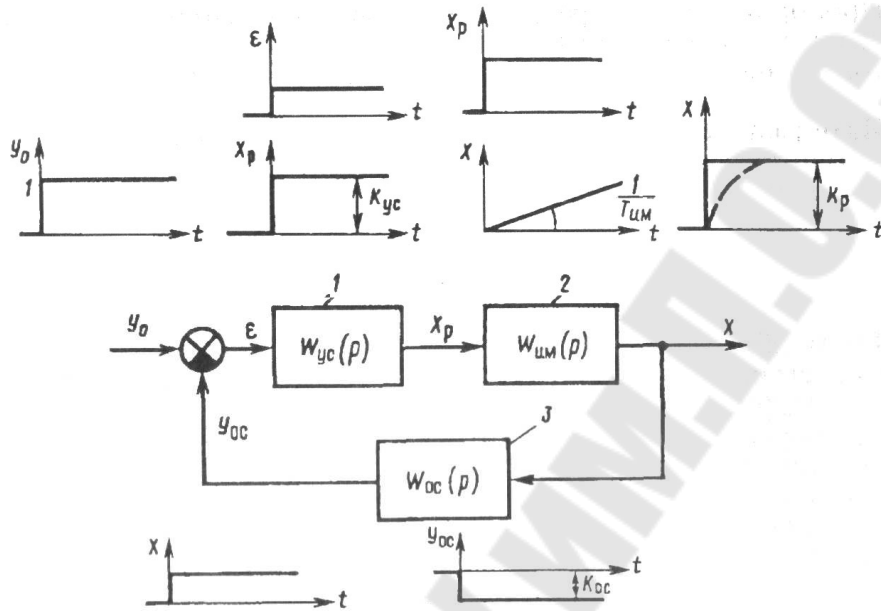
Структурная схема П-регулятора с ИМ первого типа приведена на рис. 12.1, а. Закон регулирования формируется с помощью отрицательной обратной связи (ОС) по положению РО, т. е. на вход устройства ОС $W_{OC}(p)$ поступает сигнал x с преобразователя перемещения ИМ.

В соответствии с правилами преобразования структурных схем ПФ регулятора имеет вид:

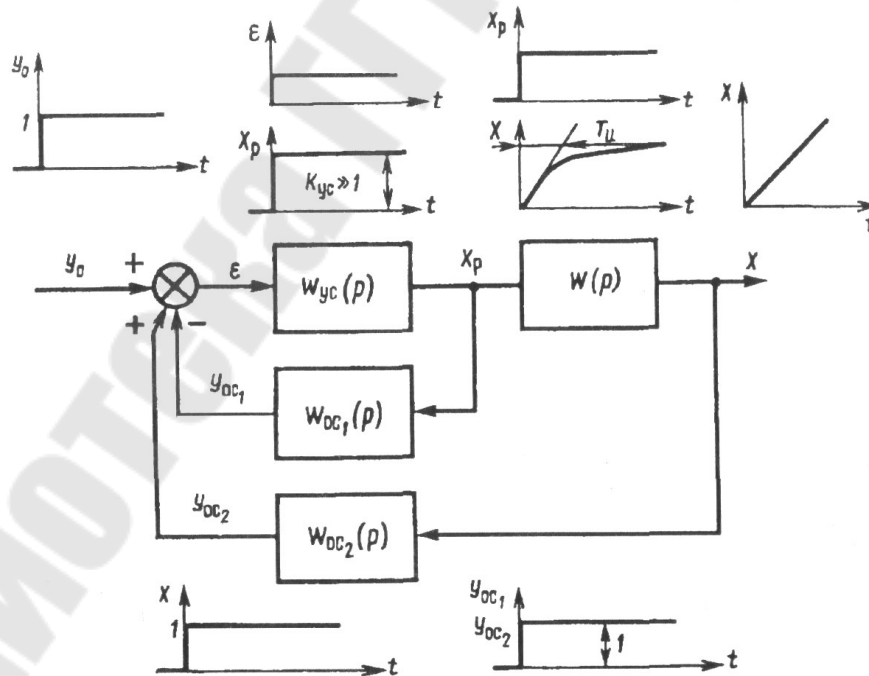
$$W_p(p) = \frac{x(p)}{y(p)} = \frac{W_{yc}(p)W_{ИМ}(p)}{1 + W_{yc}(p)W_{ИМ}(p)W_{OC}(p)}$$

При большом коэффициенте усиления $W_{yc}(p)$ ПФ упрощается

$$W_p(p) \approx \frac{1}{W_{oc}(p)} \quad (12.1)$$



a)



б)

Рис. 12.1. Структурные схемы П-регулятора (а) и И-регулятора (б):
1 – усилитель; 2 – исполнительный механизм; 3 – цепь обратной связи

Для того чтобы формула (12.1) была тождественна ПФ идеального П-регулятора $W_p(p) = k_p$, необходимо выполнить условие $W_{OC}(p) = 1/k_p$.

Таким образом, ОС должна быть выполнена в виде безинерционного звена с коэффициентом усиления $k_{OC} = 1/k_p$. Такую ОС называют *жесткой*. Соответственно параметр настройки П-регулятора – коэффициент пропорциональности k_p задается параметрами звена ОС.

Переходная характеристика реального П-регулятора несколько отличается от характеристики идеального в начальной своей части из-за ограниченной скорости ИМ.

Пропорциональные регуляторы позволяют устойчиво работать практически в любых технологических системах. Однако их недостаток – зависимость регулируемой величины от нагрузки объектов.

Интегральный (И) регулятор. Он перемещает РО пропорционально интегралу от сигнала рассогласования.

Уравнение регулятора (в операторной форме)

$$x(p) = \frac{k_{p1}}{p} y(p).$$

Таким образом, в динамическом отношении И-регулятор подобен интегрирующему звену. Параметр настройки И-регулятора k_{p1} – коэффициент пропорциональности – характеризует зависимость скорости перемещения регулирующего органа от значения отклонения регулируемого параметра.

Структурная схема серийного П-регулятора показана на рис. 12.1, б. Передаточные функции элементов схемы определяются следующими выражениями:

$$W_{yc}(p) = k > 1; W(p) = \frac{1}{T_i p + 1}; W_{OC1}(p) = W_{OC2}(p) = 1. \quad (12.2)$$

Передаточная функция всей схемы

$$W(p) = \frac{W_{yc}(p)W(p)}{1 + W_{yc}(p)W_{OC1}(p) - W_{yc}(p)W(p)W_{OC2}(p)}.$$

После подстановки в формулу (12.3) значений ПФ из формулы (12.2), деления числителя и знаменателя на k : и отбрасыва-

ния за малостью $1/k$ получаем ПФ И-регулятора ($T_{и}$ – постоянная времени ИМ, величина, обратная k_{pl}):

$$W(p) = 1/T_{иp}.$$

И-регуляторы поддерживают параметр без его отклонений, однако могут устойчиво работать только на объектах, имеющих значительное самовыравнивание.

Пропорционально-дифференциальный (ПД) регулятор. Он перемещает РО на значение x , пропорциональное сумме отклонения и скорости (дифференциала) отклонения регулируемой величины $y(p)$.

Уравнение регулятора (в операторной форме):

$$x(p) = k_p(1 + T_d p)y(p).$$

Таким образом, в динамическом отношении ПД-регулятор подобен системе из двух параллельно включенных звеньев: безынерционного с коэффициентом пропорциональности k_p и дифференциального с коэффициентом $k_p T_d$.

Пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор. Он перемещает РО на величину x , пропорциональную сумме отклонения и интеграла от отклонения регулируемой величины y .

Уравнение регулятора (в операторной форме)

$$x(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{и} p}\right) y(p).$$

Таким образом, в динамическом отношении ПИ-регулятор подобен системе из двух параллельно включенных регуляторов: пропорционального с коэффициентом пропорциональности k_p и интегрального с коэффициентом пропорциональности $k_p/T_{и}$. Отсюда следует, что у ПИ-регулятора два параметра настройки: коэффициент пропорциональности k_p и время удвоения $T_{и}$. При этом $T_{и}$, как следует из табл. 12.1, может быть определено как время, за которое выходной сигнал регулятора x изменяется от k_p до $2k_p$, т. е. удваивается.

Структурная схема ПИ-регулятора показана на рис. 12.2 в двух вариантах: с охватом и без охвата ИМ отрицательной ОС.

В первом варианте (рис. 12.2, а) устройство ОС должно иметь характеристику реального дифференцирующего звена

$$W_{ос}(p) = k_d \frac{T_d p}{T_d p + 1},$$

где k_d и T_d – коэффициент усиления и постоянная времени дифференцирующего звена.

Тогда, как было отмечено ранее, при достаточно большом коэффициенте усиления $W_{yc}(p)$ ПФ регулятора:

$$W_p(p) = \frac{1}{k_d} \frac{T_d p + 1}{T_d p}, \quad \text{или} \quad W_p(p) = k_p \frac{T_i p + 1}{T_i p},$$

если принять $T_d = T_i$ и $k_p = 1/k_d$.

Таким образом, в первом варианте исполнения регулятора ПФ исполнительного механизма не влияет на формирование закона регулирования, который полностью определяется характеристикой устройства ОС. В серийных ПИ-регуляторах этого типа в качестве ОС используют различные электрические, пневматические или гидравлические устройства – аналоги реально дифференцирующего звена. Такую ОС называют *упругой*, или *гибкой*.

Во втором варианте исполнения ПИ-регулятора (рис. 12.2, б) возможны два случая, когда исполнительный механизм имеет характеристику интегрирующего или пропорционального звена.

В обоих случаях при достаточно большом коэффициенте усиления $W_{yc}(p)$ имеем:

$$W_p(p) = \frac{1}{W_{OC}(p)} W_{ИМ}(p).$$

Если $W_{ИМ}(p) = \frac{1}{T_{OC} p}$, а ОС выполнена в виде апериодического звена 1-го порядка $W_{OC}(p) = \frac{k_{OC}}{T_{OC}(p) + 1}$, то получаем ПФ ПИ-регулятора

$$W_p(p) = \frac{1}{k_{OC}} \frac{T_{OC} p + 1}{T_{OC} p} = k_p \frac{T_i p + 1}{T_i p}, \quad (12.3)$$

где оба параметра настройки $k_p = 1/k_{OC}$ и $T_i = T_{OC}$ также определяются параметрами узла ОС.

Если у ИМ характеристика пропорционального звена, то для реализации ПИ-регулятором закона регулирования звено ОС должно иметь характеристику реального дифференцирующего звена.

При увеличении постоянной времени T_i такой ПИ-регулятор превращается в П-регулятор, а устройство ОС – в безынерционное звено.

В большинстве серийно выпускаемых электрических регуляторов, использующих ИМ с постоянной скоростью перемещения и имеющих структурную схему (рис. 12.2, б), в качестве второй ступени усиления используют трехпозиционный релейный элемент.

Такой принцип реализован в большом числе регуляторов, используемых в сельскохозяйственном производстве (Р-25, РС-29, РП-4 и др.).

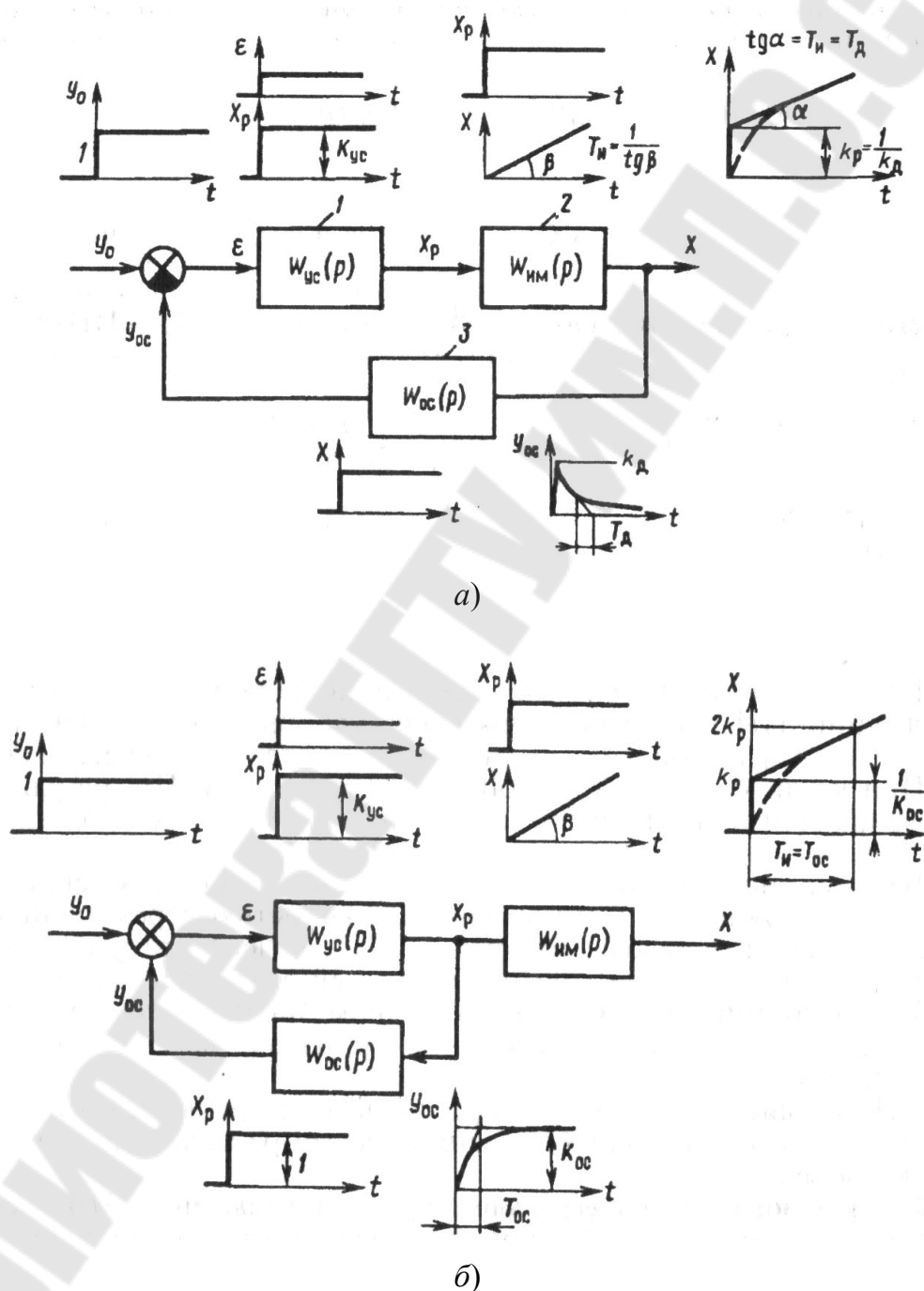


Рис. 12.2. Структурные схемы ПИ-регулятора с охватом (а) и без охвата (б) ИМ цепью отрицательной обратной связи: 1 – усилитель; 2 – исполнительный механизм; 3 – обратная связь

ПИ-регуляторы, отличаясь простотой конструкции, обеспечивают высокое качество стабилизации параметра независимо от нагрузки объекта.

Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор. Он перемещает РО пропорционально отклонению, интегралу и скорости отклонения регулируемой величины.

Уравнение регулятора (в операторной форме)

$$x(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right) y(p).$$

Таким образом, в динамическом отношении ПИД-регулятор подобен системе из трех параллельно включенных звеньев: пропорционального – с коэффициентом пропорциональности k_p , интегрального – с k_p/T_i и дифференцирующего – с $k_p T_d$.

Соответственно у ПИД-регулятора параметров настройки три: коэффициент пропорциональности k_p , время интегрирования T_i и время дифференцирования T .

На практике аналоговый ПИД-регулятор выполняют по той же структурной схеме, что и ПИ-регулятор (рис. 12.2, а), но устройство ОС $W_{OC}(p)$ в этом случае должно иметь ПФ вида апериодического звена второго порядка. Обычно ПИД-закон регулирования реализуют путем включения последовательного корректирующего устройства в виде интегрально-дифференцирующего звена.

Позиционный (релейный) регулятор. Он вырабатывает сигнал, который перемещает РО в одно из фиксированных положений (позиций). Этим положением может быть два, три и более, соответственно различают двух-, трех- и многопозиционные регуляторы.

Уравнение автоматической системы регулирования с позиционным регулятором определяется статической характеристикой регулятора.

Статическая характеристика наиболее распространенного из этой группы регуляторов – двухпозиционного показана на рис. 12.3, а.

Величина $2a$ определяет зону неоднозначности регулятора. При изменении входной величины y (она же – выходная величина объекта) относительно заданного значения на a выходная величина x (регулирующее воздействие) скачком достигнет своего максимального значения B . При уменьшении χ на то же значение a выходная величина также скачком достигнет значения β_2 , причем в общем случае

$$B_1 \neq B_2.$$

Таким образом, двухпозиционные регуляторы имеют два параметра настройки: зона неоднозначности 2α и регулирующее воздействие B .

Характерная особенность системы регулирования с двухпозиционным регулятором – автоколебательный характер изменения регулируемой величины y . Параметры автоколебаний – амплитуда A_k и период T зависят от свойств объекта регулирования ($T_{об}$, $K_{об}$, τ) и параметров настройки регулятора.

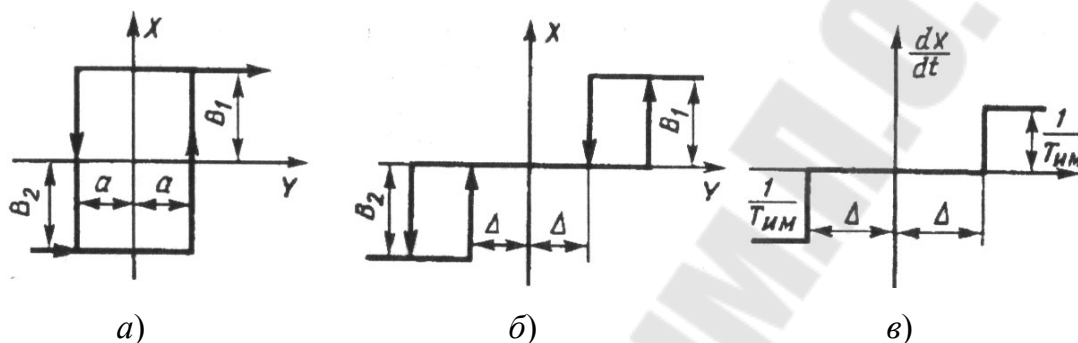


Рис. 12.3. Статические характеристики позиционных регуляторов

Трехпозиционные регуляторы (рис. 12.3, б) в отличие от двухпозиционных кроме двух устойчивых положений – «больше» B_1 и «меньше» B_2 – обеспечивают еще и третье – «норма». Органы настройки трехпозиционного регулятора позволяют устанавливать зону нечувствительности 2Δ и значение регулирующего воздействия B .

Преимущества трехпозиционного регулирования перед двухпозиционным заключаются в отсутствии автоколебаний при изменении $-\Delta < y < +\Delta$ и малом значении амплитуды колебаний регулируемой величины.

Позиционные регуляторы могут работать также и с ИМ, обеспечивающими постоянную скорость перемещения РО. Статическая характеристика такого регулятора приведена на рис. 12.3, в. В соответствии с этой характеристикой скорость перемещения РО dx/dt изменяется скачкообразно, достигая значения $1/T_{им}$, где $T_{им}$ – время полного хода ИМ.

Релейные регуляторы кроме зоны нечувствительности имеют также и зону неоднозначности.

Системы автоматического регулирования с позиционными регуляторами применяют при автоматизации ТП сельскохозяйственного производства. Это стало возможным благодаря таким их преимуществам, как простота технических способов управления энергетиче-

скими потоками, удобство сочетания релейного элемента с ИМ постоянной скорости, перемещающим РО, а также благодаря дешевизне, надежности и простоте настройки самих регулирующих устройств.

Тема 13

МЕТОДЫ СИНТЕЗА ОДНОКОНТУРНЫХ И МНОГОКОНТУРНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ. СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ПОЗИЦИОННОГО И СЛЕДЯЩЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Методы синтеза одноконтурных автоматических систем регулирования

В задачи синтеза автоматических систем регулирования входят выбор закона регулирования и определение параметров настройки регулятора, обеспечивающих заданное или оптимальное качество переходных процессов.

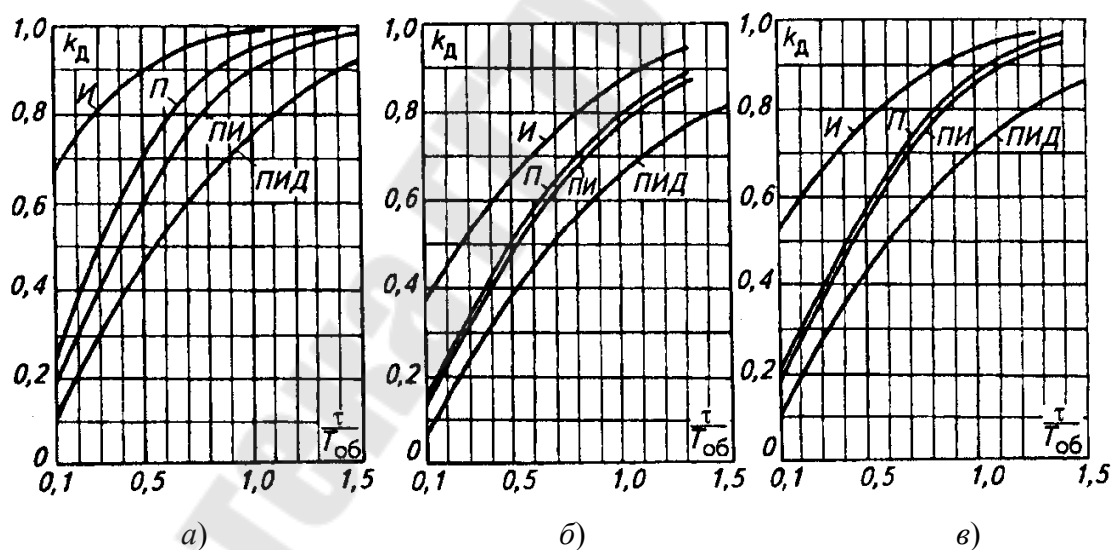


Рис. 13.1. Номограммы для выбора закона регулирования:
а – переходный процесс без перерегулирования;
б – с 20%-ным перерегулированием; *в* – с минимумом J_2

Выбор закона регулирования основывается на требованиях к качеству стабилизации параметра, динамических характеристиках объекта регулирования и характеристиках возмущающих воздействий. При этом значение возмущающих воздействий оценивают по входному регулируемому воздействию x , обеспечивающему их компенсацию.

При выборе закона регулирования обычно используют номограммы (рис. 13.1), составленные для трех наиболее распространенных типов переходных процессов: без перерегулирования; с 20%-ным перерегулированием и с минимумом J_2 .

На номограммах представлены И-, П-, ПИ- и ПИД-регуляторы. С увеличением инерционности объекта, характеризуемой отношением $\tau/T_{об}$, и изменением коэффициента усиления регулятора k_d должны быть использованы более сложные законы регулирования [4].

Выбор закона регулирования завершается проверкой обеспечения регулятором допустимых времени и ошибки регулирования.

Методы синтеза многоконтурных систем автоматического регулирования

Если объект регулирования имеет неудовлетворительные динамические характеристики, то требуется усложнение закона регулирования или переход от одноконтурной системы к многоконтурной, включающей в себя дополнительные (корректирующие) импульсы по возмущениям или вспомогательным выходным координатам.

В зависимости от корректирующего импульса многоконтурные системы автоматического регулирования (САР) делят на комбинированные, каскадные, с вводом производной от промежуточной регулируемой величины и взаимосвязанные системы.

Синтез комбинированных систем автоматического регулирования. Если на объект регулирования действует одно или несколько возмущающих воздействий и каналы передачи этих воздействий имеют меньшую инерционность, чем каналы передачи регулирующего воздействия, то обычная одноканальная САР, действующая по отклонению регулируемой величины, оказывается неэффективной и требуемое качество регулирования может быть обеспечено работой комбинированной, т. е. действующей по отклонению и по возмущению, САР.

Синтез каскадных систем автоматического регулирования. Этот тип многоконтурных САР рекомендуется в том случае, если основной вид возмущения – поступающее по каналу регулирующее воздействие. При этом сам объект, характеризуемый значительной инерционностью, должен иметь промежуточную (вспомогательную) регулируемую величину менее инерционную, чем основная.

Синтез систем автоматического регулирования с выводом производной от промежуточной регулируемой величины y_1 . Такие системы – вариант каскадной САР и рекомендуются для случая, когда

регулируемый параметр распределен по пространственной координате (например, по длине объекта), а регулирующее воздействие подается на его вход.

В результате воздействия дополнительного импульса dy/dt процесс компенсации возмущений начнется раньше, чем произойдет существенное отклонение y .

Однако в установившемся режиме дополнительное воздействие должно сниматься, иначе регулятор будет поддерживать y с ошибкой. Именно поэтому дополнительное воздействие формируется с помощью дифференциала dy/dt .

Синтез многосвязных систем автоматического регулирования. Этот тип многоконтурных САР рекомендуется в том случае, если ОУ характеризуется системой взаимных связей между выходными параметрами (одно регулирующее или возмущающее воздействие оказывает влияние на несколько выходных параметров).

Динамику многосвязных объектов описывают системой дифференциальных уравнений, а в преобразованном по Лапласу виде – матрицей ПФ.

Если рабочие частоты двух контуров регулирования различны, то взаимное влияние контуров незначительно и их можно рассчитывать независимо.

Если инерционность прямых и перекрестных каналов примерно одинакова, то параметры рассчитывают по эквивалентной ПФ или вводят в структурную схему компенсирующие связи, т. е. рассчитывают систему связанного регулирования.

Система связанного регулирования обеспечивает принцип автономности – взаимную независимость выходных координат при работе замкнутых САР. Автономность достигается организацией перекрестных компенсирующих связей по одному из двух вариантов: в виде прямых и обратных перекрестных компенсирующих связей.

Системы могут быть автономными по отношению к задающим или возмущающим воздействиям, причем оба признака одновременно не реализуются.

Сложно реализуется система связанного регулирования при числе связей $n > 2$, поскольку число перекрестных компенсирующих связей увеличивается до $n(n - 1)$.

Синтез систем позиционного регулирования. При синтезе САР с двухпозиционным регулятором следует учитывать, что даже в отсутствие возмущений такие системы находятся в режиме установившихся колебаний. Поэтому выбранные параметры регулятора –

зона неоднозначности $2a$ и величина регулирующего воздействия B (рис. 13.1, б) – должны обеспечить минимальную амплитуду A_k и максимальный период T_k автоколебаний, а среднее значение регулируемой величины y_{cp} возможно более близкое к заданному значению y_0 (рис. 13.1, в).

Уменьшение зоны неоднозначности $2a$ снижает не только амплитуду A_k , но и период автоколебаний T_k . При этом если первое обстоятельство должно несомненно приветствоваться, поскольку улучшает эксплуатационные характеристики автоматизируемого процесса, то второе сокращает срок службы релейных элементов и электрических нагревателей.

При малых $2a$ амплитуда колебаний y пропорциональна B , а среднее значение регулируемой величины y_{cp} – действующим в системе возмущениям. Коэффициент пропорциональности определяется инерционностью объекта, характеризуемой отношением $\tau/T_{об}$.

Существует большое число способов улучшения качества двухпозиционного регулирования.

Самые простые из них – это регулирование неполным притоком и (или) оттоком энергии. По сути своего влияния эти способы аналогичны уменьшению регулирующего воздействия, но их гораздо проще осуществить. Аналогичный эффект достигается и при включении ступенчатого импульсного прерывателя в выходные цепи регулятора (релейно-импульсное регулирование).

Тема 14

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Системы регулирования объектов с запаздыванием и нестационарных объектов

Большинство автоматических систем характеризуется запаздыванием, определяемым свойствами объекта или наличием в САР периодически действующих регуляторов.

Многочастотные объекты, кривая разгона I которых имеет S -образную форму, характеризуются переходным запаздыванием τ (рис. 14.1, а). Чем вредно запаздывание? Переходный процесс (временно-

го интервала первых 2τ после выхода САР из равновесия) повторяет кривую разгона, и потому динамическая ошибка y_1 тем больше, чем больше τ .

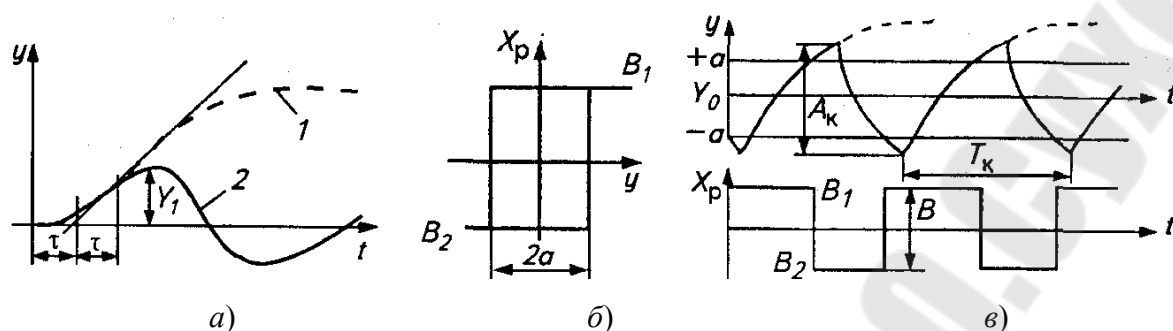


Рис. 14.1. Переходные процессы в системах регулирования:
 а – с запаздыванием (1 – кривая разгона; 2 – переходный процесс);
 б – статическая характеристика; в – установившиеся колебания
 системы двухпозиционного регулирования

Классический способ улучшения качества регулирования – применение регуляторов, обеспечивающих компенсацию чистого запаздывания.

Существенное улучшение качества регулирования при особо неблагоприятных динамических характеристиках объекта ($\tau/T_{об} > 3$) обеспечивает пропорционально-дифференциальный регулятор.

Если возмущение, изменяющее динамику объекта, можно измерить, то лучший прием, обеспечивающий высокое качество регулирования, – параметрическая компенсация, т. е. автоматическое изменение параметров настройки регулятора. Соответствующая операция выполняется по команде вычислительного устройства, обрабатывающего информацию о состоянии объекта в соответствии с заранее разработанным алгоритмом.

Тема 15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН. УПРАВЛЕНИЕ ПРИ НЕПОЛНОЙ НАЧАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Цифровые автоматические системы

Цифровые автоматические системы (ЦАС) реализуются на базе миниЭВМ или микропроцессоров. По сравнению с традиционными (аналоговыми) они обеспечивают квантование регулируемой величины и регулирующего воздействия, причем как по уровню, так и по времени.

Квантование по уровню необходимо из-за ограниченной разрядности входных и выходных преобразователей ЦАС. Квантование по времени – из-за ограниченного быстродействия ЭВМ. В результате управляющие воздействия выдаются через определенные промежутки времени (интервалы дискретности).

Преимущества ЦАС: стабильность характеристик и отсутствие дрейфа; высокая точность и разрешающая способность; возможность реализации очень сложных алгоритмов (за счет программного обеспечения); возможность управления медленно меняющимися процессами; экономичность за счет возможности иметь до 50...100 контуров регулирования; помехоустойчивость и др.

Цифровые автоматические системы на базе миниЭВМ

На базе мини-ЭВМ создаются централизованные ЦАС (рис. 15.1, а), в которых используют разнообразные периферийные устройства связи с ОУ и оператором.

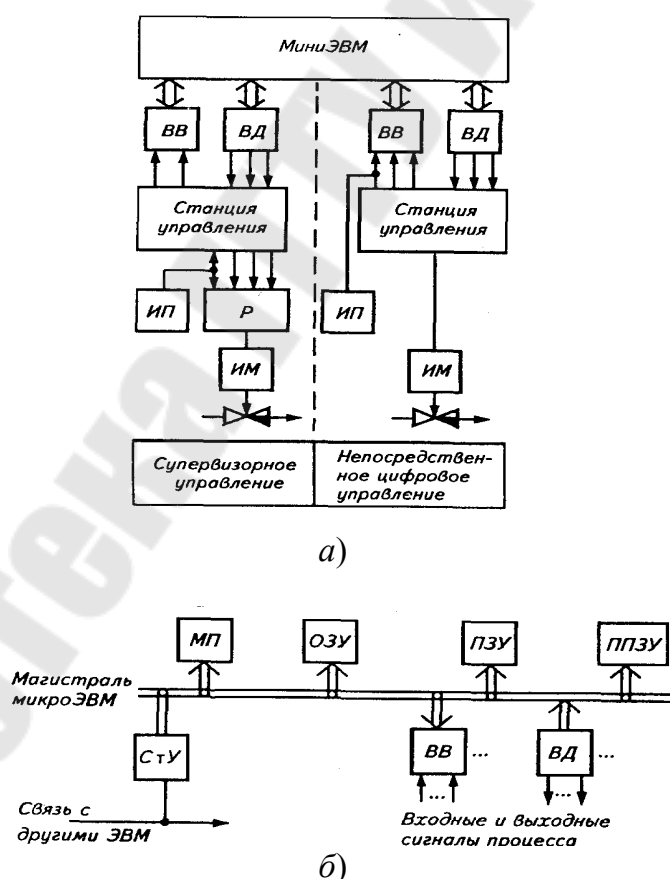


Рис. 15.1. Функциональные схемы автоматических систем:
 а – цифровой; б – микропроцессорной

Входные (ВВ), например аналого-цифровые, и выходные (ВД), например цифро-аналоговые, преобразователи позволяют вводить в ЭВМ аналоговую и цифровую (дискретную) информацию, а также вырабатывать регулирующие воздействия на аналоговые ИМ и регуляторы (Р).

Станция управления (СтУ) служит для сопряжения средств вычислительной техники с ИМ и Р. ЭВМ решает большое число задач управления. Это требует разработки сложных операционных систем реального времени, а также специальных языков программирования.

Микропроцессорные цифровые автоматические системы

По сравнению с ЦАС на миниЭВМ они надежнее и дешевле за счет функциональной и пространственной децентрализации. Первое обстоятельство увеличивает надежность путем резервирования отдельных элементов ЦАС, второе – сокращает длину коммуникаций за счет приближения устройства управления к ТП.

Микропроцессорная ЦАС (МП-регулятор) представляет собой микроЭВМ со всеми необходимыми для выполнения функций регулирования устройствами (рис. 15.1, б).

Все модули регулятора объединены общей магистралью и их число можно изменять. При этом отдельные модули сами могут содержать микропроцессор (МП). Программы распределяют в памяти так, чтобы при исчезновении питания не потерять постоянную информацию, в том числе и операционную систему. В простейшем случае операционной системы может и не быть, и тогда ЭВМ, решив одну задачу, вновь переключается на ее начало.

Перепрограммируемое запоминающее устройство (ППЗУ) хранит структурную схему и параметры настройки ЦАС. Эти данные определяют, какие программы постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) и в какой последовательности выполняются.

Содержимое оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) – информация, меняющаяся в процессе работы регулятора.

Для ВВ и ВД используют преобразователи с 12-разрядной разрешающей способностью. Через СтУ осуществляют сопряжение ЦАС с внешними устройствами. Данные передают последовательным или параллельным кодом. Число контуров для МП ЦАС – до 16.

По условиям работы человек должен иметь возможность вмешиваться в работу ЦАС. Кроме того, управляющие сигналы ЦАС (они квантованы по уровню и времени) должны быть преобразованы

в аналоговые. Эти задачи решают с помощью СтУ. Кроме того, СтУ запоминает задающие и регулирующие воздействия в промежутках времени между получением новых значений от ЦАС, индицирует регулируемую переменную, задающее и регулирующие воздействия, обеспечивает безударный переход из «автоматического» режима в «дистанционный» и обратно, а также и другие функции.

На базе микроЭВМ можно строить децентрализованные ЦАС, которые дешевле и надежнее рассмотренных ранее.

Управление при неполной начальной информации

Все рассмотренные ранее системы функционировали в условиях, когда статические и динамические характеристики ОУ, а также и характеристики возмущающих воздействий известны. Такие системы относятся к системам с полной начальной (априорной) информацией об ОУ.

Возможны, однако, случаи, когда характеристики ОУ и действующих на него возмущений неизвестны или изменяются с течением времени непредвиденным образом. Системы управления такими объектами относятся к системам с неполной начальной информацией об ОУ. Эту недостающую информацию приходится получать в процессе работы системы.

Системы, в которых способ функционирования автоматически изменяется для улучшения управления объектом, называют *адаптивными (самоприспосабливающимися)*. Адаптация такой системы к изменившимся условиям работы осуществляется путем изменения параметров, или изменения параметров и структуры. Первую систему называют *самонастраивающейся*, а вторую – *самоорганизующейся*.

Если по мере накопления опыта работы системы изменяются параметры, структура и алгоритм управления, то систему называют *самообучающейся*.

Один из видов самонастраивающихся систем – *системы экстремального управления (СЭУ)*.

В отличие от рассмотренных ранее систем автоматической стабилизации, в которых заданные значения регулируемой величины были неизменными или изменяющимися по определенной программе, СЭУ дополнительно ведут автоматический поиск требуемого оптимального значения регулируемой величины или некоторого показателя качества при изменяющихся внешних условиях работы объекта.

В общем случае задача СЭУ – поддержание максимального (минимального) значения некоторого показателя, существенно изменяющегося в зависимости от условий работы объекта.

Экстремальное регулирование применяют, например, для поддержания оптимальной скорости движения машинно-тракторного агрегата, обеспечивающей минимальный расход топлива на единицу обработанной площади. Естественно, структурная схема СЭУ должна включать в себя устройство автоматического поиска экстремума.

По способу поиска СЭУ подразделяют на системы с автоколебательным и принудительным поиском. В первом случае поисковые колебания генерируются самой системой, во втором используется автономный источник колебаний.

Системы экстремального управления можно разделить также на одно- и многомерные в зависимости от того, сколько переменных входит в экстремальную функцию качества. В одномерных системах экстремум достигается за счет изменения одной независимой переменной. Структурная схема такой СЭУ приведена на рис. 5.5, а. Рассмотрим возможные способы функционирования такого устройства для простейшего случая зависимости экстремума характеристики J от одной переменной y .

1. *Способ последовательных шагов* (рис. 15.2, б) заключается в организации принудительного изменения величины y на некоторое значение Δy относительно начальной точки A . Новые значения J сравнивают с тем, которое было, и если эта разность положительная, то y получает новое приращение Δy того же знака. Если новое значение J окажется меньше старого, то знак Δy меняют на обратный и опыт повторяют. В результате система выходит на экстремум J и колеблется вокруг него в пределах, зависящих от значения Δy .

2. *Способ производной* основан на использовании знака производной dJ/dy при принудительном (пробном) изменении y . Если находят максимум J , то изменение знака с плюса на минус должно иметь следствием изменение знака Δy .

3. *Способ запоминания экстремума* характеризуется тем, что система все время работает на увеличение (уменьшение) J , и как только это условие будет выполнено, соответствующий максимум (минимум) J запоминается, и далее система реагирует на отклонение J от этого нового значения.

4. *Способ наложения гармонических колебаний* заключается в наложении на медленно меняющуюся входную величину гармонических колебаний, в результате чего фаза выходных колебаний при

прохождении точки экстремума будет меняться на 180° . Выделяя эти колебания полосовым фильтром и используя фазовый дискриминатор, можно держать систему вблизи экстремума.

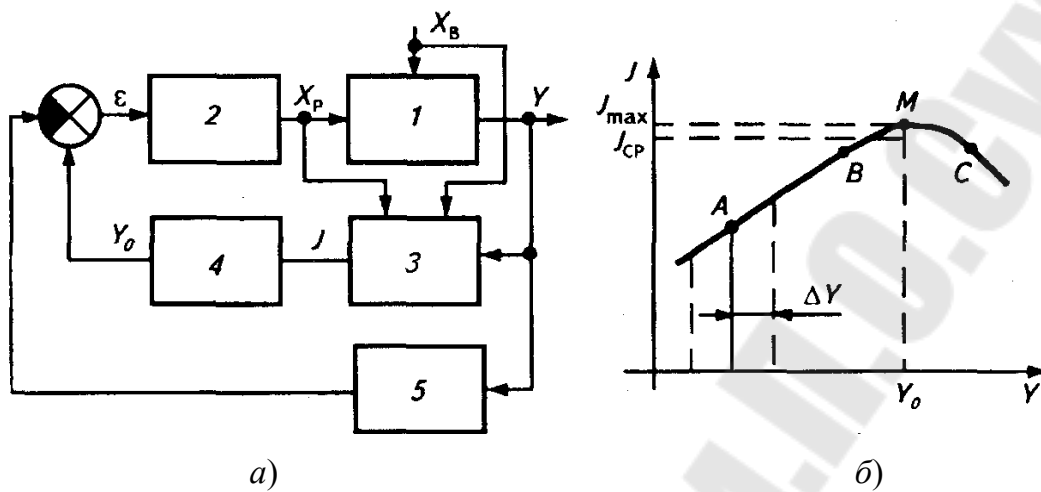


Рис. 15.2. Схема экстремальной автоматической СУ (а) и график поиска экстремума (б):

1 – объект управления; 2 – управляющий элемент; 3 – устройство автоматического поиска экстремума; 4 – исполнительный механизм; 5 – измерительное устройство; x_B – возмущающее воздействие; x_p – регулирующее воздействие; ε – ошибка управления

Как видно, в каждом из рассмотренных способов система не просто останавливается на экстремуме J , а совершает вокруг него установившиеся автоколебания, частота и амплитуда которых должны быть такими, чтобы качество ТП не страдало. Рабочая точка регулятора будет перемещаться по дуге BC , и среднее значение J_{cp} будет отличаться от максимального J_{max} на величину $J_{max} - J_{cp}$, называемую *потерей на поиск*. Другой показатель – амплитуда колебаний переменной y около значения y_0 , соответствующего J_{max} . Эта амплитуда тем больше, чем ближе кривая экстремума.

Еще более совершенны самоорганизующиеся и самообучающиеся автоматические СУ [4].

В *самоорганизующихся* СУ происходит автоматическое (непрерывное или периодическое) изменение структуры СУ по команде вычислительного устройства, обеспечивающего экстремум заранее заложенного в систему критерия качества.

В *самообучающихся* СУ структуру и алгоритмы управления постоянно совершенствуют, выбирая те из них, которые лучшим образом обеспечивают выполнение поставленной задачи.

Тема 16

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН В ПРОДОЛЬНО-ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Системы автоматического регулирования 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: системы автоматического регулирования глубины пахоты и культивации, системы регулирования положения режущих аппаратов уборочных машин, системы регулирования глубины заделки семян, системы автоматической стабилизации положения остова косогорных машин.

Системы автоматического регулирования 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 $\pm 1 \dots 1,5$ см, а на неровных участках 2...3 см. Неравномерность глубины обработки при культивации не должна превышать ± 1 см.

Существует два основных принципа построения систем автоматического регулирования 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.

Среди разнообразных систем, предложенных для этой цели, наибольший интерес представляет АСУ, в которой управление глубиной пахоты ведется по величине реакции опорного колеса плуга. Объ-

ектом 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.

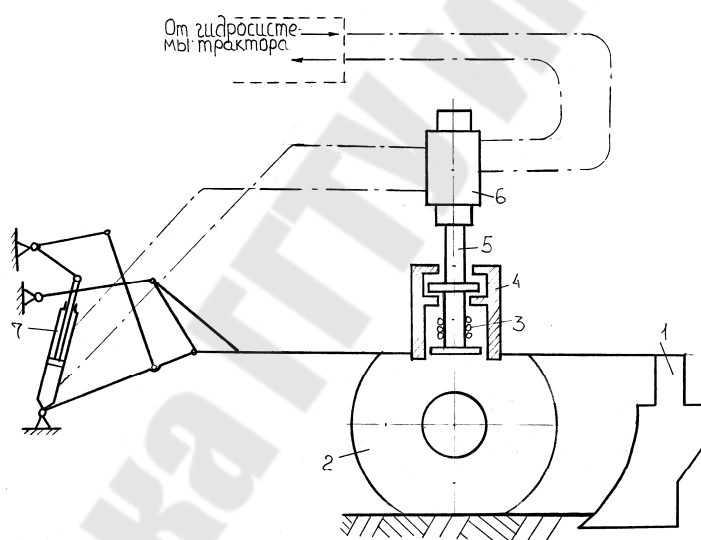


Рис. 16.1. Силовое регулирование глубины хода плуга

Рассмотрим работу системы, построенной на принципе управления по отклонению. Принципиальная схема такой системы изображена на рис. 16.2.

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 подыметса вверх и тем самым уменьшит заглубление плуга. При уменьшении глубины пахоты система будет действовать в обратном направлении.

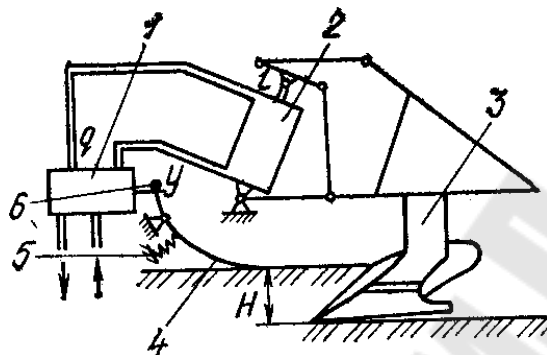


Рис. 16.2. Система регулирования глубины пахоты по отклонению:
 1 – золотниковый гидрораспределитель; 2 – гидроцилиндр; 3 – плуг;
 4 – качающаяся планка с ползунком; 5 – пружина; 6 – винт

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.

Система автоматического регулирования 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. 16.3, 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 b , 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.

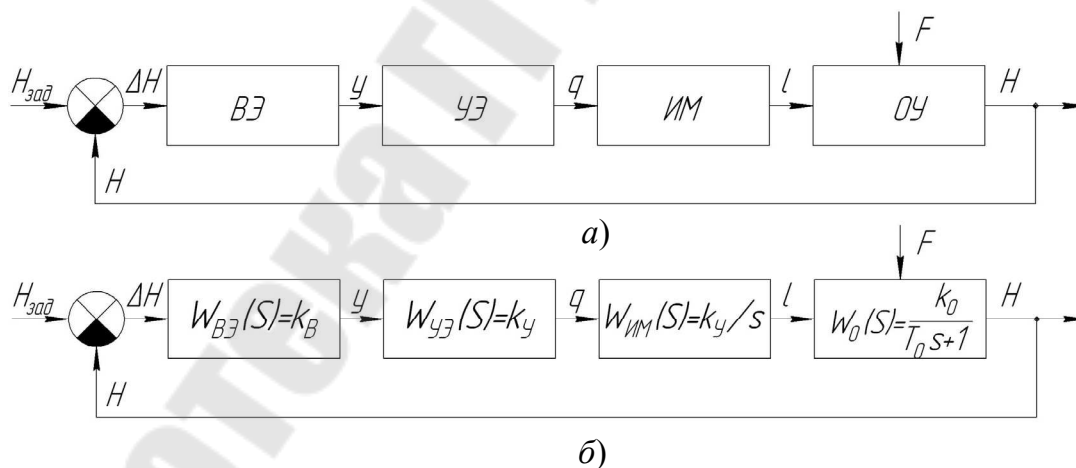


Рис. 16.3. Функциональная (а) и структурная (б) схемы автоматической системы регулирования глубины пахоты

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 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 Ленинградского сельскохозяйственного института (ЛСХИ) 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 систем автоматического регулирования 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. 16.4 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.

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 создаётся 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 движение 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 быстрое действие устройства.

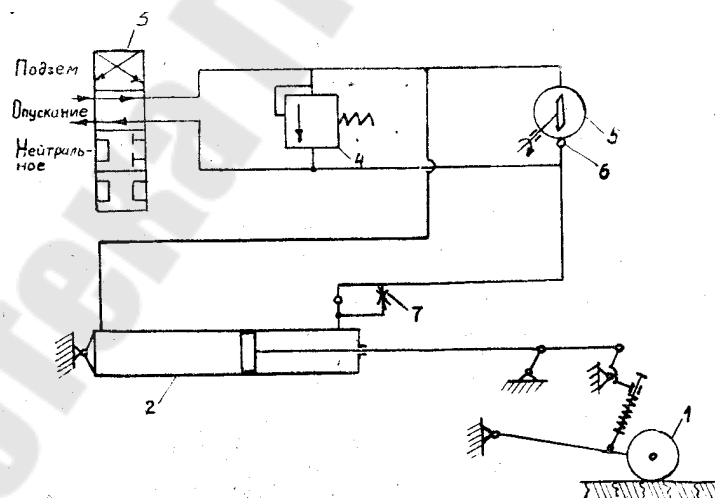


Рис. 16.4. Схема автоматического корректора глубины хода сошников

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.

Тема 17 **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. Так, по данным УНИИМЭСХа, применение автоматической системы копирования рельефа на силосоуборочных комбайнах позволило собрать с каждого гектара на 1,91 т силоса больше, т. е. 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. 17.1), 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.

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.

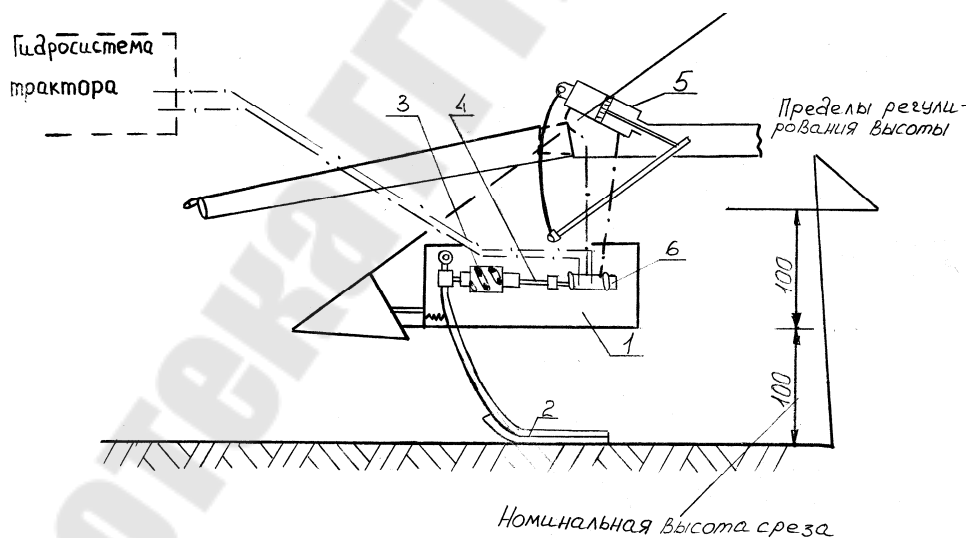


Рис. 17.1. Система автоматического поддержания высоты среза

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 по-

ть сельскохозйственной продукции, а также за счет увеличения производительности труда. Однако пока не все рассмотренные нами системы находят широкое применение в производстве.

Тема 18

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТНЫМ РЕЖИМОМ ДВИГАТЕЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Системы автоматического регулирования загрузочных режимов предназначены для поддержания требуемого уровня загрузки машин и отдельных рабочих органов технологическим материалом в соответствии с их пропускной способностью. Существующие системы управления загрузочными режимами можно разделить на две основные группы:

- системы управления загрузочными режимами двигателей тракторов и сельскохозяйственных машин;
- системы управления загрузочными режимами уборочных сельскохозяйственных машин.

Системы автоматического управления загрузочными режимами двигателей сельскохозяйственных машин

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.

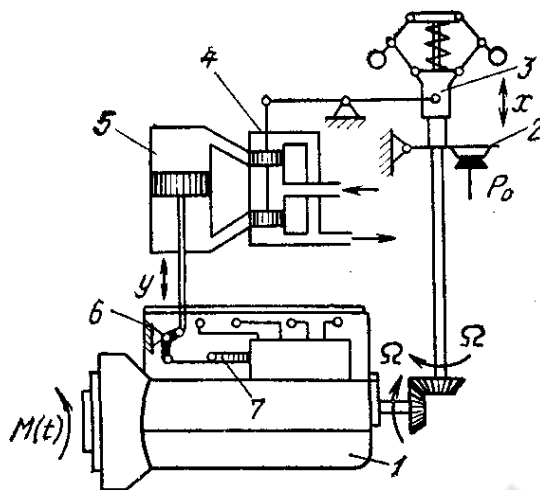


Рис. 18.1. Функциональная схема регулирования частоты вращения ДВС:

- 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – задающее устройство;
 3 – преобразователь вращения; 4 – золотниковый гидрораспределитель;
 5 – гидроцилиндр; 6 – рычаг; 7 – рейка топливного насоса

На рис. 18.1 изображена принципиальная схема системы автоматического регулирования 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.

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, т. е. скольжение его подвижной муфты. Перемещение муфты вызывает перемещение поршеньков 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.

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.

Тема 19

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗАГРУЗОЧНЫМИ РЕЖИМАМИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МАШИН

Автоматическое управление загрузочными режимами уборочных сельскохозяйственных машин

Основное условие эффективного использования уборочных машин – правильная загрузка его 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 автоматических систем регулирования загрузочных 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 прямостоячих хлебов 1,5 % для полеглих;
- 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 СК-5 «Нива», СК-6 «Колос», СКД-5 «Сибиряк», «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 оп-

ределяется 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. 19.1 показан автоматический регулятор загрузки зерноуборочного комбайна по толщине слоя хлебной массы под транспортером наклонной камеры.

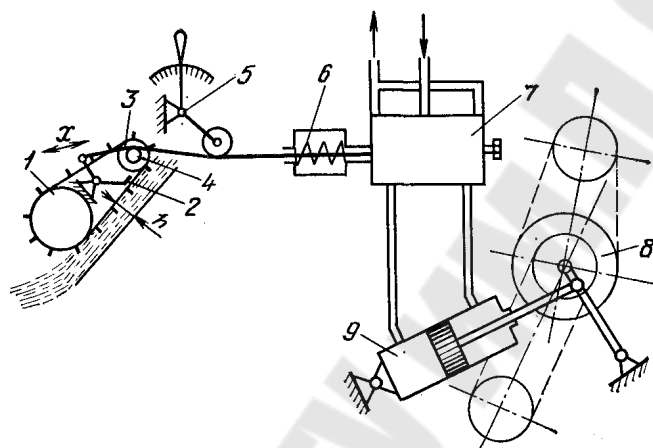


Рис. 19.1. Упрощенная принципиальная, схема гидромеханического регулятора загрузки зерноуборочного комбайна:

- 1 – транспортер; 2 – преобразователь; 3 – трос; 4 – направляющий ролик;
5 – задающий рычаг; 6 – демпфирующее устройство;
7 – гидрораспределитель; 8 – вариатор; 9 – гидроцилиндр

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 системы автоматического регулирования 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. 19.1) 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 картофе-

леуборочного 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 клубне-носной 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. 19.1). 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 y , изменяющего положение вариатора комбайна и скорость комбайна.

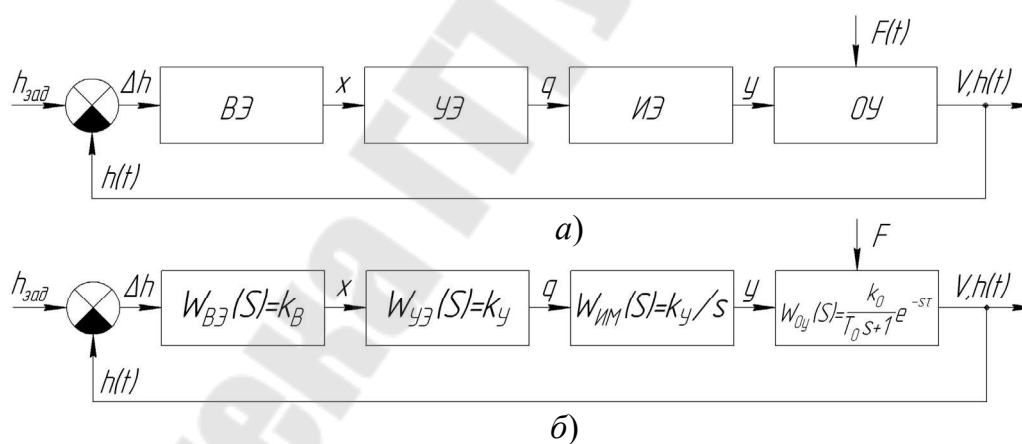


Рис. 19.2. Функциональная (а) и структурная (б) схемы регулирования загрузки зерноуборочного комбайна

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. Гидроусили-

тель 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 рисунке 19.2, *a*.

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

$$W_o(s) = \frac{k_o}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1} e^{-s\tau}, \quad (19.1)$$

где k_o – 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...0,1 с, поэтому в наших расчетах мы не будем учитывать T_2 . При этом передаточная функция объекта примет вид

$$W_o(s) = \frac{k_o}{T_0 s + 1} e^{-s\tau}. \quad (19.2)$$

Воспринимающим элементом является рычажное устройство с пружиной, обладающее некоторой инерционностью, которой для практических расчетов можно пренебречь и считать устройство безынерционным:

$$W_o(s) = k_B. \quad (19.3)$$

Гидроусилитель также можно считать безынерционным звеном, учитывая, что рабочий участок статической характеристики линеен:

$$W_{B.3}(s) = k_y. \quad (19.4)$$

Исполнительный механизм (гидроцилиндр) – интегрирующее звено

$$W_{\text{ИМ}}(s) = k_{\text{и}} / s. \quad (19.5)$$

Структурная схема автоматической системы представлена на рис. 19.2, б.

Передаточная функция разомкнутой системы

$$W_o(s) = \frac{k_o e^{-s\tau}}{s(T_0 s + 1)}, \quad (19.6)$$

где $k_o = k_{\text{в}} k_{\text{у}} k_{\text{и}}$.

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 %.

Тема 20 АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ РАБОТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Системы автоматического контроля мобильных сельскохозяйственных агрегатов предназначены для постоянного контроля за выполнением отдельных технологических операций и подачи светозвуковой 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.

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 высевальных аппаратов и, следовательно, ухудшается качество посева. С другой стороны, преждевременные догрузки зерном семенных ящиков снижают производительность посевного агрегата. Так, при снижении количества заправок на 10 % производительность посевного агрегата (с сеялкой СЗ-3,6) 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. 20.1 показано устройство с фотодатчиком для 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 выхода из строя осветителя *2* 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 высевального элемента при вращении последнего дает импульсы, которые после усиления усилителем *15* подаются одновременно на схему «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.

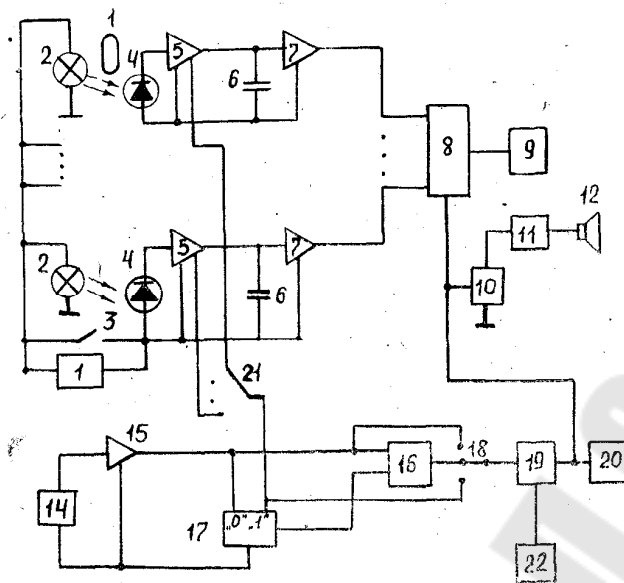


Рис. 20.1. Блок-схема устройства контроля работы сеялок

При верхнем по схеме положении переключателя 18 импульсы на ключ 19 поступают непосредственно с усилителя 15, чем обеспечивается режим счета «номер высева». При нижнем по схеме положении переключателя 18 импульсы и ч 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.

На рис. 20.2 показано устройство с зондирующим клапаном контроля семяпроводов.

Устройство содержит установленную на стенке семяпровода катушку 1 соленоида 2 с подвижным подпружиненным сердечником 3. На одном конце сердечника закреплен пластинчатый клапан 4, а на другом — скользящий контакт 5, взаимодействующий с контактной пластиной 6. Включение катушки соленоида 2 и контактной пластины 6 в электрическую цепь производится коммутационным устройством 7.

Коммутационное устройство 7 при проведении контроля включается в электрическую цепь выключателем 8, подавая напряжение на катушку соленоида 2 и контактную пластину 6. Сердечник 3 втягивается в катушку 2 и клапан 4 прощупывает пространство семяпровода 1.

Если высевающий аппарат забился и прекратился поток семян в семяпроводе, то клапан 4 пройдет в зону «а», ширина которой меньше размеров высеваемых семян.

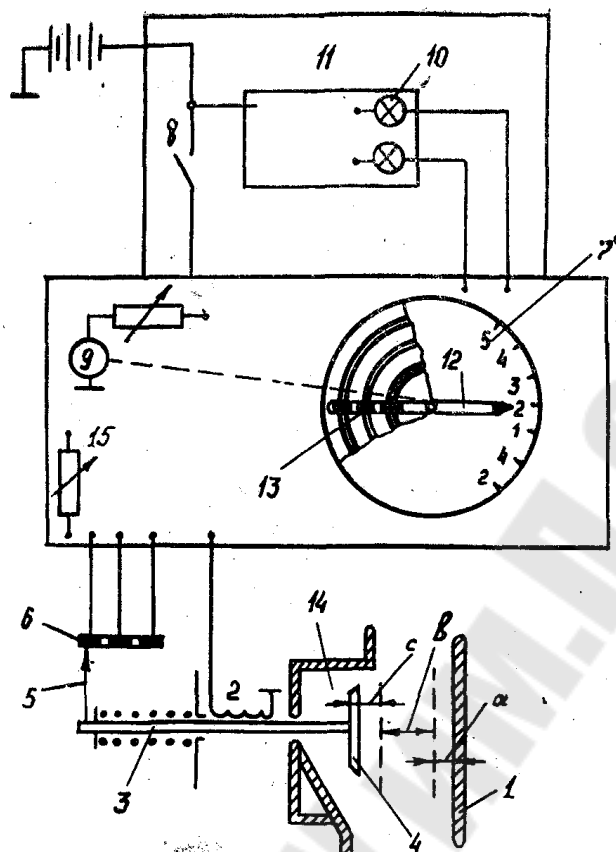


Рис. 20.2. Схема устройства контроля семяпроводов с зондирующим клапаном и коммутационным устройством

Скользящий контакт 5 замкнет контакты на контактной пластине 6, отключит электродвигатель 9, приводящий во вращение коммутационное устройство 7, и включит электролампочку 10 и электровзвонк 11. Стрелка 12 укажет, на каком высевающем аппарате произошла неисправность.

Если в высеве нарушений нет и через семяпровод 1 проходит семяпоток, то клапан 4 остановится в зоне «в», ширина которой равна размерам высевающих семян. Скользящий контакт 5 не замкнет контакты 6, а вращающаяся контактная стрелка 13 снимет напряжение с контактной пластины 6 и отключит электропитание от катушки соленоида 2, а затем произойдет проверка последующих семяпроводов.

Захваченные при обратном ходе клапаном 4 семена сыплются в канал семяпровода 1 через нишу 14. Если канал семяпровода 1 забился семенами, то клапан 4 остановит в зоне «с», а скользящий контакт 5 замкнет контакты 6, что вызовет остановку электродвигателя 9, включение электролампочки 10 и электровзвонка 11. Стрелка 12 укажет, на каком высевающем сошнике произошла неисправность. Для предот-

вращения травмирования семян при контроле мягкость хода клапана 4 регулируется реостатом 15.

Процесс проверки длится доли секунды и на равномерность высева не влияет.

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. 20.3 показано устройство с микропроцессором для измерения нормы высева семян.

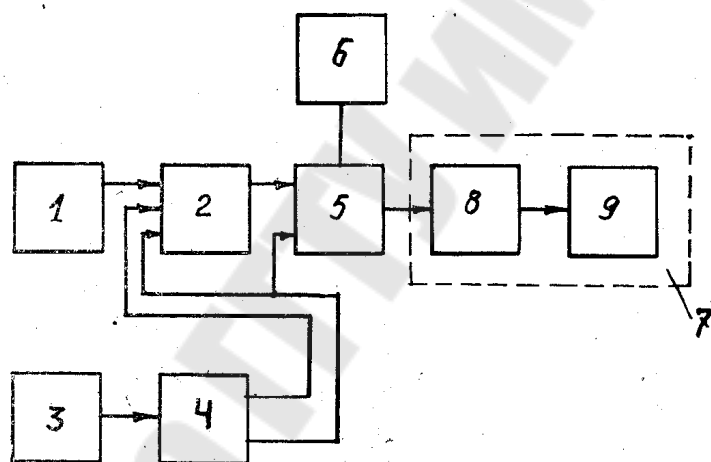


Рис. 20.3. Блок-схема устройства для измерения нормы высева семян

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 показания счетчика 2 семян в микропроцессор 5, а по второму – умножение показания счетчика семян в микропроцессоре 5 на константу задатчика 6, учитывающую вид высеваемой культуры и усреднение показаний с учетом трех предшествующих измерений, осуществляе-

мое 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.

Автоматический контроль и сигнализация работы зерноуборочной машины

Зерноуборочные машины оборудованы устройствами контроля функционирования рабочих органов с сигнализаторами (звуковыми, световыми). Сигнализатор загрузки комбайнов «Нива», «Колос» размещен над клавишным 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 копнителя. 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 «Нива» и «Колос» 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. 20.4 показана блок-схема одного из вариантов системы контроля, разработанной в ВИСХОМе для комбайнов «Нива», «Колос», «Дон». В ней предусмотрены измерительные устройства часто-

ты вращения 1 валов рабочих органов, намолота 2 и потерь 3 зерна, скорости движения 4 комбайна, убранной площади 5, режимов работы двигателя 6 и других параметров технологического процесса.

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.

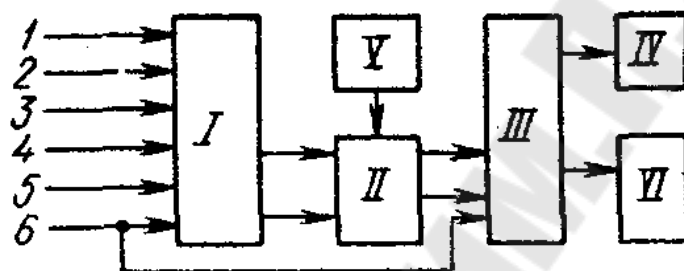


Рис. 20.4. Блок-схема системы контроля зерноуборочного комбайна

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 «Дон» 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.

Однако в зерноуборочных комбайнах, даже и семейства «Дон», указанные системы автоматического контроля (САК) и управления реализованы лишь частично. Для полной реализации комплексной системы контроля и управления необходимы научные изыскания в области принципов контроля и управления технологических процессов комбайнов, сбора и обработки информации об этих процессах. Необходимы также работоспособные датчики для измерительных устройств.

На комбайнах «Дон» установлена САК (рис. 20.5), которая включает блоки измерения θ (БИЧ) и снижения L (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).

Блок 11 снижения частоты вращения (БСЧ) 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.

Устройство контроля качества технологических процессов уборочных машин. Технологические процессы уборочных машин – сложные объекты контроля и управления эффективностью их функционирования; причем эта эффективность оценивается многими показателями. К сожалению, информация о структуре показателей, характере их изменения в реальных условиях функционирования весьма ограничена.

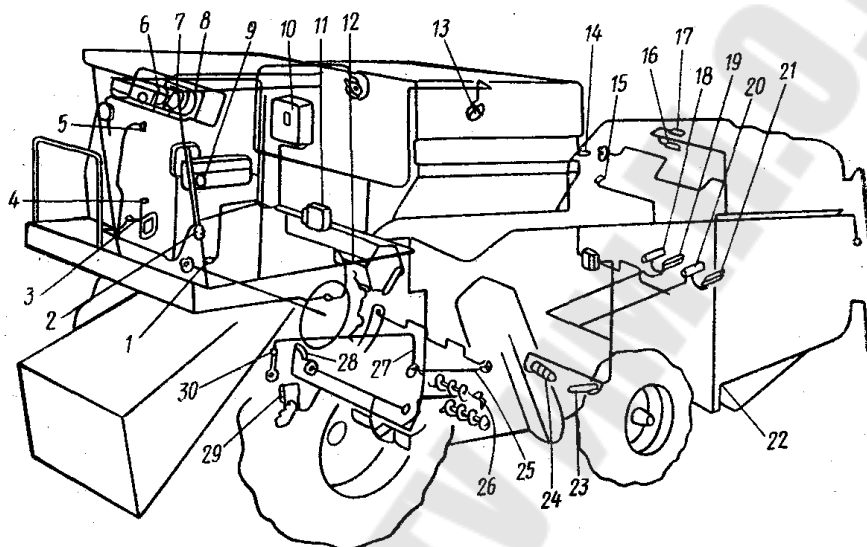


Рис. 20.5. Размещение датчиков системы контроля комбайна «Дон»

Одно из важных устройств контроля технологического процесса зерноуборочных комбайнов – указатель потерь зерна (УПЗ) молотилкой. Предполагалось, что с его помощью можно будет оценивать относительные потери, т. е. количество зерна, теряемого молотилкой, к количеству его, поступающему в бункер в текущие моменты времени. Однако он фиксирует только то зерно, которое поступает на его чувствительные элементы.

Исследованиями установлено, что сигналы с датчиков УПЗ имеют большое транспортное запаздывание, но они коррелированы с общими потерями зерна молотилкой. При этом сравнивались фактические потери на конечном участке (0,3 м) клавишного соломотряса с потерями зерна невытрясом. Коэффициенты корреляции оказались достаточно высокими и изменялись для различных культур (пшеницы, ячменя) в пределах 0,87...0,92.

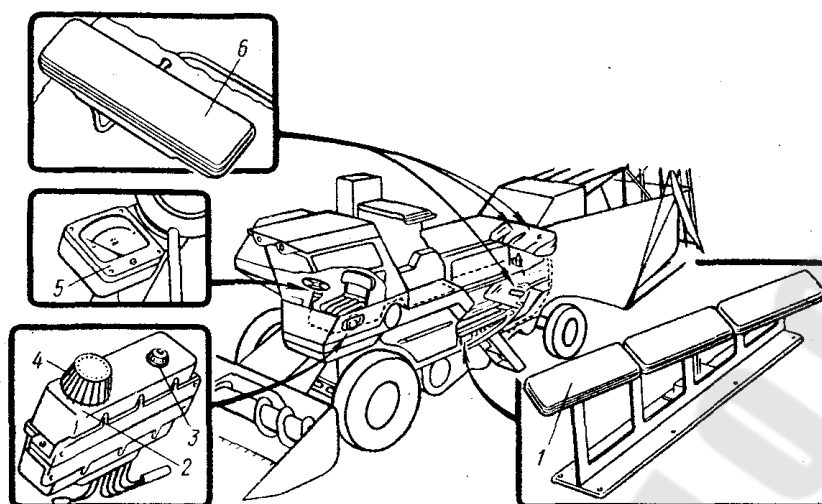


Рис. 20.6. Указатель потерь зерна

Одно из конструктивных оформлений устройства указателя потерь представлено на рис. 20.6. Указатель оборудован четырьмя пьезоэлектрическими преобразователями 1 и 6, которые установлены у комбайна «Колос» на второй и четвертой клавишах соломотряса и на скатной доске. У комбайна «Нива» они размещены на двух средних клавишах соломотряса. Преобразователь 1 расположен на днище решетного стана системы очистки комбайна. Удары зерна о мембраны датчиков преобразуются в электрические сигналы, которые после усиления и преобразования в блоке 2 поступают на прибор 5, предусмотренный на рулевой колонке. Тумблер 3 и переключатель 4 служат для настройки УПЗ.

Тема 21

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МАШИН И ИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Системы автоматического регулирования 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 мобильных сельскохозяйственных агрегатов; системы автоматического вождения 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 системы автоматического вождения 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. колесные тракторы оснащали первыми опытными устройствами для автоматического вождения.

Работы над созданием совершенных средств автоматического вождения 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.

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 неспаханного 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. 21.1 показана система автоматического вождения агрегата с колесным трактором вдоль борозды. При движении трактора 1 (рис. 21.1, а) вдоль направляющей борозды боковое давление почвы, воспринимаемое рабочими органами орудия 3, передается на копир 2 и полевую доску 4, вследствие чего они постоянно прижаты к стенкам борозд. Так как орудие соединено с трактором подвижно, оно независимо от трактора копирует направляющую борозду.

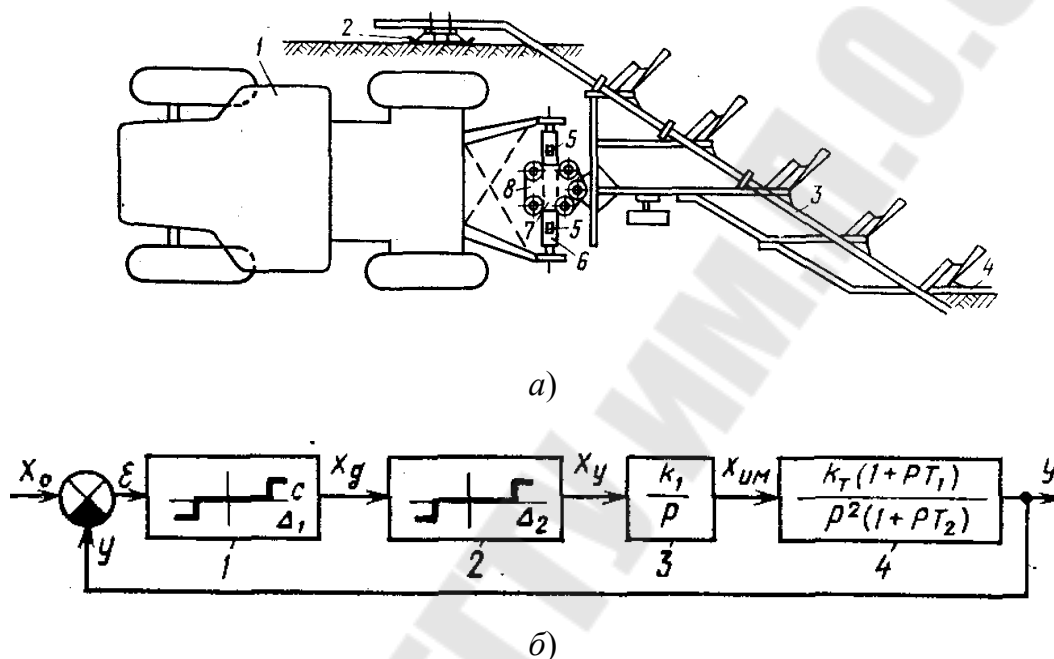


Рис. 21.1. Система автовождения агрегата с колесным трактором вдоль борозды:
а – общий вид; б – структурная схема

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 рисунке 21.1, б, где приняты следующие обозначения: 1 – чувствительный элемент, 2 – гидрораспределитель, 3 – гидроцилиндр, 4 – трактор.

В Горском СХИ [9] разработана система автоматического вождения, которая имеет 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.

Рассмотренные системы вождения проходят опытную проверку и являются перспективными.

Одно из перспективных направлений автоматизации вождения сельскохозяйственных агрегатов – групповой метод вождения. При групповом методе один тракторист, находящийся на ведущем тракторе – лидере, управляет группой тракторов-роботов. Связь между тракторами может осуществляться с помощью радиоустройств, механическим способом (один трактор-робот), с помощью единой гидравлической системы и с использованием квазистатического электромагнитного поля переменного тока. Работы в этом направлении ведутся в УНИИМЭСХе и других институтах.

В НАТИ, ВИМе проводятся разработки индукционных систем автоматического вождения. Работа таких систем основана на использовании в качестве направляющей квазистатического магнитного поля переменного тока звуковой частоты тока, протекающего по проводам, уложенным в почве на глубине $\approx 0,7$ м и на расстоянии друг от друга 1,8 м.

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. 3.8 показана схема электронно-гидравлической автоматической системы вождения самоходного зерноуборочного комбайна СК-5 «Нива» при прямом комбайнировании и скашивании хлебов в валки. Электрический сигнал от пьезочувствительного элемента 8 (рис. 21.2, а) положения бровки нескошенного 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.

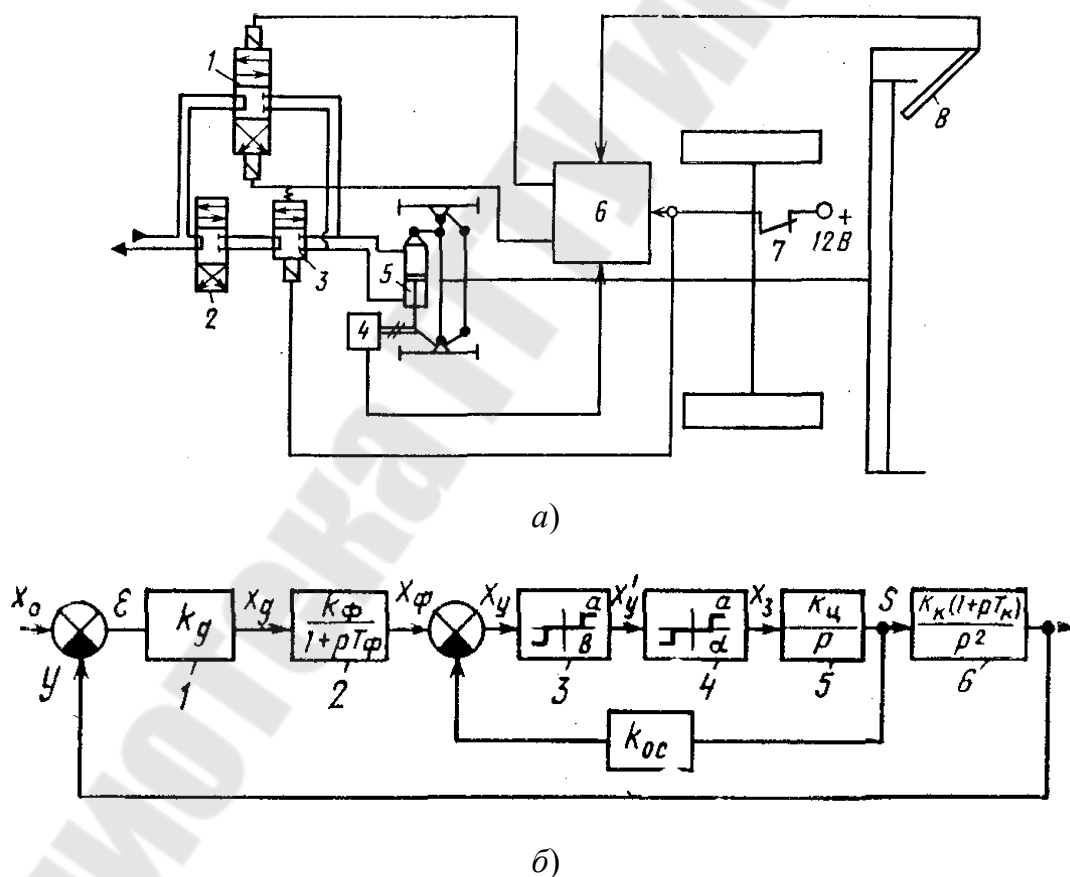


Рис. 21.2. Схемы системы автовождения комбайна СК-5 «Нива»:
а – функциональная; б – структурная

Автоматическая система вождения работает по принципу сведения к нулю ошибки вождения, которая измеряется чувствительным элементом 4 бровки несокошенного 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 рисунке 21.2, б, где приняты следующие обозначения: 1 – чувствительный элемент бровки несокошенного 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 несокошенного хлеба, y – координата левой крайней точки режущего аппарата жатки, ε – ошибка вождения.

Системы автоматического вождения 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.

Автоматические системы вождения самоходных сельскохозяйственных машин позволяют повысить производительность труда на гоне, улучшить качество проведения технологических операций и облегчить труд механизатора.

Созданные в настоящее время системы автоматического вождения построены в основном на методе ориентации с использованием естественных ориентиров поля. Встречаются системы с использованием метода копирования.

На рис. 21.3 приведена принципиальная схема системы автоматического вождения самоходного свеклоуборочного комбайна КС-6 [4]. 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.

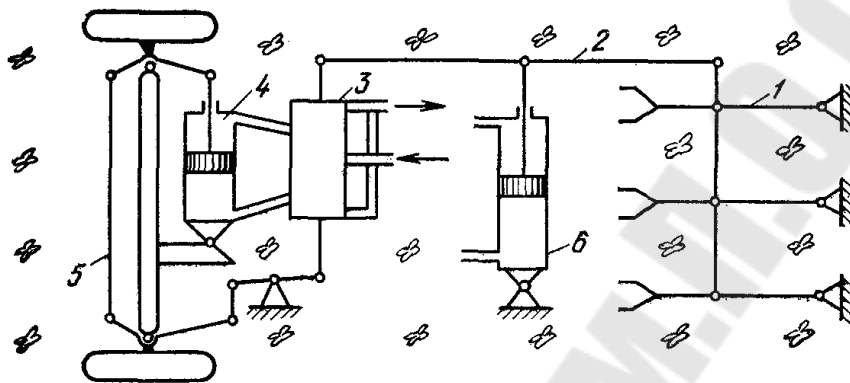


Рис. 21.3. Упрощенная принципиальная схема системы автоматического вождения свеклоуборочных комбайнов КС-6:
 1 – копир; 2 – рычаг; 3 – гидрораспределитель; 4 – гидроцилиндр;
 5 – рулевая трапеция; 6 – гидроцилиндр ручной коррекции

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 автоматической системы вождения машин КС-6 и КС-6Б показана на рис. 21.4, где 1 – копиры, 2 – гидрораспределитель, 3 – гидроцилиндр, 4 – корнеуборочная машина, 5 – обратная связь.

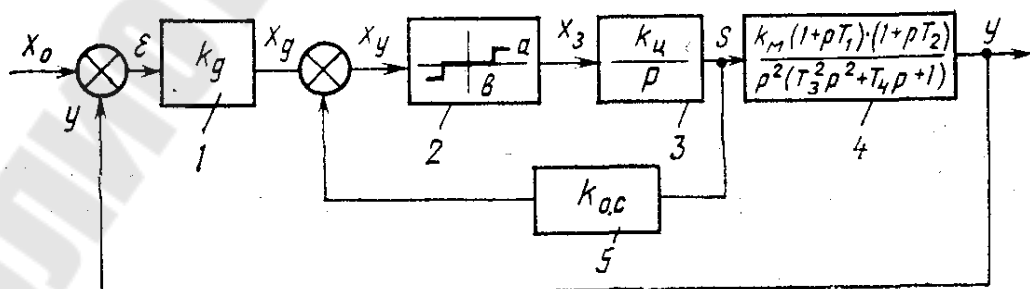


Рис. 21.4. Структурная схема автомата вождения корнеуборочной машины КС-6

На рис. 21.5 показана принципиальная схема электрогидравлического автомата вождения самоходного свеклоуборочного комбайна. Принцип его работы аналогичен рассмотренной ранее гидромеханической системе автовождения.

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.

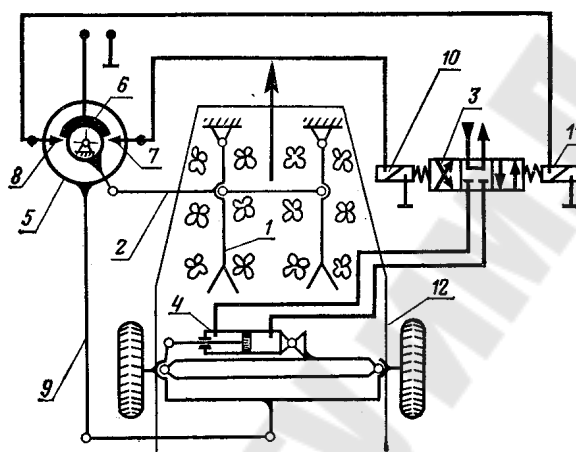


Рис. 21.5. Схема электрогидравлического автомата вождения самоходного свеклоуборочного комбайна:

- 1 – копирующий щуп; 2 – рычажная связь; 3 – гидрозолотник;
- 4 – гидрочиллиндр; 5 – контактная головка; 6 – контактный сектор;
- 7, 8 – контакты, закрепленные на контактной головке; 9 – механизм обратной связи; 11 – электромагниты; 12 – рама машины

Дальнейшим этапом совершенствования систем автовождения 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 ($0,15-0,3^\circ$). В системе используются индуктивно трансформаторные датчики угла поворота копира и управляемых колес.

Системы автоматического направления движения рабочих органов сельскохозяйственных орудий при междурядной обработке

При проведении междурядной обработки растений к качеству проведения операций по рыхлению междурядий и их подкормке

предъявляются жесткие агротехнические требования [7]. Величина защитной зоны в зависимости от стадии развития всходов должна быть в пределах 5...8, 10...12 или 14...15 см при допустимых отклонениях от заданного значения соответственно 2, 3 и 4 см. Число поврежденных растений не должно превышать 4 %. Опыт работы показывает, что без применения автоматических устройств такие агротехнические требования могут быть выдержаны при скоростях движения культиватора 6...7 км/ч. При скорости 12 км/ч работа неавтоматизированным культиватором приводит к появлению 40 % поврежденных и присыпанных растений.

На рис. 21.6 приведена принципиальная схема автоматической системы направления движения рабочих органов культиватора по рядкам для серийно выпускаемых навесных культиваторов типа КРН.

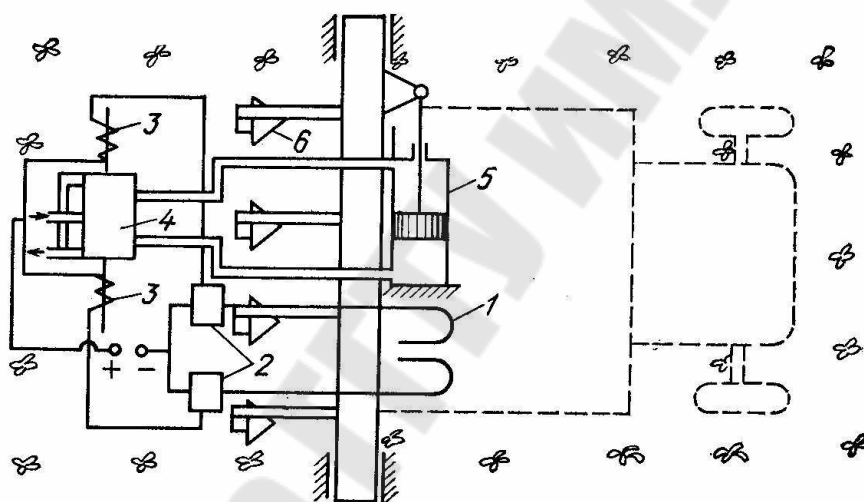


Рис. 21.6. Принципиальная схема автоматической системы направления движения рабочих органов культиватора по рядкам:
 1 – преобразователи-щупы; 2 – усилители; 3 – электромеханический преобразователь; 4 – гидроусилитель; 5 – гидроцилиндр; 6 – культиватор

Воспринимающими элементами таких систем являются электроконтактные щупы 1, принцип действия которых основан на электропроводности растений. Электроконтактные щупы представляют собой проволочные электроды с низковольтным источником питания, которые при соприкосновении с растениями образуют электрическую цепь через растения, землю и рабочую машину. Сопротивление этой цепи составляет 15...25 мОм, поэтому для усиления сигнала от преобразователей, который составляет доли микроампер, установлены двухкаскадные полупроводниковые усилители 2. Сигнал от усилите-

лей поступает на один из соленоидных клапанов 3, который воздействует на золотниковый гидроусилитель 4. Сигнал от гидроусилителя поступает к гидроцилиндру 5, который изменяет положение культиватора 6.

Электроконтактные щупы следует применять при первых культивациях, когда стебли растений еще слабые. При обработке зрелых растений применяются механические щупы с электромеханическими преобразователями.

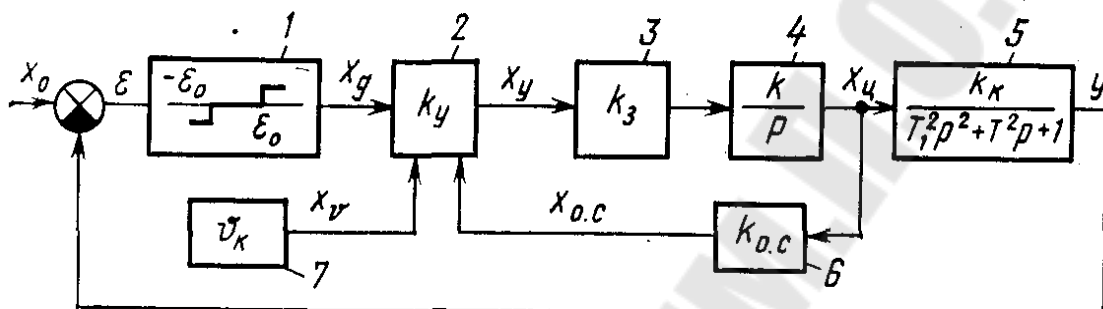


Рис. 21.7. Структурная схема электрогидравлической системы управления культиватором

Структурная схема системы приведена на рис. 21.7, где приняты следующие обозначения: 1 – измерительное устройство отклонения растений в рядке, 2 – усилитель, 3 – гидрозолотник, 4 – гидроцилиндр, 5 – культиватор, 6 – обратная связь, 7 – измерительное устройство скорости движения.

Тема 22

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Рассмотрим вопрос послеуборочной обработки и хранения сельскохозяйственной продукции на примере зерновых культур. Технология обработки семенного и продовольственного зерна складывается из целого ряда операций: предварительная очистка, вентилирование, временное хранение, сушка, очистка, сортирование и т. д.

При поточной технологии все перечисленные операции выполняются последовательно за один проход зерна на специальных комплектных поточных линиях типа КЗС – для обработки продовольственного и фуражного зерна зерновых, зернобобовых и крупяных культур.

Технологическая схема зерноочистительно-сушильного комплекса КЗС выглядит так. Подлежащее обработке зерно из кузова автомобиля сыпается в завальную яму, из которой двухпоточная нория перегружает его в бункер резерва или в машину предварительной очистки. Отсепарированные грубые примеси и солома транспортируются в бункер отходов, а зерно, если оно влажное, перегружается норией в шахтную сушилку СЗШ. В зависимости от качества зерна две шахты сушилки работают параллельно или при повышенной влажности последовательно. Из шахты сушилки зерно подается в охлаждающую колонку, затем в компенсирующую емкость, а оттуда загрузочной норией в две параллельно работающие машины первичной очистки, отделяющие мелкие примеси, затем транспортером в триерные блоки, отделяющие короткие и длинные примеси, и, наконец, в бункер чистого зерна.

Автоматизация управления процессом сушки зерна

В поточных линиях послеуборочной обработки зерна используют в основном шахтные сушилки, отличающиеся лучшей управляемостью, чем барабанные.

Шахтная зерносушилка СЗШ-16 состоит из двух параллельно расположенных шахт, двух охлаждающих камер, вентиляторов и воздухопроводов. Загрузка сырого зерна и перегрузка пересушенного в охлаждающие камеры обеспечиваются работой четырех норий.

Шахта сушилки состоит из двух секций, поставленных одна на другую. Внутри шахты расположено 14 рядов, по 8 коробов в каждом ряду. К наружным стенкам шахт присоединяют всасывающие воздухопроводы вентиляторов, подача сушильного агента производится в диффузор, образованный пространством между шахтами. Над каждой шахтой установлен надсушильный бункер, излишек зерна из которого сыпается в бункер нории для сырого зерна.

Зерно из шахт выпускают при помощи непрерывно действующего устройства через 8 лотков.

Охлаждающая камера состоит из двух вертикальных цилиндров с перфорированными стенками и конусным дном, шлюзового затвора и вентилятора. Эффект охлаждения создается за счет прососа наружного воздуха через стенку наружного цилиндра, слой зерна во внутренний цилиндр и оттуда – в атмосферу.

Сушилки вообще и шахтная зерносушилка в частности отличаются большим количеством входных и выходных параметров и сложностью связей между ними (рис. 22.1).

Основные выходные параметры процесса – влажность w_k и температура t_k на выходе из сушилки, а также некоторый показатель \mathcal{E} , характеризующий работу зерносушилки (производительность, стоимость обработки или другой технико-экономический критерий). При этом текущее значение t_k не должно быть более t_{\max} во избежание ухудшения качества продукта (снижение всхожести и т. д.). К числу выходных параметров агрегата, непосредственно влияющих на основные регулируемые параметры w_k и t_k , относят также и температуру сушильного агента T_a .

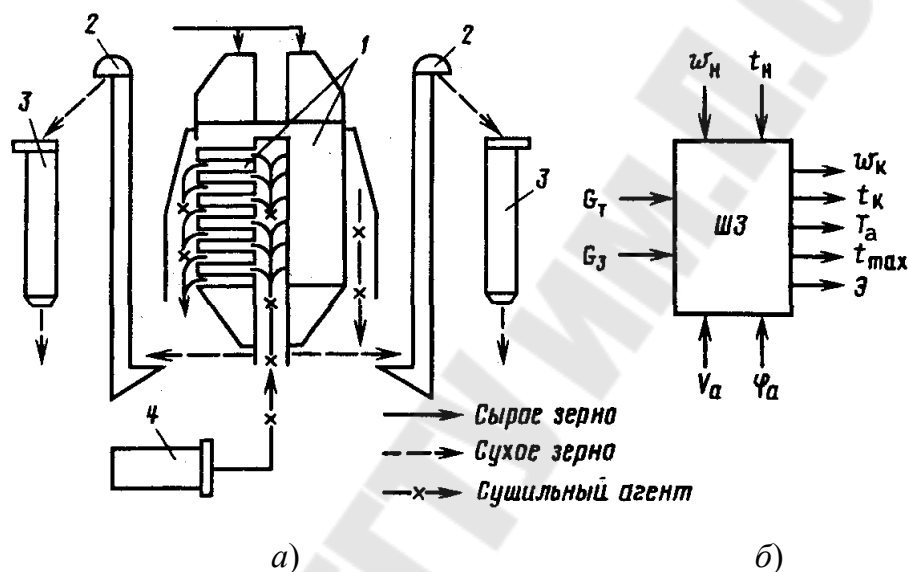


Рис. 22.1. Функциональная (а) и параметрическая (б) схемы шахтной зерносушилки:

1 – шахты сушилки; 2 – нории; 3 – охладительные колонки;
4 – теплогенератор; w_k и t_k – влажность и температура зерна на выходе;
 t_{\max} – максимально допустимая температура зерна

V_a , T_a и ϕ_a – расход, температура и влажность сушильного агента; G_T , G_3 – подача топлива и зерна; t_H и w_H – температура и влажность зерна на входе; \mathcal{E} – критерий эффективности процесса

В качестве регулирующих воздействий используют изменение подачи топлива G_T и зерна G_3 . Остальные входные параметры, в том числе начальные влажность и температура зерна w_H и t_H , расход сушильного агента V_a и его влажность ϕ_a , относятся к группе возмущающих воздействий.

Шахтная зерносушилка как объект автоматизации характеризуется сложной системой взаимных связей между входными регулирующими и возмущающими воздействиями и регулируемыми параметрами

Управление сушилкой должно быть оптимальным с точки зрения выбранного показателя эффективности Э.

Автоматическое регулирование температуры сушильного агента T осуществляют изменением подачи топлива в форсунку топочного блока (рис. 22.2, а) или изменением количества наружного воздуха, подсасываемого вентилятором.

Чувствительный элемент регулятора может быть установлен прямо после топочного блока, тогда регулирование температуры сушильного агента по зонам сушки осуществляют изменением подсоса наружного воздуха.

Задание регулятору полезно корректировать в зависимости от влажности исходного зерна w_n . Это можно делать автоматически или, в крайнем случае, вручную, но не чаще, чем измеряют влажность поступающего зерна (примерно 1 раз в 1,5 ч).

Автоматическое регулирование максимально допустимой температуры нагрева зерна t осуществляют путем поддержания температуры сушильного агента в последней зоне сушки, точнее, в предпоследнем ряду коробов сушильной камеры за счет изменения количества наружного воздуха, подсасываемого вентилятором (рис. 22.2, б).

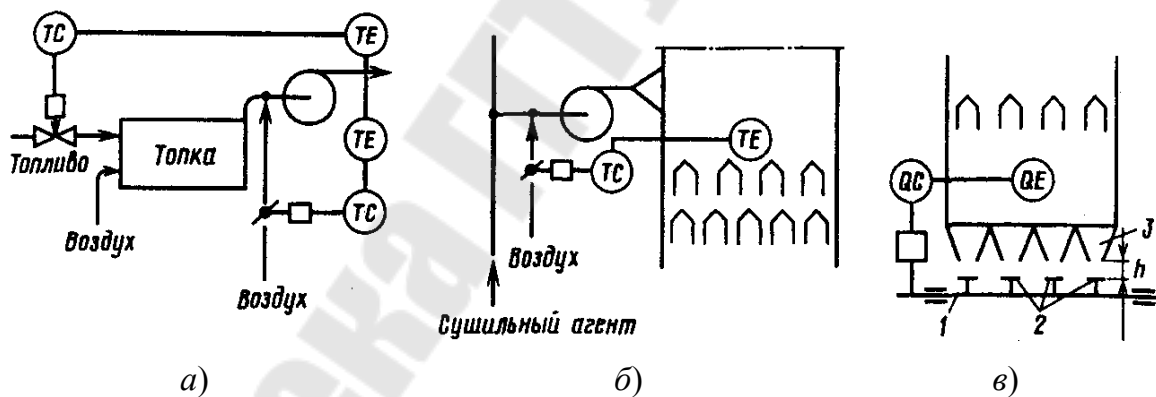


Рис. 22.2. Структурная схема систем регулирования температуры сушильного агента (а), максимальной температуры нагрева зерна (б) и конечной влажности зерна (в):
1 – каретка; 2 – полки; 3 – выходные лотки

Автоматическое регулирование влажности зерна w_k осуществляют изменением производительности сушилки G_k за счет изменения положения выпускного механизма (рис. 22.2, в). Передаточная функция объекта по каналу $G_k \rightarrow w_k$ характеризуется большой инерционностью (постоянная времени 1500...1800 с, запаздывание 600...1320 с), поэтому в условиях активно действующих возмущающих воздействий следует

принять ПИ-закон регулирования. Хороший эффект следует ожидать от выполнения системы адаптации (самонастройки) регулятора к изменяющимся условиям, вызванным переменными факторами работы, главным образом начальной влажностью зерна.

В принципе возможно использование в качестве регулирующего воздействия изменения расхода сушильного агента V_a , но при этом будет изменяться также и производительность сушилки.

Обычные требования к регулирующим органам (достаточный диапазон изменения регулирующего воздействия и линейность характеристики) в данном случае обеспечить не просто. Наилучшие возможности в этом плане имеет выпускной механизм сушилки СЗШ-16А, расположенный в нижней части шахты. Он представляет собой каретку 1 (рис. 22.3, в) с закрепленными на ней полками 2, перекрывающими сечение выходных лотков 3 шахты.

Производительность сушилки регулируют, изменяя зазор h между полками и выходными лотками. Следует сказать, что описанный способ регулирования производительности сушилки предполагает такое положение, когда подача зерна в ее приемный бункер превышает его расход, в результате чего часть зерна возвращается самотеком в исходный бункер. Многократное перемещение зерна транспортирующими механизмами приводит к их нерациональной загрузке и, главное, травмирует зерно. Выход состоит в организации системы автоматической стабилизации уровня зерна в приемном бункере с помощью двухпозиционного регулятора, управляющего норией загрузки. Контроль уровня осуществляют установкой на приемном бункере двух датчиков уровня мембранного типа.

Контроль конечной влажности зерна может быть осуществлен с помощью диэлькометрического или кондуктометрического влагомера. В обоих случаях необходима коррекция показаний прибора в зависимости от температуры зерна. Комбинированный преобразователь, измеряющий оба параметра, устанавливают в потоке зерна ниже зоны нагрева. Измеритель влажности включают в мостовую схему, питаемую переменным напряжением частотой более 1 МГц. Сигнал разбаланса мостовой схемы корректируется в зависимости от температуры зерна, усиливается и может быть использован для изменения производительности выпускного аппарата сушилки. Результаты измерения влажности зерна на входе в сушилку могут быть использованы в системе комбинированного регулирования для коррекции управляющего воздействия.

Автоматизация управления процессом очистки и сортировки зерновой массы

Очистку и сортировку зерновой массы в потоке осуществляют в процессе предварительного и окончательного сепарирования на воздушно-решетной машине (рис. 22.3, а).

Зерновая масса из приемного бункера питателем подается в воздушный канал 1-й аспирации, где воздушным потоком отделяются и выводятся из машины легкие примеси. Затем зерновая масса поступает на решетный сепаратор из четырех колеблющихся решет, расположенных попарно одно над другим и под некоторым углом к горизонту. Верхние решета (сортировальные) – проходные, т. е. зерно основной культуры через них просеивается, а крупные примеси скапываются (идут сходом) и удаляются из машины. Нижние решета (подсевные) выделяют из потока мелкие примеси, также удаляемые из машины, а зерно основной культуры идет сходом, проходит через воздушный канал 2-й аспирации, освобождается от оставшихся мелких примесей и очищенное покидает машину.

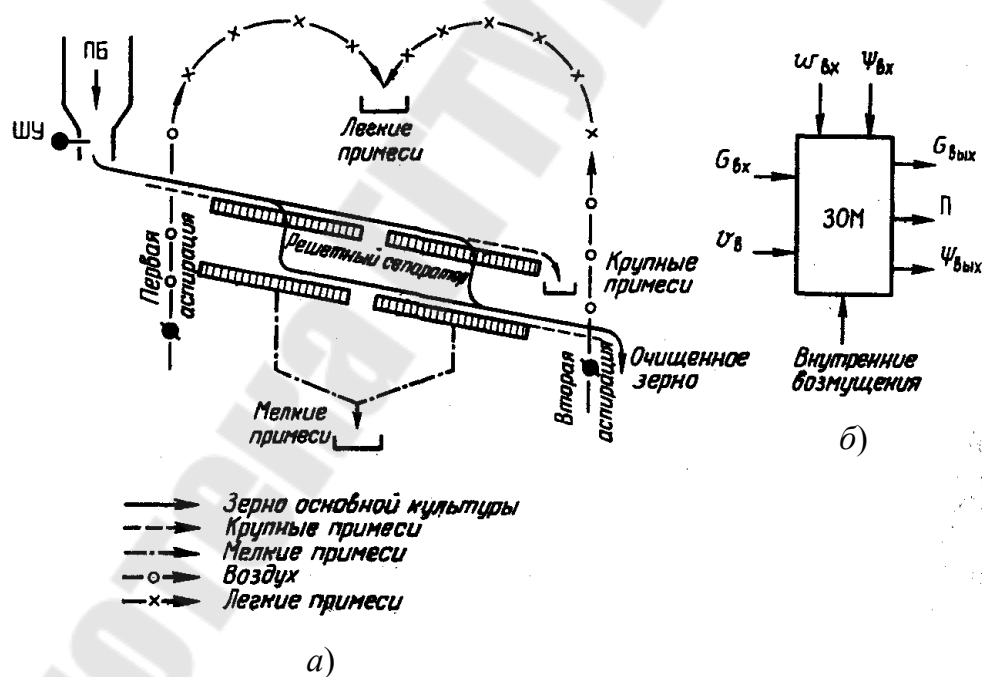


Рис. 22.3. Функциональная (а) и параметрическая (б) схемы воздушно-решетной зерноочистительной машины (ЗОМ): ПБ – приемный бункер; ШУ – шиберное устройство; $G_{вх}$ и $G_{вых}$ – масса зерна на входе и выходе; $\psi_{вх}$ и $\psi_{вых}$ – чистота зерна на входе и выходе; Π – потери зерна; $w_{вх}$ – влажность зерна; $v_{в}$ – скорость движения воздуха

Работа зерноочистительной воздушно-решетной машины характеризуется производительностью $G_{\text{вх}}$, чистотой $\psi_{\text{вых}}$ и содержанием Π полноценного зерна в отходах (рис. 22.3, б). Основные регулирующие воздействия: изменение подачи зерна $G_{\text{вх}}$ и скорости движения воздуха $v_{\text{в}}$ в аспирационных каналах.

В числе многочисленных возмущающих воздействий следует упомянуть влажность $w_{\text{вх}}$ и чистоту $\psi_{\text{вх}}$ поступающей зерновой массы.

Опыт эксплуатации свидетельствует, что регулирующее воздействие $G_{\text{вх}}$ оказывает влияние на решетный и воздушный сепараторы, а регулирующее воздействие $v_{\text{в}}$ – только на воздушный сепаратор. Поэтому на практике используют первое из воздействий, что снижает производительность машины.

В общем случае целевая функция системы оптимального управления воздушно-решетной машиной достаточно сложна и соответствует максимуму $G_{\text{вых}}$ в зависимости от текущих значений $G_{\text{вх}}$, $\psi_{\text{вх}}$, $\psi_{\text{вых}}$, $w_{\text{вх}}$, Π и t . При этом величина потерь Π не должна быть более допустимой. Указанная целевая функция может быть существенно упрощена, если учесть требования к качеству работы машин в соответствии с их назначением. Так, для машин предварительной очистки определяющий фактор – уменьшение потерь зерна в отходы Π ; для машин первичной очистки продовольственного зерна и особенно для машин вторичной очистки семенного зерна – улучшение качественных показателей конечного продукта $\psi_{\text{вых}}$.

Контроль потерь зерна может быть осуществлен с помощью индикатора, выполненного в виде пьезокристаллического элемента, наклеенного на текстолитовую мембрану. При ударе зерна о мембрану пьезоэлемент вырабатывает быстрозатухающий электрический сигнал. Его амплитуда и длительность зависят от силы удара, что позволяет ему не реагировать на удары легких фракций (половы, соломы). Индикатор имеет выходы на стрелочный прибор и светозвуковую сигнализацию. Его преобразователи устанавливают в местах выхода крупных и легких отходов.

Загрузка воздушно-решетной машины вторичной очистки может быть стабилизирована работой САР, воздействующей на шиберное устройство промежуточного бункера зерна. Загрузку машины измеряют расходомером зерна РЗ (рис. 22.4), лоток которого перемещает плунжер дифтрансформаторного измерительного преобразователя ДР.

Принцип действия системы регулирования чистоты зерна состоит в следующем. Обрабатываемое зерно поступает в зерноочисти-

тельную машину ЗОМ из промежуточного бункера ПБ через шибер ШУ и расходомер регулятора загрузки РЗ. Регулятор стабилизирует загрузку машины на уровне, установленном задатчиком ЗД. Периодически, через заданные промежутки времени, программным устройством включается анализатор чистоты зерна. Его пробоотборник ПО отбирает из потока зерна на выходе из машины пробу и помещает ее в весоизмерительное устройство ВУ. По достижении заданной массы пробы в работу включается сепаратор СП. Чистое зерно взвешивается ВУ, и результат сравнивается с заданным значением, соответствующим кондиционному зерну. Если масса пробы ниже (выше) заданной, то загрузка машины уменьшается (увеличивается) путем соответствующей коррекции задания регулятору загрузки. Описанный алгоритм коррекции периодически повторяется по команде программного устройства ПУ.

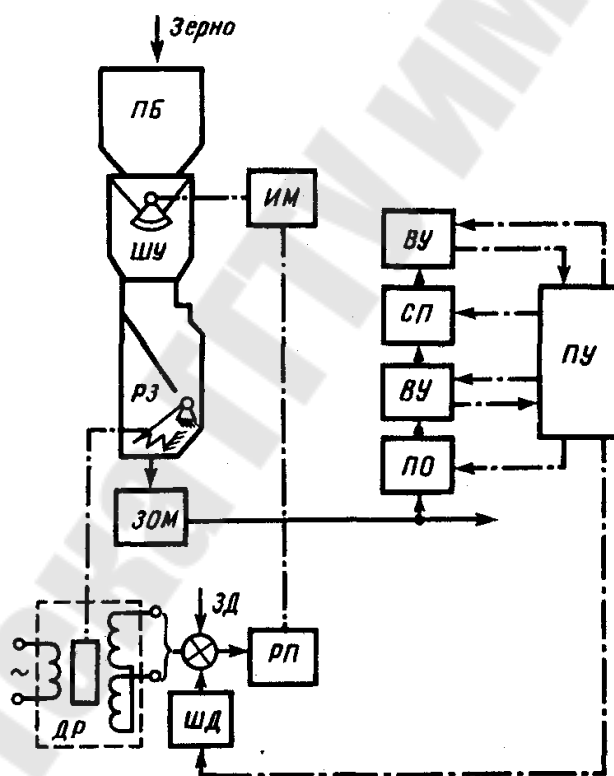


Рис. 22.4. Функциональная схема регулирования загрузки и чистоты продукта зерноочистительной машины (ЗОМ):

ПБ – промежуточный бункер; ШУ – шиберное устройство; РЗ – расходомер зерна; РП – регулирующий прибор; ИМ – исполнительный механизм; ДР – датчик расходомера; ПО – пробоотборник; ВУ – весоизмерительное устройство; СП – сепаратор; ПУ – программное устройство; ШД – шаговый двигатель; ЗД – задатчик

Автоматизация хранения сельскохозяйственной продукции

Технология хранения сельскохозяйственной продукции включает в себя процессы подогрева, охлаждения и увлажнения для предохранения продукции от переохлаждения, самосогревания и обезвоживания.

Жизнедеятельность зерна при хранении проявляется в его дыхании, следствия которого – потери сухих веществ и повышение влажности зерна и межзернового пространства, увеличение температуры зерновой массы (самосогревание). Исходя из этого интенсивность дыхания при хранении зерновой массы следует свести к минимуму, но без ухудшения качества продукта.

Интенсивность дыхания резко увеличивается с повышением влажности зерна, поэтому на хранение надо закладывать зерно с влажностью ниже критической (ниже 14...15,5 %). Оптимальный температурный диапазон хранения для семенного зерна 0...10 °С.

Целевая функция управления процессом хранения – минимизация потерь массы зерна

$$\Pi = f(t_3, w_3, B_3, t) \rightarrow \min$$

при соответствующих ограничениях по качественным показателям продукта (температура t_3 не выше, а всхожесть B_3 не ниже заданной).

Алгоритм оптимального управления процессом хранения семян в соответствии с целевой функцией предусматривает контроль температуры t_3 , влажности зерна w_3 , его всхожести B_3 и чистоты t .

Температуру зерна в хранилищах закрючного типа контролируют вручную при помощи термометров и термоштанг, погружаемых в различные места закрома. Остальные параметры также контролируют периодически с отбором проб и их анализом в лаборатории.

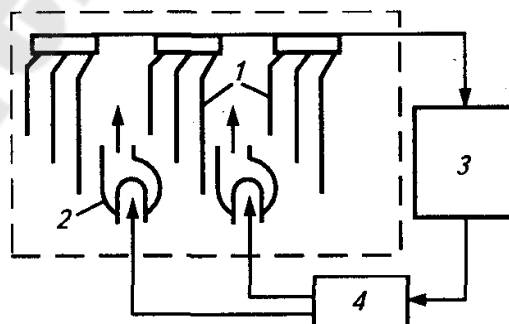


Рис. 22.5. Микропроцессорная система управления режимом хранения зерна:

- 1 – термоподвеска; 2 – вентилятор; 3 – вычислительное устройство;
4 – пульт управления

В современном варианте информация поступает от датчиков, установленных в разных точках насыпи и на разной глубине (рис. 23.5), анализируется микропроцессорным устройством, которое при выявлении очага самосогревания зерна включает ближайший вентилятор, убедившись предварительно, что температура наружного воздуха достаточно низка.

Тема 23

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

Автоматизация технологических процессов ремонта сельскохозяйственной техники охватывает широкий круг разнообразных вопросов. В данной лекции будут представлены только отдельные примеры автоматизации некоторых технологических процессов и применения средств автоматики в ремонтном производстве.

Важной завершающей операцией при изготовлении и капитальном ремонте двигателей является обкатка и последующие испытания, которые оказывают существенное влияние на их качество и долговечность.

На моторостроительных и мотороремонтных предприятиях двигатели внутреннего сгорания обкатывают на специальных стендах. Для прокручивания холодного двигателя в стендах применяют электрические или другие двигатели внутреннего сгорания, а для создания тормозного момента при работе двигателя – нагружающие устройства.

В практике моторостроения применяют четыре вида режимов обкатки двигателей внутреннего сгорания: холодную, горячую холостую, комбинированные – двойную (холодную и горячую холостую) и тройную (холодную, горячую холостую и горячую под нагрузкой).

В разрабатываемых ранее устройствах автоматизации обкатки преимущественно использовался принцип программирования процесса обкатки во времени и значительно реже – в зависимости от качества приработки трущихся поверхностей деталей.

При автоматизации процесса обкатки ДВС наибольший экономический эффект может быть получен от внедрения устройств управления обкаткой в зависимости от качества приработки трущихся поверхностей деталей.

Для обкатки ДВС в зависимости от их технического состояния по мощности механических потерь в научно-исследовательской лаборатории автоматизации сельскохозяйственных процессов Белорусско-

го государственного аграрного технического университета (БГАТУ) был разработан автоматизированный обкаточно-испытательный стенд (рис. 23.1).

Нагрузочное устройство 1 при холодной обкатке работает в двигательном режиме, а при горячей обкатке – под нагрузкой в тормозном режиме. Режим работы нагрузочного устройства 1 зависит от положения исполнительного механизма 6 нагрузочного устройства, на который поступает сигнал через переключатель 11 с выхода первого вычитающего элемента 7 при холодной обкатке (частота вращения) или с выхода второго вычитающего элемента 8 при горячей обкатке под нагрузкой (нагрузочный момент).

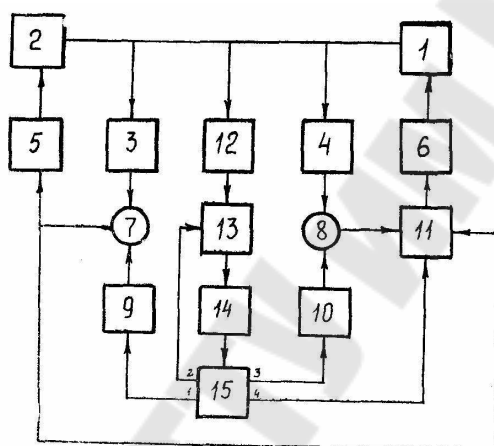


Рис. 23.1. Структурная схема автоматизированного обкаточно-испытательного стенда:

1 – нагрузочное устройство; 2 – обкатываемый двигатель; 3, 4 – датчики частоты вращения и нагрузочного момента; 5, 6 – исполнительные механизмы частоты вращения и нагрузочного момента; 7, 8 – первый и второй вычитающие элементы; 9, 10 – задатчики частоты вращения и нагрузочного момента; 11 – переключатель; 12 – датчик момента сопротивления прокручиванию; 13 – устройство опроса; 14 – блок назначения длительности приработки; 15 – блок управления

При холодной обкатке режим работы (частота вращения) устанавливается задатчиком частоты вращения 9 по сигналу с первого выхода блока управления. На первом вычитающем элементе 7 сравнивается сигнал задатчика 9 частоты вращения и датчика 3 частоты вращения. На выходе первого вычитающего элемента 7 появляется сигнал, равный разности сигналов на входе, и подается через переключатель 11 на исполнительный механизм 6 нагрузочного устройства, а исполнительный механизм 6, перемещаясь пропорционально сигналу на входе, вызовет

увеличение или уменьшение частоты вращения нагрузочного устройства и соответственно обкатываемого двигателя.

При горячей обкатке под нагрузкой нагрузочным устройством 1 регулируется нагрузочный момент на валу обкатываемого двигателя, а частота вращения изменяется перемещением штока исполнительного механизма 5 частоты вращения и соответственно рычага топливо-дозировочного органа двигателя 2.

В установившемся режиме по частоте вращения при горячей обкатке сигнал на выходе датчика 3 частоты вращения равен сигналу от задатчика 9 частоты вращения. Если частота вращения двигателя 2 превышает установленное значение, то сигнал (напряжение) на выходе первого вычитающего элемента вызывает перемещение штока исполнительного механизма 5 и рычага топливо-дозировочного органа двигателя 2 на уменьшение частоты вращения. Если частота вращения становится меньше установленного значения, то все процессы происходят в обратном направлении. Аналогично работает контур автоматического управления нагрузочным моментом.

На втором вычитающем элементе 8 сравнивается сигнал задатчика 10 нагрузочного момента и датчика 4 нагрузочного момента. Сигнал (напряжение) на выходе, равный разности сигналов на входе, через переключатель 11 поступает на исполнительный механизм 6, посредством которого происходит изменение нагрузочного момента. Частота вращения и нагрузочный момент устанавливаются задатчиками 9 частоты вращения и 10 нагрузочного момента. Изменение величины задания параметров соответственно режиму приработки происходит по команде с выходов 1, 3 блока управления. Имеется возможность проводить обкатку двигателей как на установившихся, так и на неустановившихся режимах.

Длительность приработки двигателей в точках измерения определяется на основании исследований, которыми устанавливается связь необходимой длительности приработки по результатам измерения механических потерь. По команде блока 15 управления стенд переводится в режим прокручивания, в устройстве 13 опроса анализируется и запоминается сигнал датчика 12 момента сопротивления прокручиванию и в зависимости от величины момента сопротивления прокручиванию блоком 14, назначения длительности приработки задается длительность приработки двигателя до следующей точки измерения.

В результате производительность обкатки возрастает в среднем на 25 %.

Тема 24

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ

Качественное проведение стендовой обкатки и испытаний двигателей внутреннего сгорания (ДВС) невозможно без измерения расхода топлива, крутящего момента на валу ДВС и развиваемой им эффективной мощности. Повышение требований к эксплуатационным параметрам отремонтированной сельскохозяйственной техники в свою очередь требует совершенствования измерительной аппаратуры.

Рассмотрим систему автоматического измерения расхода топлива. Наибольшее распространение на ремонтных предприятиях получили сигнально-весовые приборы на базе механических весовых устройств, представляющие собой рычажные либо циферблатные весы, в большей или меньшей степени оборудованные средствами автоматизации управления процессом измерения и определения результата.

Наилучшими эксплуатационными характеристиками среди устройств этого типа обладает измеритель массового расхода топлива при стендовых испытаниях двигателей внутреннего сгорания МИРТ-1С, разработанный в БГАТУ. Упрощенная структурная схема, поясняющая его работу, представлена на рис. 25.1.

В приборе использованы циферблатные весы 1 типа ВНЦ-2 с двухсотграммовой шкалой и ценой деления 2 г. На шкале укреплены датчики 2, 3, 4. Каждый из них представляет собой пару из фотодиода типа ФД-3 и лампочки типа СМН, помещенных в общий корпус. Световой поток, создаваемый лампочкой, помещенной в вертикальное отверстие 2, через коллиматоры 3 падает на чувствительную поверхность фотодиода, помещенного в отверстии 1. Стрелка весов, проходя через проем в корпусе датчика, перекрывает отверстия 3, освещенность фотодатчика падает и, таким образом, вырабатывается сигнал, который далее усиливается и формируется усилительно-компараторным блоком.

Положение лампочки для получения максимума освещенности фотодиода регулируется винтом, ввинчивающимся в отверстие 2 снизу. При помощи винта, входящего в отверстие 4, производится крепление корпуса датчика к плоскости шкалы весов. Несоосность отверстий 3 и 4 позволяет производить настройку положения датчиков при тарировке прибора.

При включении прибора специальный блок 15 вырабатывает импульс, который, проходя через ячейку «ИЛИ» 8, устанавливает триггеры 12 и 13 в нулевое состояние.

При этом на блок управления 14 электромагнитным клапаном 7 с инверсного выхода триггера управления наполнением 12 подается высокий уровень, вызывающий открывание клапана, и топливо из бака поступает одновременно в двигатель 6 и емкость 5.

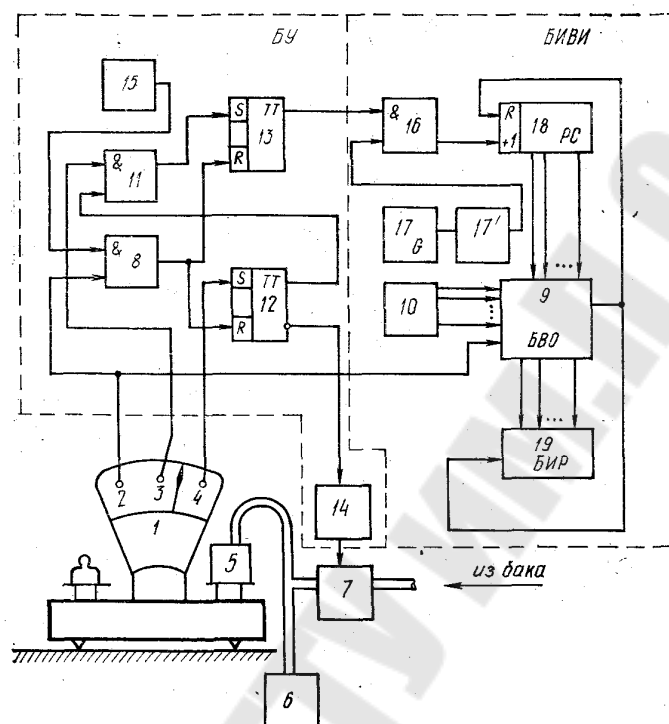


Рис. 24.1. Упрощенная структурная схема расходомера МИРТ-1С:

- 1 – весы; 2, 3, 4 – датчики; 5 – емкость; 6 – двигатель; 7 – клапан;
 8, 11, 16 – схемы совпадения; 9 – блок вычисления отношений;
 10 – блок ввода делимого; 12, 13 – триггеры; 14 – блок управления
 клапаном; 15 – блок импульса запуска; 17 – генератор; 17' – делитель;
 18 – счетчик; 19 – блок индикации

По мере наполнения емкости 5 стрелка весов перемещается в сторону увеличения веса и в зависимости от ее начального положения может последовательно пройти датчики 2, 3 и 4, которые при этом вырабатывают импульсы. Срабатывание датчиков 2 и 3 не изменяет состояния триггеров 12 и 13, так как сигнал датчика 2 только подтверждает состояние, в котором они находятся, а сигнал датчика 3 не пройдет через схему совпадения 11, на второй вход которой подан низкий уровень с прямого выхода 12.

При прохождении стрелкой датчика 4 его импульс переводит триггер 12 в единичное состояние, электромагнитный клапан 7 закрывается и топливо в двигатель поступает только из емкости 5. Стрелка весов после этого перемещается в сторону уменьшения веса.

Датчик 4 необходим для того, чтобы измерение происходило при установившемся движении стрелки и процессе в топливопроводах после переключения клапана. При изменении состояния триггера 12 на входе ячейки совпадения 11, связанном с его прямым выходом, появляется разрешающий сигнал и теперь при прохождении стрелкой датчика 3 его импульс подается на вход триггера управления измерением 13 и устанавливает его в единичное состояние. При этом на счетный вход счетчика 18 начинается подача импульсов с генератора 17 через делитель частоты 17' и ячейку совпадения 16.

При прохождении стрелкой датчика 2 его импульс переводит триггер 13 в состояние нуля, подача импульсов на счетчик 18 прекращается. Таким образом, в счетчике 18 окажется записанным количество импульсов, пропорциональное времени расхода топлива, вес которого равен разности значений веса топлива, имевшегося в емкости в моменты срабатывания датчиков 3 и 2 при прохождении стрелки. Одновременно сигнал датчика 2 разрешает блоку вычисления отношения 9 производить операции ввода делимого, набранного предварительно на программном переключателе 10, и вычисления.

По окончании вычисления сигнал с выхода блока 9 устанавливает счетчик 18 в состояние нуля и производит запись результата в блок оперативной памяти и индикации 19.

Кроме этого сигнал датчика 2 переводит триггер 12 в состояние нуля, электромагнитный клапан 7 открывается и процесс автоматически повторяется с той разницей, что в начале цикла наполнения происходит вычисление результата, как описано выше.

Операция деления, так как она в прямом виде сложна в аппаратной реализации, заменена в приборе операцией сложения делителя с самим собой до получения числа, равного делимому. Подсчитанное при этом необходимое число сложений равно отношению делимого к делителю, т. е. расходу в единицу времени.

Прибор не содержит дефицитных деталей, относительно прост в изготовлении, наладке и обслуживании, удобен в работе, может быть изготовлен силами службы КИПиА ремпредприятия. Его недостаток присущ всем приборам сигнально-весового типа – ограниченные эксплуатационные возможности механических весовых устройств, применяемых в качестве датчика расхода.

В БГАТУ разработаны датчики расхода топлива на базе электромагнитных весовых устройств, обладающих существенными преимуществами. Отсутствие механически перемещающихся деталей

обеспечивает высокую надежность и долговечность устройств на базе таких датчиков. При этом очень мала абсолютная погрешность измерений, для лабораторных электромагнитных весов она не превышает ± 30 мг в диапазоне до 1 кг.

Контроль концентрации моющих средств в растворах

Известно, что качество очистки находится в прямой зависимости от концентрации моющих средств в растворах. Причины ее изменения в процессе очистки – это добавление воды для компенсации убыли раствора, моющего средства – для восстановления концентрации (изменяющейся вследствие осаждения МС на деталях, реагирования с загрязнениями, солями и т. д., попадания воды из ополаскивающей секции, из-за случайных факторов и пр.). При интенсивной эксплуатации растворов колебание концентрации достигает больших значений даже в течение одной рабочей смены. Поэтому контроль ее имеет особо важное значение.

В современном ремонтном производстве наиболее часто применяются моющие средства типа Лабомид и МС. Из анализа их состава видно, что 90...96,5 % их массы составляют щелочные сильные электролиты. Известно, что электропроводность таких веществ имеет однозначную корреляцию с их концентрацией и температурой. Поэтому при измерении их концентрации наиболее рационален метод определения электропроводности с компенсацией температурной погрешности. Тем более, что процентное содержание нещелочных компонентов примерно сохраняется при общем изменении концентрации МС.

При исследовании зависимости электропроводности растворов СМС от концентрации МС, загрязненности, температуры, частоты и напряженности электрического поля в БГАТУ определен алгоритм и его параметры, обеспечивающие с достаточной степенью точности автоматический контроль концентрации СМС в широком диапазоне температур.

Первый вариант устройства, реализующего этот алгоритм, разработан и изготовлен в БГАТУ и внедрен на ряде мотороремонтных заводах. Его структурная схема представлена на рис. 25.2 [6].

Работает прибор следующим образом. Сигнал с генератора импульсов 1 частотой 2,5 кГц подается на ключевой двухполярный усилитель 2, к выходу которого подключена электролитическая ячейка 3 и последовательно с ней опорное сопротивление $R_{оп}$. При $R_{оп} \ll R_{яч}$ напряжение, снимаемое с опорного сопротивления, пропорционально току в ней, а следовательно, электропроводности электролита.

Применение ключевого усилителя с достаточно мощным выходом обеспечило создание значительной напряженности электрического поля на электродах ячейки и тем самым позволило минимизировать влияние загрязнений на величину тока.

В объеме электролитической ячейки помещен также датчик температуры (термометр сопротивления) 4 стандартного уравновешенного моста типа КВМ-1 с реостатным устройством.

Сопротивление реостатного устройства, изменяющееся прямо пропорционально температуре раствора, включено последовательно с сигналом электропроводности во входную цепь операционного усилителя DA1. Величина напряжения на выходе DA1 (и амплитудного детектора 5) зависит только от концентрации моющего средства.

При помощи переключателя SA1, можно изменять величину токоограничивающих резисторов (R_3-R_7), и таким образом учитывать тип МС.

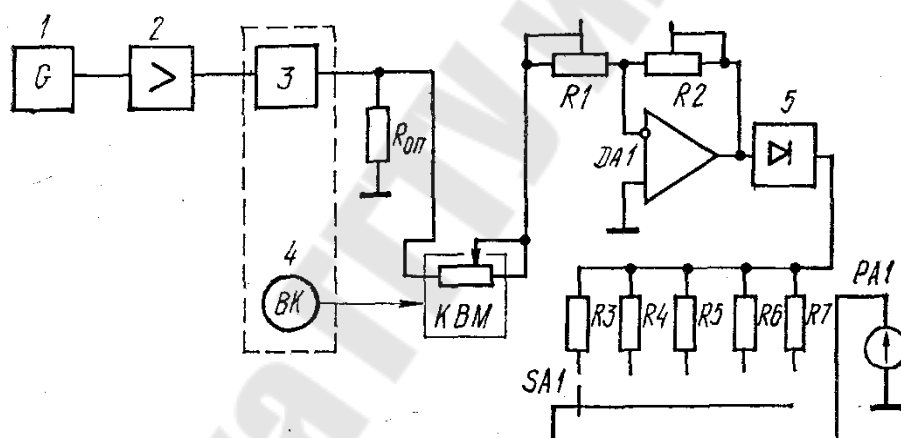


Рис. 24.2. Схема анализатора моющих растворов АМР-1:

- 1 – генератор; 2 – усилитель; 3 – электролитическая ячейка;
4 – датчик температуры; 5 – амплитудный детектор

Прибор позволяет измерять концентрацию указанных СМС в диапазоне до 30 г/л с максимальной абсолютной погрешностью $\pm 0,5$ г/л для чистых и ± 1 г/л для загрязненных растворов (концентрация загрязнений 30 г/л). При этом температурный диапазон работы от $+15$ °С до $+96...98$ °С (до закипания). Кроме того, КВМ-1 используется для индикации и регулирования температуры раствора.

Электролитическая ячейка АМР-1 представляет собой трубчатый датчик погружного типа с вмонтированными в него открытыми электродами и термометром сопротивления. Для предотвращения

возникновения двойной токовой цепи (внутри и вне корпуса датчика) один его конец выводится гибкой трубкой выше уровня моющего раствора.

По такому же алгоритму работает прибор АМР-2. Операция деления в нем выполняется не на операционном усилителе, как у АМР-1, а на аналоговом перемножителе сигналов, работающем в режиме деления. Эти функции выполняет микросхема К525ПС2, в связи с чем появилась возможность отказаться от измерения температуры мостом (КВМ-1) и применить полупроводниковый датчик–кремниевый диод, имеющий высокую линейность зависимости напряжения на его прямом переходе от температуры в диапазоне до 120 °С. Все это уменьшило вес и габариты прибора более чем в пять раз. Исключение КВМ-1 значительно повысило надежность прибора.

Литература

1. Краткий конспект лекций по дисциплине «Автоматизация сельскохозяйственной техники» / Н. И. Бохан [и др.]. – Минск : ротa-принт БГАТУ, 2002. – 164 с.
2. Ксенович, И. П. Теория и проектирование автоматических систем : учеб. для студентов вузов / И. П. Ксенович, В. П. Тарасик. – Москва : Машиностроение, 1996. – 480 с. : ил.
3. Макаров, И. М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал) / И. М. Макаров, Б. М. Менский. – Москва : Машиностроение, 1982. – 504 с. : ил.
4. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – Москва : КолосС, 2004. – 344с. : ил. – (Учеб. и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
5. Автушко, В. П. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин: теория автоматического управления : учеб. пособие / В. П. Автушко [и др.]. – Минск : НП ООО «Пион», 2001. – 396 с.
6. Шеповалов, В. Д. Автоматизация уборочных процессов / В. Д. Шеповалов. – Москва : Колос, 1971 – 312 с. : ил.
7. Анхимюк, В. Л. Теория автоматического управления / В. Л. Анхимюк, О. Ф. Опейко, Н. Н. Михеев. – Минск : ДизайнПРО, 2000. – 352 с. : ил.
8. Яшугин, Е. Я. Теория линейных непрерывных систем автоматического управления в вопросах и ответах : справ. пособие / Е. Я. Яшугин. – Минск : Выш. шк., 1986 – 224 с. : ил.
9. Власов-Власюк, О. Б. Экспериментальные методы в автоматике / О. Б. Власов-Власюк. – Москва : Машиностроение, 1969. – 412 с.

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Попов Виктор Борисович

АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

**Курс лекций
по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-36 12 01 «Проектирование
и производство сельскохозяйственной техники»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. Г. Мансурова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 01.02.10.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Ризография. Усл. печ. л. 10,46. Уч.-изд. л. 10,5.

Изд. № 141.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.