**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1.1**

**УЧЕБНЫЙ МОДУЛЬ УМ 1. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ВНУТРЕННИЕ СВОЙСТВА. КЛАССИФИКАЦИЯ**

**ТЕМА УМ.1.1.ПА1. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ СИСТЕМ. СИГНАЛЬНЫЙ ГРАФ.**

План занятия:

1. Техническая и функцииональная структурные схемы;

2. Типовая функциональная структурная схема. Алгортм ее составления;

3. Функциональная декомпозиция технической структурной схемы системы;

4. Сигнальный граф. Правила его составления;

Примеры.

**1. Техническая и функцииональная структурные схемы систем**

Выше отмечалось (см. лек.1), что ***процесс управления является процессом органи­зации и реализации целенаправленного воздействия на объект***. Но сам про­цесс организации также целенаправлен, т.е. процесс управления подразу­мевает ***наличие умения, способности создавать целенаправленное воздей­ствие***. Эти свойства и определяют алгоритм управления, то есть инструк­цию о том, как добиваться целей управления в различных ситуациях. Алго­ритм управления реализуется управляющим устройством (управляющим объектом). Объединим объект управления и управляющее устройство в систему управления (рис. 1).

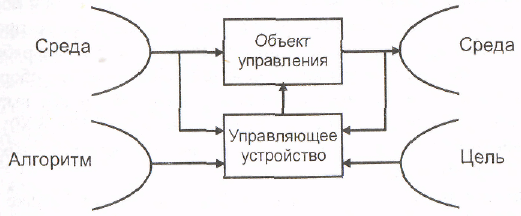


Рис. 1. Структура взаимодействия системы управления с внешней средой

Из изложенного выше (см. лекцию 1) следу­ет, что цель и алгоритм управления по отношению к системе управления имеют внешний характер. Это обусловлено тем, что ***цель управления и алгоритм управления*** определяются не данной системой управления, а другой *системой (субъектом)*, имеющей по отношению к рассматриваемой более высокий уро­вень иерархии. Таким образом, суть понятия «управление» охватывает ***три основные группы действий***, которые можно описать структурной схемой на рис. 2.

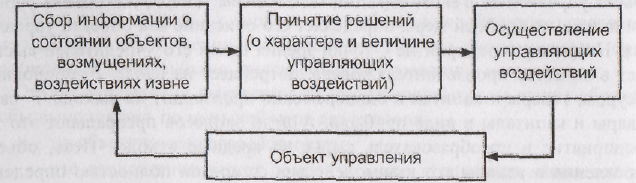


Рис. 2. Структурная схема действий в проwессе управления

Объектами управления могут быть как отдельные объекты, выделенные из окружающего нас мира (среды) по определенным признакам (например, конструктивным, функциональным), так и совокупности объектов - ком­плексы. В зависимости от свойств или назначения объектов управления могут быть выделены ***технические, технологические, экономические, орга­низационные, социальные и*** другие объекты управления и комплексы.

Основу решения любой задачи автоматизации представляет описание и моделирование систем и процессов в них и разработка функциональной модели (ФМ) является ***первым шагом*** на пути автоматизации. ФМ позволяет получить общее представление о процессе или системе. При исследовании динамических свойств САР ее схему, в ряде случаев, удобно представлять в виде взаимосвязанной совокупности отдельных элементов, классифицированных по функциональному назначению и принципу действия.

**2. Типовая функциональная структурная схема. Алгортм ее составления**

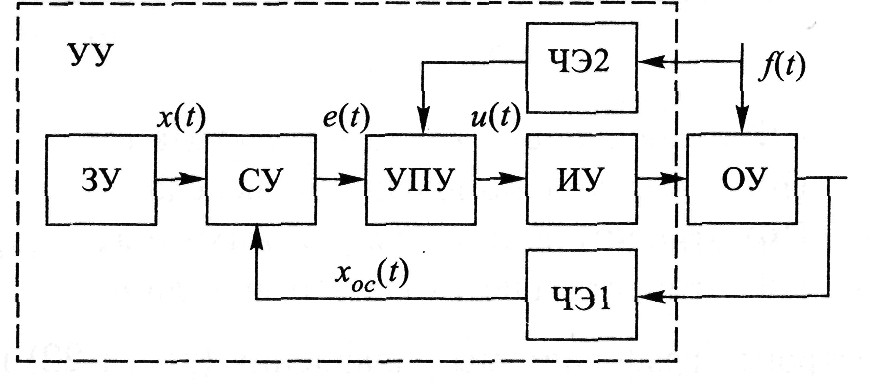
. Следуя системному подходу, ***САУ*** рассматривается ***как цепь взаимодействующих физических и информационно элементов*** и обладает способностью передавать физические воздействия и информационные сигналы в одном, ***строго определенном направлении.*** Каждый из *функциональных элементов* системы рассматривается ***как преобразователь входного воздействия в выходную реакцию***.

Функциональная структурная схема (ФСС) позволяет получить общее представление о процессе или системе. При исследовании динамических свойств САУ ее схему, в ряде случаев, удобно представлять в виде взаимосвязанной совокупности отдельных элементов, классифицированных по функциональному назначению и принципу действия. Части элементов системы (объекта, устройств управления и наблюдения и др.), получаемые в результате их декомпозиции принято называть ***функциональными звеньями.*** Принцип работы функциональных звеньев может быть различным, поэтому функциональная структура не дает представление о принципе действия конкретной САУ, а показывает лишь пути прохождения и способы обработки и преобразования сигналов.

. ***Функциональные модели*** (ФМ) не есть портрет динамичесго поведения: они отражают только функциональные связи, что является основополагающим положением при решении задач синтеза регуляторов. Функциональное представление удобно для первоначального описания ***простой системы*** *на*основе физических явлений, протекающих в ее отдельных частях и последующего ее представления в виде структурной схемы. Такой подход естественен и для инженера и получил в настоящее время широкое распространение, так как ФСС дает наглядное представление о возможных динамических свойствах системы и удобна для ее исследования.

САУ отличаются друг от друга объектами управления, физической природой управляемых и регулируемых величин, конструкциями элементов управляющих устройств. Тем не менее, вне зависимости от этих различий можно выделить несколько типов ***функционально необходимых*** ***элементов*** при организации управления по преобразованию энергии, вещества и информации (рис 3).

В общем случае ФСС типовой одномерной, одноконтурной комбинированной САР имеет вид, представленный на рис. 3,



**Правка: на схеме указать** **стрелочкой** выход- **y(t),**

вместо x(t) ввести *yз(t)* (з-индекс),

x(t) убрать из схемы ……

Рис. 3. ФСС типовой одномерной, одноконтурной комбинированной САР

На ФСС каждый прямоугольник изображает конкретное техническое устройство, а стрелки соответствуют конкретным физическим величинам, играющим в данной системе роль сигналов, передающих информацию между элементами схемы. Отдельный функциональный элемент на схеме может иметь несколько входов (входящих стрелок), но выход – всегда только один.

На схеме приняты сле­дующие обозначения: УУ — управляющее устройство, включающее в себя ЗУ — задающее устройство, вырабатывающее задающий сиг­нал yз*(t);* СУ — сравнивающее устройство, вырабатывающее сигнал ошибки *e(t) = yз(t) - yoc(t);* УПУ — усилительно-преобразовательное устройство, включающее в себя помимо усилителя и преобразователь или корректирующее устройство, которое на основе сигнала ошиб­ки *e(t)* и измеренного возмущения *f(t)* вырабатывает управляющее воздействие *u(t);* ИУ — исполнительное устройство, непосредственно воздействующее на объект управления ОУ; ЧЭ1 и ЧЭ2 — чувствитель­ные элементы (датчики), измеряющие управляемую переменную *y(t)* и возмущение *f(t)* и при необходимости преобразующие их в иную фи­зическую переменную (например, механическую или тепловую в элек­трическую); ОУ — объект управления.

На УПУ поступает три вида информации: о величине выхода *у*, определяющей состояние ОУ; о величине уз *,* задающей цель управления; о возмущениях *f* , нарушающих режим работы ОУ. Однако возможны САУ, в которых используется лишь часть перечисленной информации. Если присутствуют все три вида информации, то говорят о комбинированном управлении, когда сочетаются управления по замкнутому и разомкнутому циклам: управление по отклонению на основе отрицательной связи и компенсация возмущения при прямом его измерении.

ФСС принято изображать графически в следущем порядке: сначала, последовательно слева направо изображаются ***элементы***, так называемой ***основной (прямой, сквозной***) ***цепи***, передающие сигналы от задающей величины к управлящей (задатчик (ЗУ), сравнивающее устройство (СУ), УПУ, исполнительное устройства (ИУ) и объект управления (ОУ). Затем, ниже прямой цепи, справа налево от выхода объекта располагаются элементы, так называемой, ***цепи*** ***главной обратной связи*** (датчиик (ЧЭ1), преобразователи сигналов), воздействующей на сравнивающее устройство. Сверху над элементами схемы, стрелками указываются воздействия внешней среды. На схеме рис.3 это вомущение f(t). Сверху над элементами прямой цепи располагаются ЧЭ2, измеряющий возмущение *f(t),* а также цепь измерения и цепь компенсации.

**2.1. Функциональная декомпозиция технической структурной схемы системы**

После того как проведен содержательный(вербальное) анализ работы САР и составлено ее описание, на следующем этапе моделирования проведем ***функциональную декомпозицию*** системы***,*** выделив в ней отдельные функционально обособленные элементы, и представим систему совокупностью этих элементов и связей между ними. Поскольку рассматривается система автоматического управления, то будем выделять в ней, так называемые, функционально ***необходимые*** элементы, которые позволяют организовать автоматическое управление по отклонению на основе принципа отрицательной обратной связи

Раасмотрим процедуру предварительный анализа на примереСАР скорости вращения вала двигателя постоянного тока (Рис. 4.).



Рис. 4. Техническая структуурная схема САР скорости вращения вала двигателя

***Первым этапом*** анализа является выделение объекта управ­ления и выявление каналов воздествия. Объект обычно определяется постановкой задачи. Граница объекта начинается от точки воздействия управляющего сигнала на поток энергии или вещества и заканчивается в точке измерения управляемой величины. Объект управления выделяется из окружающей среды таким образом, чтобы выполнялись по меньшей мере два условия:

- на объект можно воздействовать;

- это воздействие может приблизить нас к осуществлению постав­ленных целей в объекте, т.е. изменить его состояние в желаемом для нас направлении.

Далее, ***на втором этапе***, найдем измерительное устройство (датчик) управляемой величины и укажем физическую величину.

Затем, ***на третьем этапе***, определим задающее воздействие () и задающее устройство.

Следующий, ***четвертый,*** этап– поиск сравнивающего устройства (элемента сравнения) и физической величины, являющийся сигналом ошибки (рассогласования: Uрас=). По своей сути элемент сравнения имеет минимум два входа: для задающего воздействия от задатчика и для сигнала о значении управляемой величины, вырабатываемого измерительным устройством (датчиком).

На ***пятом этапе*** ищется устройство для предварительного усиления сигнала рассогласования Uрас, Им является, как показано на рис.4, электронный усилитель (У). Входным сигналом для У служит, найденный ранее, сигнал ошибки,

На *шестом* ***этапе*** выявляем исполнительное устройством (ИУ). Для данной системы - это генератор , а выходным сигналом исполнительного устройства является управляющее воздействие на объект.

На ***седьмом*** ***этапе выявляют***, определяют, какие элементы схемы составляют корректирующее устройство, если оно имеется. Указывают его входной и выходной сигналы. Корректирующее устройство может охватывать несколько элементов системы в виде местной обратной связи либо быть включённым в основной контур последовательно с другими элементами. Как видим, в рассматриваемой схеме такое устройство в явном виде осутствует а его роль выполняет непосредственно генератор (УУ).

Далее ***на восьмом этапе***  выявляют возмущающие воздействия, связывающие систему с внешней средой. К возмущающим воздействиям следует отнести все физические величины, влияющие на режим работы системы, значения которых в то же время не зависят от процессов в системе, а определяются некоторыми внешними условиями.

На ***девятом этапе,*** после установления всех основных элементов САР, составляется описание принципа функционирования данной системы.

На ***десятом этапе*** следует выяснить, является ли данная система статической или астатической. Для этого необходимо установить, равен ли нулю сигнал ошибки в системе в установившемся режиме работы при постоянном задании и отсутствии возмущений после окончания переходных процессов. Система, в которой регулируемая величина в установившемся режиме зависит от величины возмущения, называется ***статической***, а отклонение регулируемой величины от заданного значения - статической ошибкой. Системы, в которых установившееся значение управляемой величины постоянно и не зависит от величины возмущения, называются ***астатическими.***

Наконец, на ***последний*** ***этап*** предварительного анализа САР – составляется её функциональной схемы. На функциональной схеме необходимо указать сокращенное наименование каждого элемента. Для каждого сигнала на функциональной схеме должно быть указано его обозначение в соответствии с технической структурной схемой.

На ФСС системы отмечаются промежуточные переменные на выходе каждого из функционально необходимых элементов, указываются внешние воздействия и точки их приложения в системе. Каждый элемент системы представляется своими входо-выходными характерисками, а имнно:

1) В данной системе (рис. 4) *объектом управления* является электрический двигатель постоянного тока, обозначенный на схеме буквой Д.

*Управляемая величина* в данной системе это скорость вращения вала двигателя Д:  (об/мин).

*Управляющим воздействием* является напряжение , которое снимается с якоря генератора Г (рис. 4) и подается на якорь двигателя Д.

2) *Измерительным устройством* управляемой величины вданной системе является тахогенератор ТГ. Тахогенератор представляет собой обычный генератор, вал которого подсоединен к валу двигателя Д. В результате тахогенератор вырабатывает напряжение , пропорциональное скорости вращения вала двигателя Д.

3) *Задающим воздействием* в данной системе является напряжение , а *задающим устройством* делитель, представляющий собой “переменное” сопротивление.

4) В данной схеме *сравнивающие устройство,* как устройство в явном виде отсутствует. *Сигнал рассогласования* Uрасполучается вычитанием: .

5) *Усилительным устройством* вданной САУ является предварительный усилитель У (в конкретной схеме электронный)..

6) *Усилитель мощности* представлят собой собой генератор постоянного тока Г,

7) *Возмущающими воздействиями* в данной системе являются: напряжение возбуждения обмотки тахогенератора ; напряжение, выдаваемое постоянным источником; напряжение возбуждения обмотки двигателя ; момент сопротивления ; скорость вращения вала генератора .

Задача управления состоит в том, чтобы поддерживать число оборотов двигателя Д в заданных пределах при изменении нагрузки. Нагрузкой двигателя является момент сопротивления  на его валу. Для измерения скорости вращения двигателя применяется тахогенератор ТГ, создающий напряжение Uт, пропорциональное числу оборотов. Напряжение Uо, соответствующее положению движка потенциометра, определяет заданное значение скорости двигателя. Напряжение Uрас характеризует отклонение числа оборотов двигателя от заданного числа оборотов. Генератор Г, входящий в состав системы, представляет собой усилитель мощности. При неравенстве напряжений Uт и Uо появляется напряжение на обмотке возбуждения генератора ОВГ, подключенной к выходу предварительного усилителя У, которое пропорционально разности Uо-Uт. В результате число оборотов двигателя изменяется так, чтобы рассогласование Uрас уменьшилось.

Пусть в системе установлено некоторое задающее напряжение U0, не равное нулю, и двигатель вращается с соответствующей скоростью. Пусть скорость привода генератора, напряжение возбуждения двигателя Uвд и тахогенератора Uвт постоянны. Допустим, что напряжение Uрас равно нулю. Тогда равно нулю также напряжение на обмотке возбуждения генератора и на якоре двигателя, следовательно, двигатель не вращается. Однако это противоречит исходному предположению, что в системе установилась некоторая ненулевая скорость вращения двигателя. Таким образом, предположение Uрас=0 неверно и установившаяся ошибка в системе не равна нулю. Следовательно, система является статической.



Рис.5. ФСС САР скорости вращения вала двигателя

Введение понятие ФСС позволило систематизировать процедуру рассмотрения принципа действия автоматической системы и состава ее элементов автоматики на основе знания основных процессов при организации автоматического управления.

В рамках решения задач классической теории управления: задач анализа и синтеза, принято использовать ***упрощенную ФСС*** одномерной, одноконтурной САР, приведенную на рис.6, включающей всего три обобщенных функциональных элемента: регулятор Р, обект управления ОУ и сравнивающее у*стройство* (сумматор).

Р

ОУ

yзззз

e

u

y

f

сумматор

Рис. 6. Упрощенная ФСС одноконтуоной САР

Упрощение объясняется тем, что характеристики датчика и регулирующего органа с исполнительным механизмом, устанавливаемых, как правило, непосредственно на объекте, не изменяются в процессе эксплуатации системы и учитываются при проектировании САР вместе с характеристиками объекта. регуляятор в всебя предварителльный усилитель, устройство связи с объектом и собствествнно корректирующее устройство.

.

**3. Сигнальный граф. Правила его составлсния**

.Математическая модель САУ призвана, прежде всего, устанавливать зависимость изменения во времени от внешних воздействий. Число внешних воздействий, влиянием которых на управляемую величину нельзя пренебречь, обычно задано..

**Сигнальный** **граф** – **это** направленный **граф** прохождения сигналов, графически изображающий систему уравнений, которая описывает реальную физическую систему

***Структура системы дифференциальных уравнений САУ полностью определяется ее сигнальным графом***. Под структурой системы дифференциальных уравнений будем понимать, во-первых, множество функциональных элементов, множество функций времени, задаваемых извне, во-вторых, множество искомых функций времени, относительно которых и составляется система дифференциальных уравнений и, в-третьих, список дифференциальных уравнений с указанием для каждого уравнения, какие функции времени являются для него заданными, а какая функция – искомой.

Искомые уравнения системы получаются, как отмечалось, объединением (эквивалентированием, композицией) уравнений отдельных элементов или ***функциональных звеньев (ФЗ),*** как простых частей функциональных элементов. В качестве примера таких частей можно привести обмотки возбуждения и якорные обмоткти, отдельные каскады усилителей и т.д. Описание таких простых звеньев составляются на основе физических, химических или других общих законов, определяющих протекающие в данном звене процессы и имеют не высокий порядок.

ФЗ могут обладать свойством направленного действия (детектируемости), т.е. передают воздействие только в одном направлении от входа к выходу. Свойство направленности действия реализуется за счет усиления водного воздействия по мощности. такие звенья принято называть динамическими. Пассивные же звенья (рычаг, редуктор, пассивные электрические цепи и др.) не обладают свойством направленности.

Структуру взаимосвязи переменных в системе отражает ***сигнальный граф*** (схема причинно-следственных связей) САУ. Сигнальный граф является ***направленным графом***, который представляет собой совокупность некоторого множества элементов (множество вершин) и некоторого множества упорядоченных пар этих элементов (множества направленных рёбер). В сигнальном графе роль множества вершин играет множества сигналов в САУ, совместное изменение которых во времени описывается данной математической моделью.

Рёбра сигнального графа, входящие в некоторую вершину, указывают совокупность значений или законов изменения во времени каких сигналов полностью определяют значение или закон изменения во времени данного сигнала, соответствующего данной вершине.

Уравнение, соответствующее некоторой вершине сигнального графа, должно определять значение или закон изменения физической величины, символически обозначаемой этой вершиной, если заданы значения или законы изменения во времени физических величин, соответствующих вершинам, из которых исходят ребра, ведущие в данную вершину.

Множество сигналов, задаваемых извне, полностью определяется множеством ***внешних*** вершин сигнального графа, а множество искомых сигналов - множеством **внутренних** вершин. Каждой внутренней вершине соответствует одно уравнение, причем сигнал, соответствующий этой вершине является для данного уравнения искомым. Ребра, входящие в данную вершину, указывают, какие сигналы являются заданными для данного уравнения. Таким образом, общее число уравнений равно общему числу внутренних вершин сигнального графа.

Иначе обстоит дело с числом внешних вершин сигнального графа. Каждая из них соответствует одному из выходов модели, т. е. некоторой переменной, для которой модель устанавливает закон изменения во времени в зависимости от изменения внешних воздействий. Однако только одна из этих переменных является управляемой величиной и должна обязательно входить в число выходов модели. Остальные переменные соответствуют промежуточным физическим величинам в данной САУ и их изменения во времени математическая модель описывает лишь попутно с изменением управляемой величины.

Для САР в примере на рис.4 ***внешними вершинами*** сигнального графа являются: напряжения задания U0, снимаемое с движка потенциометра, скорость привода генератора Ωг, момент сопротивления нагрузки на валу двигателя Мс, напряжение возбуждения двигателя Uвд и напряжение возбуждения тахогенератора Uвт,  строго говоря и напряжение питания предварительного (электронного) усилителя. ***Внутренними вершинами*** являются скорость вращения двигателя Ω, напряжение на выходе электронного усилителя Uу, напряжение на выходе генератораUг, напряжение Uя, подаваемое от генератора на якорь электродвигателя, и напряжение Uт, снимаемое с тахогенератора.

Для генератора постоянного тока с независимым возбуждением, ***промежуточными вершинами*** являются ток возбуждения Iвг и вызываемый им магнитный поток возбуждения Фвг, который непосредственно приводит к появлению напряжения на клеммах генератора Uя.

Для электродвигателя с независимым возбуждением промежуточными вершинами являются ток якоря Iя, вращающий момент на валу Мд, противо-ЭДС якоря Ея, ток Iвд и поток Фвд обмотки возбуждения.

Функционирование тахогенератора характеризуется двумя промежуточными вершинами: током Iвт и магнитным потоком возбуждения Фвт.



**Дополнения и исправления к графу !!!!!:**

1) В начале прямой цепи между вершинами **Uрас** и **Uвг** ввести еще одну вершину – Iя;

2) В начале прямой цепи между вершинами **Фвг** и **Uя** ввести еще одну вершину – **Uг**;

3) Стрелку ребра с вненей вершиной **** (см. прямую цепь) сдвинуть на одно ребро прямой цепи, параллельно самой себе влево и совместить с внутренней вершиной**Uг**

4) Стрелку, входящую в вершину Iя на прямой цепи переместиь влево до вершины Uя,

5) На графе пунктирно выделить ребра и вершины, принадлежащих каждому из функциональных элементов САР и обозначить, следуя обозначнию нарис.5;

Рис. 7. Сигнальный граф САР скорости вращения вала двигателя.

Рассмотрим теперь более ***подробно*** работу исследуемой САР, основываясь на её сигнальном графе. Пусть вначале якорь двигателя неподвижен. Напряжение Uвд, приложенное к обмотке возбуждения двигателя, вызывает в ней ток Iвд, который в свою очередь создаёт магнитный поток возбуждения Фвд. Аналогично напряжение Uя, приложенное к якорю, вызывает протекание по обмотке якоря тока Iген. Поскольку обмотка якоря находится в магнитном поле обмотки возбуждения, то взаимодействие тока Iген и магнитного потока Фвд создаёт вращающий момент Мд. Эта связь отражается на сигнальном графе рёбрами, ведущими от вершины Iген и Фвд к вершине Мд.

Момент Мд, возникающий в якоре двигателя, приводит к его вращению. Однако скорость вращения Ωдв определяется не одним лишь движущим моментом Мд, но и ЭДС *E*si, поэтому в вершину Ωдв ведут два ребра: от вершины Мд и *Esi*.

Итак, якорь двигателя приведён во вращение. Но теперь витки его вращающейся обмотки пересекают силовые линии магнитного поля возбуждения, поэтому в якорной обмотке наводится ЭДС *Еsi*, направленная противоположно напряжению *Eген*, вызвавшему протекание тока Iген и, в конечном итоге, вращение якоря. Эта ЭДС, называемая противо-ЭДС якоря, частично компенсирует исходное напряжение Uген, что приводит к уменьшению тока якоря Iген. Поэтому в вершину Iген ведут два ребра: от вершин *Еsi* и *Еген*. В свою очередь величина противо-ЭДС *Еsi* зависит от скорости вращения якоря Ωдв и от величины магнитного потока возбуждения Фвд, что отражается на сигнальном графе рёбрами, ведущими от вершин Ωвд и Фвд в вершину Еsi.

Такая детальная и последовательно развернутая картина (путем введения действий) позволяет еще раз взглянуть на весь процесс перехода от сигнального графа к математическому описанию в целом, чтобы, рассуждая ***от противного***, решить, можно ли, исключив какую-либо из операций, считать, что уравнение запи­сано действительно осмысленно, а не формально.

***Вопросы:***

1. Что называется управлением? Приведите на примере системы по теме индивидуального задания (см. Альбом индивидуальных заданий).

2. Что понимается под структурной схемой системы. Приведите пример

3. Что понимается под технической структурной схемой системы? Приведите пример.

4. Почему разработка функциональной модели является ***первым шагом*** на пути автоматизации?

5. Что называется автоматическим управлением? Что называется системой автоматического управления?

6. Что является основной задачей автоматического управления?

7. Что называется объектом управления?

8. Что называется управляемой величиной?

9. Что называется управляющим органом?

10. Что называется чувствительным элементом?

11. Что такое входная и выходная величины?

12. Что называется управляющим воздействием?

13. Что называется возмущением?

14. Что называется отклонением от заданной величины?

15. Что называется управляющим устройством?

16. Что называется задающим устройством?

17. Что называется функциональной схемой и из чего она состоит?

18. В чем отличие сигнала от физической величины?

19. Какова задача исполнительного элемента?

20. Что понимается под корректирующим устройством?

21. С какой целью строится функциональная модель САУ?

22. Как принято представлять функциональную структурную схему?

23. Что понимается под прямой цепью функциональной структурной схемы?

24. Что понимается под функциональным звеном ?