

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЫБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П. А. СОЛОВЬЕВА»
(РГАТУ имени П.А. Соловьева)

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ АСПИРАНТОВ

направление подготовки 09.06.01 Информатика и
вычислительная техника

профиль подготовки 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

Исполнительные устройства систем управления

Разработал: д.т.н. Юдин А. В.

Рыбинск, 2014 г.

Рассматриваются принципы построения и функционирования исполнительных устройств систем управления, типовых средств отображения и документирования информации. Рассмотрены исполнительные механизмы и регулирующие органы на базе электропривода постоянного тока, асинхронного электропривода и с шаговыми двигателями, средства звуковой и оптической сигнализации, сигнальные и знакосинтезирующие индикаторы.

Содержание

Лекция 1. Типовые структуры, состав и характеристики исполнительных механизмов.....	4
Лекция 2. Регулирующие органы на базе электропривода.	7
Лекция 3. Тахогенераторы, сельсины, вращающиеся трансформаторы.....	8
Лекция 4. Интеллектуальные исполнительные устройства, системы позиционирования..	11
<i>Лекция 5.</i> Средства звуковой и оптической сигнализации.....	14
Лекция 6. Типовые средства отображения и документирования информации.....	16
Лекция 7. Видеотерминальные средства, мнемосхемы, индикаторы	19
Лекция 8. Операторские панели и станции.....	24

Лекция 1. Типовые структуры, состав и характеристики исполнительных механизмов.

Исполнительные механизмы и устройства (ИМ, ИУ) промышленных систем автоматики входят в четвертую функциональную группу изделий ГСП — группу устройств использования командной информации в целях воздействия на процесс и для связи с оператором (сюда же входят рассматриваемые в следующей главе устройства сбора, регистрации, передачи и отображения информации). Термины «исполнительное устройство» и «исполнительный механизм» иногда употребляются как синонимы. В дальнейшем будем преимущественно использовать термин «исполнительное устройство», понимая под этим силовое устройство, назначение которого состоит в изменении регулирующего воздействия на объект управления в соответствии с сигналом (командной информацией), подаваемым на его вход от командного устройства (регулятора, ручного дистанционного задатчика, УВМ).

К основным блокам ИУ относятся исполнительный механизм (ИМ) и регулирующий орган (РО), которые конструктивно могут быть объединены в едином изделии или собираются из индивидуально выпускаемых блоков. В некоторых случаях ИУ может состоять из одного блока, выполняющего функции исполнительного механизма, как, например, в электрических усилителях мощности типа РНТО, РНТТ, У252. Под исполнительным механизмом в общем случае подразумевают блок ИУ (рис. 1), преобразующий входной управляющий сигнал от регулирующего устройства в сигнал, который через соответствующую связь осуществляет воздействие на регулирующий орган или непосредственно на объект регулирования.

Регулирующим органом называют блок ИУ, с помощью которого производится регулирующее воздействие на объект регулирования. Кроме исполнительного механизма и регулирующего органа ИУ содержит ряд дополнительных блоков, назначение и способы подключения которых ясны из блок-схемы (рис. 1). Кратко остановимся на основных типах и характеристиках исполнительных механизмов и регулирующих органов.

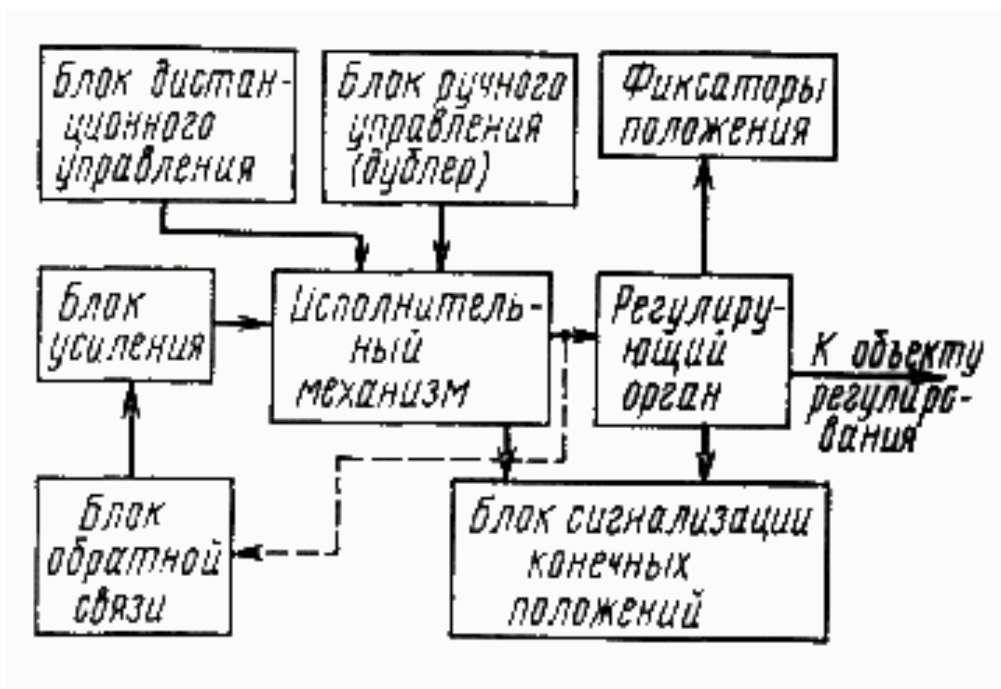


Рис. 1. Блок-схема исполнительных устройств

Одной из основных характеристик ИУ является величина перестановочного усилия (момента), передаваемого выходным органом исполнительного механизма на регулирующий орган. Эта величина обычно указывается в паспорте и является основной при энергетическом расчете и выборе ИУ.

По виду энергии, создающей перестановочное усилие, ИМ подразделяются на пневматические, гидравлические и электрические. Существуют ИМ, в которых используются одновременно два вида энергии: электропневматические, электрогидравлические и пневмогидравлические. Наиболее распространенными из них являются электрогидравлические ИМ. Вид энергии управляющего сигнала может отличаться от вида энергии, создающей перестановочное усилие.

В пневматических ИМ перестановочное усилие создается за счет действия давления сжатого воздуха на мембрану, поршень или сильфон. В соответствии с этим пневматические подразделяются на мембранные, поршневые и сильфонные. Давление сжатого воздуха в пневматических ИУ обычно не превышает 103 кПа.

В гидравлических ИМ перестановочное усилие создается за счет действия давления жидкости на мембрану, поршень или лопасть. В соответствии с этим различают мембранные, поршневые и лопастные гидравлические ИМ. Давление жидкости в них обычно находится в пределах (2,5-20) 103 кПа. Отдельный подкласс гидравлических ИУ составляют ИУ с гидромуфтами. Пневматические и гидравлические мембранные и поршневые ИМ подразделяются на пружинные и беспружинные. В пружинных ИМ перестановочное усилие в одном направлении создается давлением в рабочей полости ИМ, а в обратном направлении — силой упругости сжатой пружины. В беспружинных ИМ перестановочное усилие в обоих направлениях создается перепадом давления на рабочем органе механизма.

Электрические ИМ по принципу действия подразделяются на электродвигательные и электромагнитные; по характеру движения выходного элемента — на прямоходные с поступательным движением выходного элемента, поворотные с вращательным движением до 360° (однооборотные) и с вращательным движением на угол более 360° (многооборотные). На рис. 2 показана классификация исполнительных механизмов.

- | | |
|--|---|
| <p>I. Дросселирующие</p> <p>1. Для стандартных исполнительных устройств:
заслончатые
односедельные
трехходовые
двухседельные
диафрагмовые
шланговые</p> <p>2. Для специальных исполнительных устройств:
затворные
крановые
клапаны с поворотными створками
шиберные
направляющие аппараты
специальные</p> | <p>II. Дозирующие</p> <p>1. Механические:
плужковые сбрасыватели
дозаторы
насосы
питатели
компрессоры</p> <p>2. Электрические:
реостатные
автотрансформаторы
специальные</p> |
|--|---|

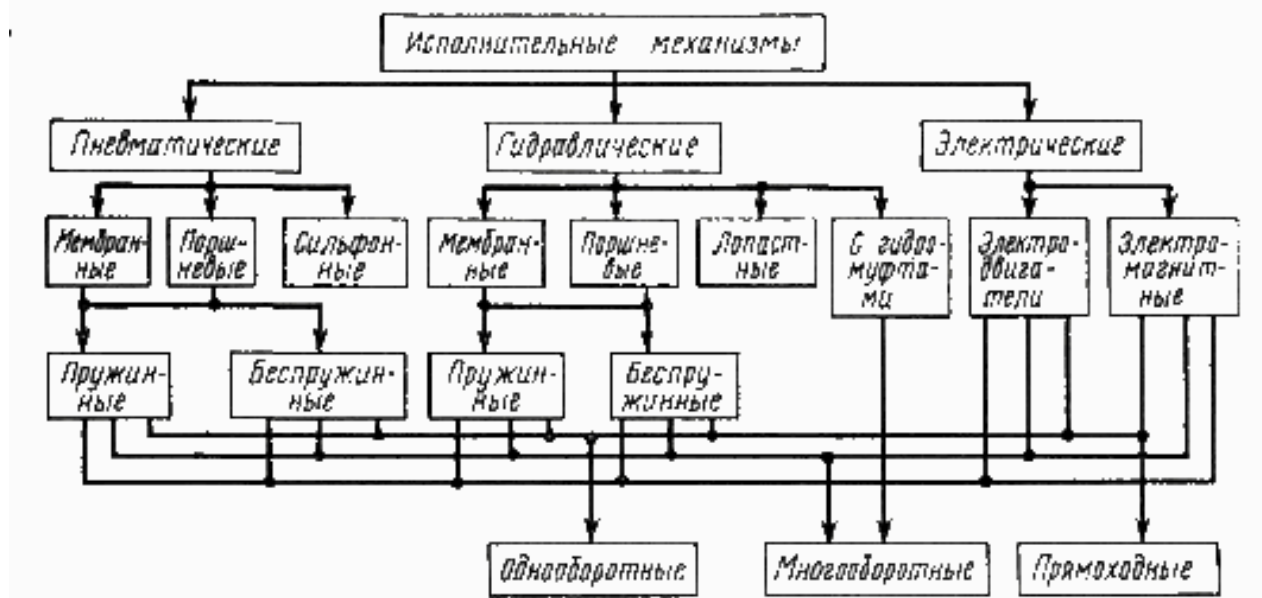


Рис.2. Классификация исполнительных механизмов

Как было отмечено ранее, вторым основным блоком исполнительного устройства является регулирующий орган (РО). Различные РО по виду воздействия на объект подразделяются на два основных типа: дросселирующие и дозирующие. Ниже приводится классификация исполнительных органов.

Дросселирующие регулирующие органы изменяют гидравлическое сопротивление в системе, воздействующее на расход вещества путем изменения своего проходного сечения. В дозирующих регулирующих органах осуществляется заданное дозирование поступающего вещества или энергии или изменение расхода вещества путем изменения производительности агрегатов. В настоящее время широкое распространение в АСУ ТП получили дросселирующие РО, хотя применение дозирующих РО экономически более оправдано.

К вспомогательным блокам (см. рис. 1) исполнительных устройств относят блоки, расширяющие область применения ИУ и обеспечивающие выполнение ряда дополнительных функций.

К вспомогательным блокам относятся блок ручного управления для механического (ручного) управления регулирующим органом, блок сигнализации конечных положений для выдачи информации о положении выходного элемента исполнительного механизма или затвора регулирующего органа, фиксаторы положения для фиксации положения выходного элемента исполнительного механизма или затвора регулирующего органа, блок дистанционного управления, блок обратной связи для улучшения статических и динамических характеристик ИУ или всей замкнутой системы регулирования.

Лекция 2. Регулирующие органы на базе электропривода.

Электрические исполнительные устройства (ЭИУ) находят преимущественное распространение в системах автоматизации, использующих изделия электрической ветви ГСП. При необходимости использовать пневматические и гидравлические ИУ последние дополняются электропнеumo- и электрогидропреобразователями. ЭИУ разделяются на четыре группы: ЭИУ позиционного действия; ЭИУ постоянной скорости; ЭИУ переменной скорости; усилители мощности.

Исполнительные механизмы ЭИУ позиционного типа, постоянной или переменной скорости состоят из электродвигателя и редуктора. Такой ИМ по своим динамическим свойствам соответствует интегрирующему звену, если в качестве выходной переменной в ИУ принят угол поворота (перемещение). Вследствие этого силовая часть может формировать интегральную составляющую таких законов регулирования, как ПИ и ПИД в структуре регулятора (собственно регулятор при этом формирует П- и ПД-составляющие). Наибольшее распространение получило именно такое использование ИМ.

Другой способ использования ИМ с электродвигателями состоит в охвате двигателя жесткой обратной связью, и в этом случае ЭИУ является пропорциональным звеном (точнее, малоинерционным), положение выходного органа которого пропорционально входному сигналу. ИМ с корректирующими обратными связями используют в ЭИУ переменной скорости.

Качество работы ЭИУ с электродвигателями характеризуют такими показателями, как номинальный момент, время полного хода, выбег, люфт, гистерезис, импульсные характеристики, режим работы.

Номинальный момент ИМ развивают при всех допустимых условиях эксплуатации, при понижении напряжения питания до $0,85U_{с.ном}$. Пусковой момент при номинальном напряжении питания должен не менее чем в 1,7 раза превышать номинальный.

Время полного хода ТИМ выбирают исходя из допустимого времени $T_{ро}$ перестановки затвора РО от начала до конца. Это время равно $T_t = \beta - 1 T_{ро}$, где β - отношение диапазона рабочего перемещения выходного органа к величине полного хода.

Выбег есть перемещение выходного органа ИМ после выключения механизма, работающего в установившемся режиме. Выбег желательно иметь таким, чтобы после выключения двигателя изменение сигнала обратной связи по регулируемому параметру было в пределах установленной зоны нечувствительности регулятора. Согласно требованиям ГОСТ 7192—80Е, величина выбега не должна быть более 1% для ЭИУ с

временем полного хода 10 с, 0,5% для механизмов с временем 25 с и 0,25% для механизмов с временем 63 с и более.

Люфт и гистерезис характеризуют нелинейности статической характеристики ЭИУ. Люфт образуется свободным ходом выходного органа при неподвижном вале электродвигателя из-за зазора в зацеплении кинематических узлов редуктора, износа контактирующих поверхностей. Согласно ГОСТ 7192—80Е, люфт выходного органа не должен превышать 1° для однооборотных ЭИУ с номинальной нагрузкой 40 Н·м и менее; $0,75^\circ$ для однооборотных ЭИУ нагрузкой более 40 Н·м; 3° для многооборотных ЭИУ; 0,2 мм для прямоходных ЭИУ с нагрузкой до 1000 Н и 0,5 мм при нагрузке свыше 1000 Н. Гистерезис между положением выходного органа и сигналом датчика положения складывается из люфта механической передачи и вариаций показания датчика. По стандарту гистерезис не должен быть более 1,5% от полной шкалы показаний датчика при нелинейности статической характеристики менее 2,5%.

Импульсная характеристика ЭИУ определяется как средняя относительная скорость 5 перемещения выходного органа. Для ЭИУ постоянной скорости с импульсным сигналом управления рассматривается отношение величины перемещения выходного органа к длительности импульса, вызвавшего перемещение. Если это перемещение брать в долях от полного хода, а длительность — в долях времени полного хода, то соответственно их отношение даст значение S . Значение $S=f(\Delta t)$, где Δt — относительная длительность импульса управления, и образует импульсную характеристику. Для идеального ЭИУ постоянной скорости $S = 1$. Реальное значение S для отечественных ЭИУ постоянной скорости лежит в диапазоне от 0,5 до 1,5.

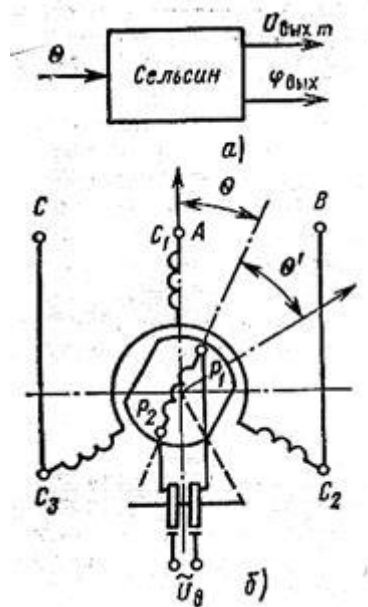
Режим работы ИУ — повторно-кратковременный реверсивный, с частотой до 320 включений в час и продолжительностью до 25% при нагрузке на выходном органе в пределах от номинальной противодействующей до 0,5 номинального значения сопутствующей. К ЭИУ предъявляются требования к повышенной частоте включений: в течение часа 600 и более с интервалом времени между выключением и включением на обратный ход не менее 50 мс.

Лекция 3. Тахогенераторы, сельсины, вращающиеся трансформаторы.

В автоматизированном электроприводе сельсины и вращающиеся трансформаторы используются как датчики угла и рассогласования. Датчик угла преобразует угловую координату в напряжение, которое определяет сигнал обратной связи по углу перемещения объекта или сигнал управления в задающих устройствах. Датчик угла рассогласования образуется двумя датчиками угла, один из которых является командным, а другой — исполнительным. Задание на движение системы может выполняться с помощью датчика угла рассогласования, угловой координатой которого является угол поворота командной оси. Разность сигналов между командной и исполнительной осью используется как сигнал управления системой.

Сельсин представляет собой маломощную машину переменного тока с однофазной обмоткой возбуждения и трехфазной обмоткой синхронизации. Конструктивно выделяются контактные и бесконтактные сельсины. Основное исполнение первых — обмотка возбуждения расположена на роторе, а обмотка синхронизации — на статоре. Этим достигается уменьшение числа контактных колец до двух и исключаются

контакты на синхронизирующей связи. Бесконтактные сельсины реализуются двумя способами. При первом способе благодаря специальной конструкции магнитопровода ротора неподвижная кольцевая обмотка возбуждения создает в роторе поток, поворачивающийся вместе с ротором. При втором – обмотка ротора получает питание от вращающейся совместно с ротором вторичной обмотки кольцевого трансформатора возбуждения с неподвижной первичной обмоткой.



Координаты (а) и схема (б) сельсина

В схемах датчиков угла входная координата сельсина – угол поворота его ротора q , а выходная координата – амплитуда $U_{\text{вых.м}}$ или фаза j выходного напряжения (рис.4) по отношению к опорному напряжению.

В амплитудном режиме $U_{\text{вых.м}} = f(q)$ обмотка возбуждения получает питание от сети переменного тока. Тогда напряжение обмотки возбуждения $U_{\text{в}}$ равно по отношению к амплитудному $U_{\text{в.м}}$:

$$U_{\text{в}} = U_{\text{в.м}} \cdot \sin \omega t \quad (38)$$

Магнитный поток, действующий по осевой линии обмотки возбуждения, наводит фазные ЭДС «е» в обмотке статора (рисунок 38б):

$$e_{\lambda} = k_{\tau} \cdot U_{\text{в.м}} \cdot \cos \theta \cdot \sin \omega t ,$$

$$e_{\beta} = k_{\tau} \cdot U_{\text{в.м}} \cdot \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \cdot \sin \omega t ,$$

$$e_c = k_T \cdot U_{\text{зм}} \cdot \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \cdot \sin \omega t$$

где k_T – коэффициент трансформации между фазной статорной и роторной обмотками при их соосном положении.

Характеристика управления сельсина в амплитудном режиме после преобразований и предварительном повороте сельсина на 90° имеет вид:

$$E_y = k_T \cdot U_{\text{зм}} \cdot \sin \theta, \quad (39)$$

где E_y – ЭДС управления.

В режиме фазовращателя характеристика управления имеет вид: $j = q$.

Основные характеристики сельсина как датчика и приемника:

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{ст}} \cdot \sin \theta; \quad m_{\text{уд}} = \frac{M_{\text{ст}}}{\theta}; \quad m_r = m_{\text{тр}} + m_{\text{р}}; \quad \theta_{\text{ст}} = \frac{m_r}{m_{\text{уд}}}; \quad A = \frac{1}{\theta_{\text{ст}}}, \quad (40)$$

где $M_{\text{ст}}$ – статический вращающий момент сельсина; $m_{\text{уд}}$ – удельный синхронизирующий момент; $m_{\text{тр}}$ – момент трения; $m_{\text{р}}$ – реактивный момент сельсина вследствие магнитной и электрической асимметрии сельсинов датчика и приемника; $\theta_{\text{ст}}$ – статическая ошибка; A – добротность сельсина.

При выборе параметров сельсинов важными факторами являются напряжение возбуждения (до 110 в), частота питающей сети, класс точности. Максимальная погрешность сельсинов-приемников составляет: в классе точности 1 - $\pm 0,75$; в классе точности 2 - $\pm 0,75 \dots \pm 1,5$; в классе точности 3 - $\pm 1,5 \dots \pm 2,5$. Для сельсинов-датчиков в этих же классах точности: ± 25 ; $\pm 25 \dots \pm 0,5$; $\pm 0,5 \dots \pm 1,0$.

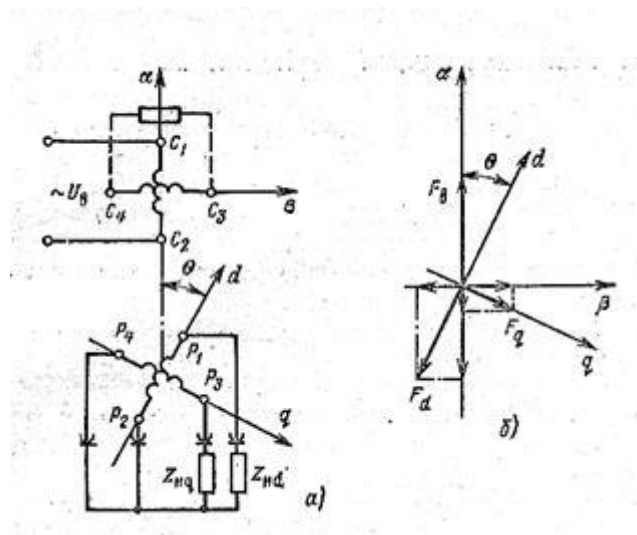


Схема (а) и векторная диаграмма (б) СКВТ

Для увеличения точности углового датчика на базе сельсина разработаны синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ). На статоре и роторе СКВТ расположены по две обмотки. На неявнополюсном статоре – обмотка возбуждения по продольной оси и квадратурная обмотка управления по поперечной оси. На роторе – синусная и косинусная обмотки. Обмотка возбуждения питается от однофазной сети и организует пульсирующий магнитный поток, пронизывающий обмотки ротора.

Лекция 4. Интеллектуальные исполнительные устройства, системы позиционирования.

Примером интеллектуального мехатронного ИМ может служить рассмотренная далее *система векторного частотного управления* трехфазным асинхронным двигателем АД.

Первоначально разработанные системы векторного управления на дискретных элементах (см. рис. 3.8) содержали большое число нелинейных блоков, сложных в настройке и чувствительных к изменению параметров. Применявшаяся аппаратура не могла выполнять быстрое и точное измерение положения ротора и вычисление в реальном масштабе времени вектора магнитного потока.

В настоящее время наличие прецизионных оптических кодировщиков, высокоскоростных ротационных аналого-цифровых преобразователей (РЦП) и высокоскоростных цифровых сигнальных процессоров (ЦСП) выдвинула векторное управление на передний край и позволило создать интеллектуальные мехатронные ИМ с широким диапазоном регулирования скорости с надежными АД.

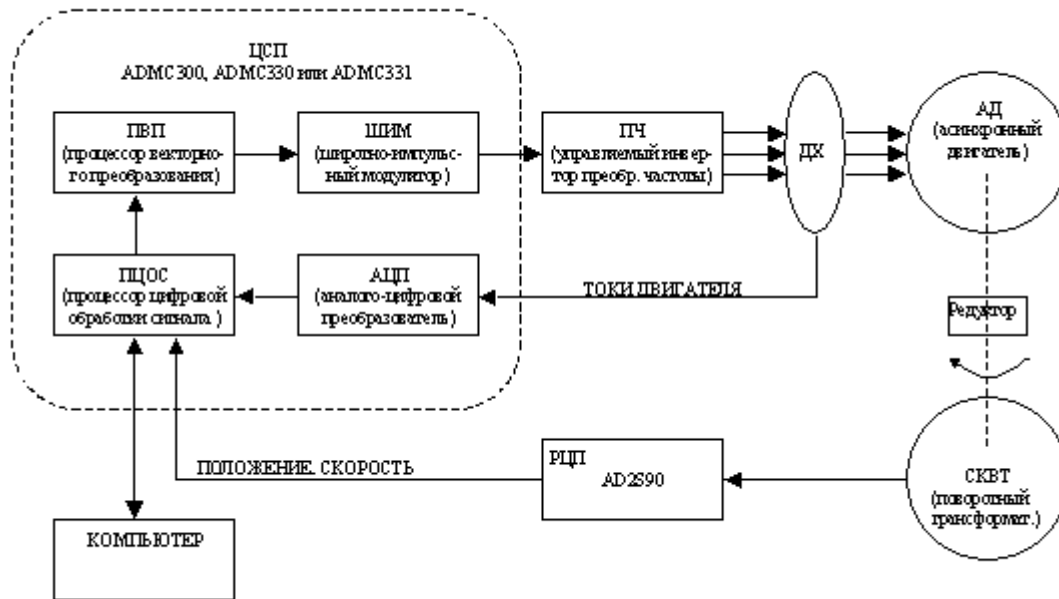


Рис.8.2

Упрощенная блок-схема такого ИМ с асинхронным двигателем АД показана на рис. 8.2. В этой схеме функции управления и контроля выполняет контроллер на базе ЦСП в виде ИС типа ADMC300, ADMC330 или ADMC331. Входами для ЦСП являются токи двигателя (обычно три фазы), положение ротора и скорость двигателя. Для измерения токов часто используются датчики на основе эффекта Холла. Вращающийся трансформатор СКВТ преобразует с высокой точностью угол поворота ротора двигателя в аналоговый электрический сигнал. Преобразователь РЦП преобразует этот сигнал в цифровую форму и дополнительно вырабатывает сигнал, пропорциональный угловой скорости ротора. При этом отпадает необходимость в отдельном датчике скорости.

Для выполнения необходимых вычислений векторного управления в реальном масштабе времени используются процессор цифровой обработки сигналов ПЦОС и процессор векторного преобразования ПВП сигнального процессора. Результаты вычисления служат для управления инверторами.

ИС ADMC300 включает в себя 5-канальный 16-разрядный АЦП с высоким разрешением, 12-разрядный трехфазный широтно-импульсный модулятор (ШИМ) для регулирования напряжения постоянного тока на входе инвертора и гибкий интерфейс кодировщика для датчика положения обратной связи.

Другим примером интеллектуального мехатронного исполнительного механизма может служить устройство автоматического наведения приемной антенны спутникового телевидения на заранее запрограммированные позиции при переключении каналов. Эти устройства иногда называют *многооборотными актюаторами*.

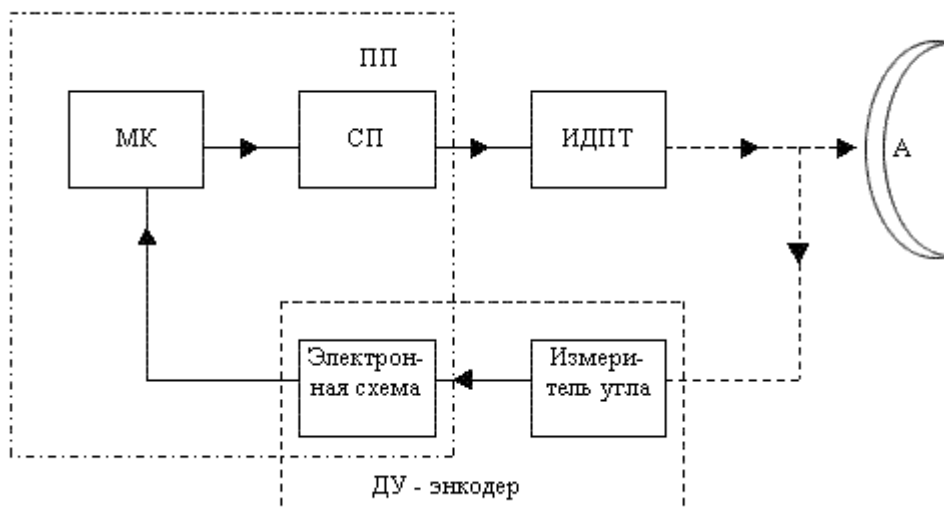


Рис.8.3

Актюатор представляет собой цифровой позиционирующий электропривод (рис.8.3), состоящий из следующих функциональных узлов:

ИДПТ – исполнительный двигатель постоянного тока со встроенным редуктором;

ДУ – датчик угла типа магнитного или оптического энкодера, преобразующего угол поворота в импульсный код; магнитный или оптический ротор энкодера механически соединяется с выходным валом ИДПТ, а на статоре размещаются чувствительные элементы (магнитные резисторы, датчики Холла, фотодиоды) и электронная схема формирования импульсного кода;

МК – микропроцессорный контроллер, который воспринимает информацию энкодера о действительном положении антенны, сравнивает ее с заданным по команде пульта управления телевизором и формирует команду для управления двигателем;

СП – силовой преобразователь для реализации управления двигателем;

А – антенна.

Успехи современных мехатронных технологий позволили создать актюаторы, в которых в едином конструктиве собраны вместе двигатель постоянного тока мощностью от 10 до 50Вт; встроенный редуктор с передаточным отношением 45; абсолютный многооборотный магнитный энкодер с разрешением до 20бит; силовая плата для управления двигателем на напряжение 24В, осуществляющая пуск и динамическое торможение двигателя; а также процессор микроконтроллера с CAN-bus шиной. Электронная схема преобразования энкодера, БИС процессора и модуль СП монтируются на одной печатной плате ПП, которая размещается в корпусе энкодера. Фланец корпуса энкодера крепится непосредственно к фланцу корпуса двигателя.

Лекция 5. Средства звуковой и оптической сигнализации

приборам акустической сигнализации относятся ревуны, звонки различных типов, колокола громкого боя, звонки-ревуны, колокола-ревуны, звонки с лампой, трещетки, сирены. Все приборы акустической сигнализации представляют собой электромагнитные механизмы, основным рабочим элементом которых является электромагнит, за исключением некоторых типов сирен, у которых основным рабочим элементом является электродвигатель. При работе электромагнитных механизмов акустической сигнализации на постоянном токе происходит прерывание цепи обмоток электромагнита или шунтирование их.

Прибором, работающим по принципу прерывания цепи обмоток электромагнита, является звонок типа ЗВОФ. Этот звонок представляет собой электромагнитный прерыватель.

Акустическим прибором другого типа постоянного тока является звонок, работающий по принципу шунтирования своей обмотки.

Звонок (типа ЗВКФ) специально предназначен для работы в устройствах, в которых не допускается обрыв цепи питания.

Ревуны и трещетки типов РВФ и ТРФ, отличающиеся от звонков тембром звука, состоят из тех же основных деталей, что и звонки. Разница заключается в иной конструкции акустической части, механизма электромагнита и формы корпуса прибора.

Комбинированные приборы — звонки-ревуны типа ЗВРФ и колокола-ревуны типа КЛРФ — представляют собой два прибора, объединенные в одном корпусе. В настоящее время на судах нашли широкое применение приборы акустической сигнализации, работающие на переменном токе. **Звонки переменного тока бывают двух типов:** поляризованные (с постоянным магнитом) и неполяризованные (без постоянных магнитов).

В один полупериод магнитные потоки в сердечнике б складываются, и якорь 2 притягивается к сердечнику. При этом стальная пластина прогибается, и боек ударяет по чаше звонка. В другой полупериод магнитные потоки направлены встречно, компенсируются, и якорь под действием пружинящей стальной пластины отходит от сердечника, а боек — от чаши. Далее процесс повторяется. Частота колебаний якоря, а следовательно, и ударов бойка будет равна частоте напряжения сети.

Приборы оптической сигнализации

К приборам оптической сигнализации относятся: номерники, прерыватели световой сигнализации и сигнальные лампы, различные мнемосхемы с мигающими и немигающими световыми табло всевозможных цветов (обычно зеленого, белого, желтого или красного для распознавания характера сигнала).

Номерники применяются в тех случаях, когда сигналы поступают из нескольких пунктов. **Назначение номерника** — фиксация пункта, из которого подан сигнал. Для этой цели в номерниках установлены блоки с электромагнитными шаровыми сигналами, которые получили свое название по сферической форме оптического сигнала, появляющегося в смотровом окне при вызове.

Устройство шарового сигнала (его еще называют бленкером) показано в разрезе на рис. 4. Шаровой сигнал представляет собой электромагнит с поворотным якорем,

укрепленным на оси, проходящей через щеки обоймы 2. При прохождении тока через обмотку катушки 4 якорь, притягиваясь к сердечнику, поворачивается вокруг своей оси, и белое поле шарового сигнала 5 устанавливается против смотрового окна. Замыкающий контакт 3 (показан в замкнутом положении, так как шаровой сигнал изображен в положении срабатывания) служит для коммутации внешних цепей а также обмотки катушки 4, которая состоит из рабочей и блокировочной обмоток. При обесточивании обмотки катушки 4 якорь опускается и под действием своей массы поворачивается, при этом исчезает белое поле со смотрового окна, и размыкается контакт 3.

Схема сигнализации с номерником переменного тока. Она относится к бытовой сигнализации и служит для вызова буфетчика из четырех помещений.

Работа номерника происходит следующим образом. При нажатии педали замыкателя против окошка появляется белое поле шарового сигнала. При этом также замыкаются оба замыкающих контакта 3 шарового сигнала. Одним из них замыкается цепь звонка (звонит звонок ЗВП), а другим подготавливается последовательное подключение блокировочной обмотки БО к рабочей обмотке РО. После отпускания педали замыкателя ЗМ1 действие звонка прекращается, а белое поле шарового сигнала остается против окошка и указывает место подачи сигнала. При нажатии педали 5В контакты ее разрывают цепь питания обмоток РО и БО, якорь шарового сигнала под действием собственной массы падает вниз, белое поле уходит от окошка вверх, и контакты 3 размыкаются.

Использование прерывателей световой сигнализации дает возможность получать мигающий световой сигнал для судовых помещений с высоким уровнем шумов. Цепь питания прерывателя световой сигнализации замыкается одновременно с включением приборов.

В сети переменного тока применяются прерыватели световой сигнализации типов ПРТ-2 и ПРТСП. Они работают по принципу пульс-пары, заключающемуся в том, что два реле поочередно включают и отключают одно другое.

Рассмотрим работу прерывателя световой сигнализации типа ПРТСП по принципиальной схеме, показанной на рис. 6.

Включение прерывателя осуществляется при помощи реле KV3. Пульс-пару образуют два реле постоянного тока KV1 и KV2, которые получают питание от сети через понижающий трансформатор TV и выпрямительный мостик на диодах VD2, VD3, VD4, VD5. Сигнальная лампа HL питается переменным током от сети.

На современных автоматизированных судах устанавливают обобщенную аварийно-предупредительную сигнализацию с мнемосхемами и световыми табло на панелях управления и сигнализации в ЦПУ. Для привлечения внимания обслуживающего персонала применяют мигающие световые табло с использованием прерывателей светового сигнала бесконтактного типа.

Лекция 6. Типовые средства отображения и документирования информации

Человеко-машинный интерфейс (англ. human-machine interface, HMI) — широкое понятие, охватывающее инженерные решения, обеспечивающие взаимодействие человека-оператора с управляемыми им машинами. Одной из наиболее сложных задач является создание эффективного человеко-машинного интерфейса рабочих мест сложных машин с множеством органов управления, например пилотов самолёта и космических кораблей. В промышленных условиях человеко-машинный интерфейс чаще всего реализуется с использованием типовых средств: операторских панелей, компьютеров и типового программного обеспечения.

Интерфейс (англ. interface — сопряжение, поверхность раздела, перегородка) — совокупность возможностей, способов и методов взаимодействия двух систем.

Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) - это методы и средства обеспечения непосредственного взаимодействия между оператором и технической системой, представляющих возможности оператору управлять этой системой и контролировать ее работу.

Интерфейс пользователя, он же пользовательский интерфейс (UI — англ. user interface) — разновидность интерфейсов, в котором одна сторона представлена человеком (пользователем), другая — машиной/устройством. Представляет собой совокупность средств и методов, при помощи которых пользователь взаимодействует с различными, чаще всего сложными, машинами, устройствами и аппаратурой. Обычно именно этот термин используется по отношению к взаимодействию между оператором ЭВМ и программным обеспечением, с которым он работает.

Подходы к проектированию интерфейсов

1. Инженерно-технический (Machine-Centered)
2. Когнитивный (Human-Centered)

Эти два подхода, по сути, представляют автоматизированную систему на самом верхнем уровне детализации («человек||компьютер») и рассматривают процесс разработки интерфейса либо с позиций человека-оператора, либо со стороны функциональных возможностей компьютера.

Инженерно-технический подход к созданию пользовательского интерфейса основан на предположении, что человек работает с компьютером подобно самому компьютеру, т.е., по определенному алгоритму. Методика алгоритмического моделирования GOMS (от англ. «Goals – Operators – Methods — Selectionrules»), представляющая этот подход, предполагает, что результат, получаемый при выполнении пользователем некоторой задачи есть *цель*. Для ее достижения пользователь может выполнять элементарные действия — *операторы*. Последовательность операторов, позволяющая достичь цели называется *методом*. *Правила выбора*, основанные на принципе «если-то», позволяют изменять поток управления.

Ввиду того, что инженерно-технический подход к проектированию интерфейса ориентирован на функциональные характеристики программы, пользователь, работающий с ней, вынужден «думать как разработчик».

Когнитивный подход, пришедший на смену алгоритмическому моделированию, рассматривает пользователя как центральную фигуру процесса взаимодействия с системой. Ориентация на характеристики пользователя, исследование перцептивных и когнитивных возможностей и ограничений человека позволили выявить закономерности взаимодействия человека с автоматизированной системой. Рассматривая процессы и закономерности восприятия, переработки информации и принятия решения, когнитивная психология выявила факторы, определяющие успешность выполнения задачи оператором. И это оказались не функциональные характеристики системы, как предполагалось инженерами раньше, а качество предоставления и управления информацией с точки зрения возможностей и ограничений человека.

Однако, как оказалось, анализа только процессов восприятия и переработки информации человеком недостаточно для проектирования эргономичного интерфейса, поскольку он не позволяет определить состав и последовательность выводимой на экран информации. Это привело к появлению некоторого числа методологий дизайна UI, основанных на когнитивном подходе, здесь приведем и кратко опишем лишь некоторые из них.

Методологии разработки интерфейсов

Дизайн, ориентированный на деятельность (Activity-Centered Design, ACD)

Эта методология рассматривает систему «человек-компьютер» как комплекс связанных деятельностных понятий и представлений. Теория деятельности, лежащая в основе этого подхода, представляет компьютер в качестве инструмента, с помощью которого человек решает различные задачи и именно деятельность человека влияет на интерфейс.

Согласно принципам теории деятельности весь поток активности пользователя можно разложить на последовательность связанных задач и подзадач, логические этапы. Это позволяет анализировать цели, внешние и внутренние задачи, порядок и вид операций пользователя, совершаемых для достижения итогового результата, а по результатам анализа разработать интерфейс, наиболее подходящий для данного вида деятельности

Целеориентированный дизайн (Goal-oriented design)

Эта методология разработки пользовательских интерфейсов, идеологом которой является Алан Купер, основана на предположении о том, что тщательное изучение целей пользователя и понимание того, к чему он стремится, позволяет решить проблему «когнитивного трения».

Когнитивное трение - понятие, введенное А. Купером и характеризующее отношение человека к сложной вещи (например, к компьютеру) как к другому человеку. Такое отношение возникает в ситуациях, когда человек не может понять того, как и почему эта вещь работает (или не работает).

User-Centered Design

Дизайн, ориентированный на пользователя — методология, получившая оправданную популярность и применяемая не только при разработке программного обеспечения. Ее суть сводится к изучению потребностей и возможностей *конечных пользователей* и адаптации продукта под их нужды. Другими словами, это концепция создания продуктов, в том числе и программного обеспечения, которыми *люди хотели бы* пользоваться.

Стандартизация

В 1992 году международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) представила группу стандартов ISO 9241 «Эргономические требования для офисной работы с видеодисплейными терминалами» (Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)). В 2006 году они получили более общее название «Эргономика взаимодействия «человек-система»» (Ergonomics of Human System Interaction).

Перечислим некоторые стандарты ISO 9241:

- ISO/TR 9241-100:2010 Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 100. Введение в стандарты на эргономику программного обеспечения
- ISO 9241-110:2006 Эргономические требования, связанные с использованием видеотерминалов для учрежденческих работ. Часть 110. Принципы диалога
- ISO 9241-129:2010 Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 129. Руководство по программному обеспечению
- ISO 9241-143:2012 Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 143. Формы
- ISO 9241-151:2008 Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 151. Руководство по пользовательскому интерфейсу Всемирной паутины
- ISO 9241-154:2013 Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 154. Применение интерактивного речевого взаимодействия (IVR)
- ISO 9241-171:2008 Эргономика взаимодействия человека и системы. Часть 171. Руководство по доступности программного обеспечения
- ISO 9241-210:2010 Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 210. Сконцентрированное на человеке конструирование интерактивных систем

Эти и прочие стандарты, связанные с эргономикой, антропометрией и биомеханикой находятся под управлением Технического Комитета 159 (Technical Committee 159) ISO и доступны на официальном сайте www.iso.org

В России имеются национальные стандарты по эргономике, часть из которых, хоть и разработана в 80-х годах XX в, все еще актуальна и сегодня. Так, ГОСТ 30.001-83 «Система стандартов эргономики и технической эстетики. Основные положения» был введен в 1983 году. Однако большинство российских документов аутентичны международным стандартам (например, ГОСТ Р ИСО 9241-210-2012 «Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 210. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем»).

Лекция 7. Видеотерминальные средства, мнемосхемы, индикаторы

Мнемосхема представляет собой наглядное графическое изображение функциональной схемы управляемого или контролируемого объекта. Это может быть технологический процесс, энергетическая система, цех станков с числовым программным управлением и т.п. Иначе говоря, мнемосхема - это условная информационная модель производственного процесса или системы, выполненная как комплекс символов, изображающих элементы системы (или процесс) с их взаимными связями.

Наглядно отображая структуру системы, мнемосхема облегчает оператору запоминание схем объектов, взаимосвязь между параметрами, назначение приборов и органов управления. В процессе управления мнемосхема является для оператора важнейшим источником информации о текущем состоянии системы, характере и структуре протекающих в ней процессов, в том числе связанных с нарушением технологических режимов, авариями и т.п.

Мнемосхемы эффективно используют в случаях, когда:

- управляемый объект имеет сложную технологическую схему и большое число контролируемых параметров;
- технологическая схема объекта может оперативно изменяться в процессе работы.

Мнемосхемы могут отражать как общую картину состояния системы, технологического процесса, так и состояние отдельных агрегатов, устройств, значения параметров и т.п. Мнемосхемы помогают оператору, работающему в условиях большого количества поступающей информации, облегчить процесс информационного поиска, подчинив его определенной логике, диктуемой реальными связями параметров контролируемого объекта. Они облегчают оператору логическую систематизацию и обработку поступающей информации, помогают осуществлению технической диагностики при отклонениях процесса от нормы, обеспечивают внешнюю опору для выработки оптимальных решений и формирования управляющих воздействий.

В основу построения мнемосхем положен ряд принципов, выработанных в процессе многолетней практики их применения. Один из основных - принцип **лаконичности**, согласно которому мнемосхема должна быть простой, не должна содержать лишних, затемняющих элементов, а отображаемая информация должна быть четкой, конкретной и краткой, удобной для восприятия и дальнейшей переработки.

Принцип **обобщения и унификации** предусматривает требование, согласно которому надо выделять и использовать наиболее существенные особенности управляемых объектов, т.е. на мнемосхеме не следует применять элементы, обозначающие

несущественные конструктивные особенности системы, а символы сходных объектов и процессов необходимо по возможности объединять и унифицировать.

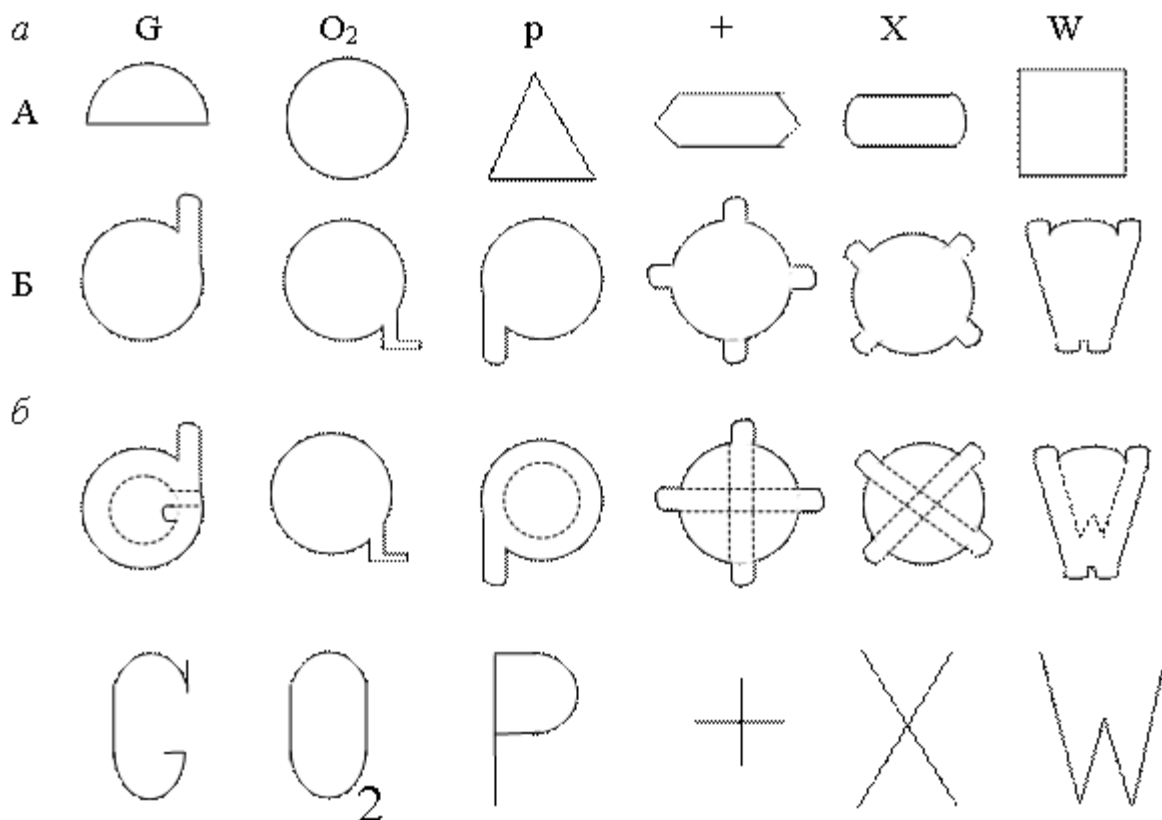
Согласно принципу **акцента к элементам контроля и управления** на мнемосхемах в первую очередь необходимо выделять размерами, формой или цветом элементы, наиболее существенные для оценки состояния, принятия решения и воздействия на управляемый объект.

Принцип **автономности** предусматривает необходимость обособления друг от друга участков мнемосхемы, соответствующих автономно контролируемым и управляемым объектам и агрегатам. Эти обособленные участки должны быть четко отграничены от других и согласно принципу структурности должны иметь завершенную, легко запоминающуюся и отличающуюся от других структуру. Структура должна отражать характер объекта и его основные свойства.

В соответствии с принципом **пространственного соотнесения элементов контроля и управления** расположение контрольно-измерительных и индикаторных приборов должно быть четко согласовано с расположением соответствующих им элементов управления, т.е. должен соблюдаться закон совместности стимула и реакции.

Принцип **использования привычных ассоциаций и стереотипов** предполагает применение на мнемосхемах таких условных обозначений параметров, которые ассоциируют с общепринятыми буквенными обозначениями этих параметров. Желательно применять, если это возможно, вместо абстрактных знаков символы, ассоциирующиеся с объектами

и процессами. На рис. 7.12, *а* показаны варианты А и Б условных обозначений таких параметров, как расход G , содержание кислорода O_2 , давление p , добавка химреактива $+$, химический состав X и мощность W . Алфавит Б мнемосимволов имеет меньшее число различных признаков по сравнению с алфавитом А, но алфавит Б построен по принципу ассоциаций между конфигурацией контуров знаков и начертанием букв, используемых для обозначения соответствующих параметров (рис. 7.12, *б*).



Варианты мнемосимволов параметров энергоблока:

a - буквенное обозначение параметров и их условные знаки (А) и ассоциативные мнемосимволы (Б); *б* - пояснения связей начертаний мнемосимволов с буквенными обозначениями

Испытания обученных операторов, знающих буквенные обозначения параметров, показали, что при использовании алфавита мнемосимволов Б по сравнению с алфавитом условных знаков А уменьшается время, затрачиваемое на опознание символов, на 30-40 % и число ошибок.

Мнемосхема не должна обязательно копировать техническую схему. Она должна отображать логику контролируемых и управляемых процессов, способствовать упрощению поиска и опознания нужной информации и оперативному принятию правильных решений.

По функциям операторов, работающих с мнемосхемами, последние разделяются на операторские и диспетчерские. К первым относятся мнемосхемы, отображающие, как правило, единый пространственно сосредоточенный технологический комплекс, тогда как вторые отображают рассредоточенную систему, включающую в себя разнообразные технологические комплексы, объекты, агрегаты. Операторские и диспетчерские мнемосхемы существенно различаются степенью детализации и подробностью отображения отдельных объектов контроля и управления.

В зависимости от того, выполняет оператор какие-либо переключения непосредственно на мнемосхеме или она является чисто осведомительным информационным устройством, операторские мнемосхемы подразделяются на **оперативные и неоперативные**, а диспетчерские - на **световые и мимические**. Оперативные мнемосхемы наряду с различными устройствами отображения, приборами, изобразительными и сигнальными элементами имеют органы управления индивидуального или вызывного типа, а мимические - ручные переключатели для снятия сигналов и приведения отображения состояния объекта на мнемосхеме в соответствие с его реальным состоянием.

Мнемосхемы, у которых каждый информационный элемент связан только с одним датчиком, т.е. участки схемы постоянно подключены к одним и тем же управляемым объектам, называют **индивидуальными** или **однообъектными**. **Мнемосхемы**, у которых участки могут периодически или по необходимости подключаться к нескольким объектам, имеющим одинаковую структуру, называются **вызывными** или **избирательными (многообъектными)**. В вызывных мнемосхемах могут подключаться либо тот или иной объект, либо тот или иной датчик одного объекта. С помощью вызывной мнемосхемы можно значительно сократить размеры панели, сэкономить в приборах и СОИ, облегчить условия работы оператора за счет уменьшения поля зрения и упрощения схемы.

Мнемосхема, на которой постоянно отображается одна и та же схема объекта, называется **постоянной**. В **сменных мнемосхемах** изображение в процессе работы может существенно изменяться в зависимости от режимов работы объекта (пусковая схема, схема нормальной работы, аварийная схема и т.д.).

Мнемосхемы могут располагаться на отдельных панелях, на надстройке к приборному щиту, на приставке к пульту или на рабочей панели пульта. Информация на схеме может выдаваться в аналоговой, аналого-дискретной и дискретной форме. По выполнению условных обозначений объекта, агрегата, технологической линии и другого оборудования мнемосхемы подразделяют на **плоские, рельефные и объемные**, по способу кодирования - **наусловные и символические**. Условные знаки не имеют никакого внешнего сходства и не создают зрительных ассоциаций с отображаемыми объектами и явлениями. Примерами условных знаков и символов являются соответственно графические обозначения параметров (вариант А) и мнемосимволы (вариант Б), представленные на рис. 7.12, а.

Изображения на мнемосхемах могут быть на прямом или обратном контрасте. Элементы изображения выполняются рисованными, нанесенными фотоспособом, накладными; индикация реализуется с помощью электролюминесцентных элементов, газоразрядных приборов, ламп накаливания, электронно-лучевых трубок и т.д.

В последние годы для воспроизведения мнемосхем применяют дисплеи на ЭЛТ. Использование таких устройств особенно целесообразно в случае, когда объект имеет сложную, разветвленную структуру, когда технологический процесс часто меняется и необходим набор мнемосхем. На экране ЭЛТ может отображаться укрупненная мнемосхема всей системы, мнемосхемы отдельных комплексов, объектов и процессов,

мнемосхемы отдельных узлов и т.д. Нужные мнемосхемы отображаются по вызову оператора или по сигналам ЭВМ.

При разработке мнемосхем важен оптимальный выбор форм используемых символов. По форме символы должны представлять собой замкнутый контур. Вспомогательные элементы и линии не должны пересекать контур символа или каким-либо другим способом затруднять чтение.

Повышенные требования должны предъявляться к символам, сигнализирующим функциональное (особенное аварийное) состояние отдельных агрегатов или объектов.

Сигнализацией того, что данный объект включен (работает), должен служить, как правило, зеленый цвет, не работает (отключен) - красный. Смене состояния должен соответствовать прерывистый световой сигнал того цвета, которым обозначается новое состояние агрегата. Например, если работающий агрегат останавливается, то зеленый цвет должен смениться красным прерывистым. Частота мигания должна составлять 38 Гц с длительностью свечения не менее 0,05 с. Сигналы о смене состояния агрегатов должны отключаться самим диспетчером.

Соединительные линии на мнемосхеме должны быть прямыми и сплошными. При компоновке мнемосхемы необходимо стремиться, чтобы соединительные линии были возможно короче и имели наименьшее число пересечений.

При работе с мнемосхемами, имеющими значительные размеры и множество объектов различных цветов и яркостей, зрительная система оператора подвергается большой нагрузке. Поэтому не допускается использование в большом количестве цветов, которые быстро утомляют глаз - красного, фиолетового, пурпурного. В качестве фона мнемосхем рекомендуется применять малонасыщенные цвета средней частоты спектра.

Для оценки мнемосхем используются:

1. Коэффициент информативности - отношение числа пассивных элементов и активных.
2. Коэффициент заполнения поля - отношение числа пассивных элементов мнемосхем к общему числу элементов мнемосхемы.

При проектировании мнемосхем предлагают обычно несколько вариантов. Оптимальный вариант выбирают путем лабораторного эксперимента (моделируют на ЭВМ деятельность оператора с различными вариантами мнемосхемы). Критериями оценки служат время решения задач и число допущенных ошибок.

Лекция 8. Операторские панели и станции

Каждая рабочая станция может быть специализированной или комбинированной. Специализированная станция решает какую-то одну конкретную задачу, комбинированные станции могут одновременно решать несколько задач.

Разделение по размеру:

- В крупной системе: число рабочих станций может составлять несколько десятков, при этом каждая рабочая станция - это отдельный компьютер. На одном объекте могут использоваться несколько рабочих станций одного вида (например, несколько операторских и архивных станций).
- В системе среднего масштаба: обычно используется 5-6 компьютеров, при этом часть из них имеет комбинированное назначение (например, на одном компьютере выполняются задачи инженерной, приборной станций и станции анализа).
- В небольшой системе: задействуются 1-2 компьютера, каждый из которых имеет комбинированное назначение.

Разделение по структуре:

- Операторская станция: предназначена для представления текущей информации, сигнализации и трендов оператору-технологу.

Мнемосхемы операторских станций содержат статическую и динамическую информацию об объекте. На один экран можно одновременно вызвать несколько мнемосхем, изменять их расположение и масштаб. Одним нажатием клавиши мыши на экране можно открыть несколько окон с трендами или с подробной информацией о выбранных объектах. Непосредственно из открытых окон выбранным объектом можно управлять вручную.

- Событийная станция: представляет текущую последовательность событий оператору-технологу. Все события делятся на штатные (включение, выключение и т.д.), нештатные (выход за аварийный допуск, несанкционированная команда и т.д.) и аварийные (срабатывание защит). Событийная станция обычно устанавливается рядом с операторской, однако возможен вариант, когда операторские и событийные функции выполняются на одном компьютере.

- Архивная станция: хранит всю информацию о значениях сигналов и состоянии оборудования. Имеется кратковременный архив, размещенный в оперативной памяти сервера архива, и долговременный архив, размещаемый на жестком диске или CD-ROM.

- Станция анализа позволяет с помощью удобного человеко-машинного интерфейса анализировать архивную информацию - задавать отрезки времени для анализа, выбирать удобную форму представления и т.д. С помощью этой станции также подготавливаются и распечатываются протоколы и ведомости. Станция анализа архивной информации позволяет задавать различные критерии поиска информации в архиве и различные формы представления этой информации - в виде таблиц или графиков. При анализе можно задавать требуемый набор сигналов, интервал времени и вид сигналов - аналоговые сигналы, события и т.д.

- Инженерная станция: это инструмент наладчика. С помощью инженерной станции технологические программы загружаются в контроллеры, в них непосредственно в оперативном режиме изменяются параметры настройки, запускаются тесты и т.п.

- Приборная станция: позволяет вести непрерывный мониторинг исправности всех технических средств. При любых неисправностях на экран инженерной станции выводятся сообщения с указанием места, в котором зафиксирован отказ
- Расчетная станция: используется для проведения сложных расчетов - технико-экономических показателей, статистической обработки, оптимизации и т.п.
- Станция единого времени: обеспечивает единое время для всех технических средств, привязанное с высокой точностью к астрономическому времени через спутниковую систему GPS.