

Аналитические методы синтеза цифровых следящих систем

Конспект лекций

Лекция 1.

Основные понятия и определения теории автоматического управления (ТАУ) и систем автоматического управления (САУ).

Понятия математической модели, валидации и верификации модели.

Понятие структуры САУ.

Типы САУ: стабилизации, программного управления, слежения.

Основные понятия и определения

Система – это совокупность взаимодействующих, взаимосвязанных элементов.

Управление – это такая организация того или иного процесса, которая обеспечивает достижение поставленных целей. Если управление осуществляет человек, то управление называют **ручным, неавтоматическим, автоматизированным**. Управление называют **автоматическим**, если оно происходит без непосредственного участия человека.

В технике управлением называют целенаправленное воздействие на какое-либо устройство, объект.

Автоматическое управление – это осуществление некоторой совокупности действий, направленных на изменение по некоторому закону управляемой величины или на улучшение протекания управляемого процесса в соответствии с целью управления.

При автоматическом управлении закон управления формируется без участия человека. Системы, реализующие автоматическое управление, называются **системами автоматического управления (САУ)**.

Теория автоматического управления (ТАУ) - наука, изучающая принципы построения систем автоматического управления, *законы автоматического управления*, а также *методы анализа, синтеза и идентификации* систем автоматического управления.

Основные понятия и определения

Задача управления заключается в формировании требуемого для достижения цели *закона управления*. Кроме того, управление можно рассматривать как целенаправленное воздействие на объект управления, в результате которого последний переходит в требуемое состояние.

Необходимыми условиями управления являются наличие **объекта управления** и **цели управления**.

Объект управления – это часть окружающего нас мира, на которую можно воздействовать с определенной целью.

В технике под объектом управления подразумевается техническое устройство или технологический процесс, некоторые физические величины которого подлежат стабилизации или целенаправленным изменениям.

Цель управления – соотношения значений координат процессов в объекте управления или их изменения во времени, при которых обеспечивается достижение желаемых результатов функционирования объекта управления или всей системы в целом.

Функция системы – правило достижения поставленной цели, описывающее поведение системы и направленное на получение результатов, предписанных назначением системы.

Функционирование системы – проявление функций и реакции системы во времени, означает переход системы из одного состояния в другое, т.е. движение в пространстве состояний, в условиях воздействий, порождаемых как в самой системе, так и действующих со стороны внешней среды.

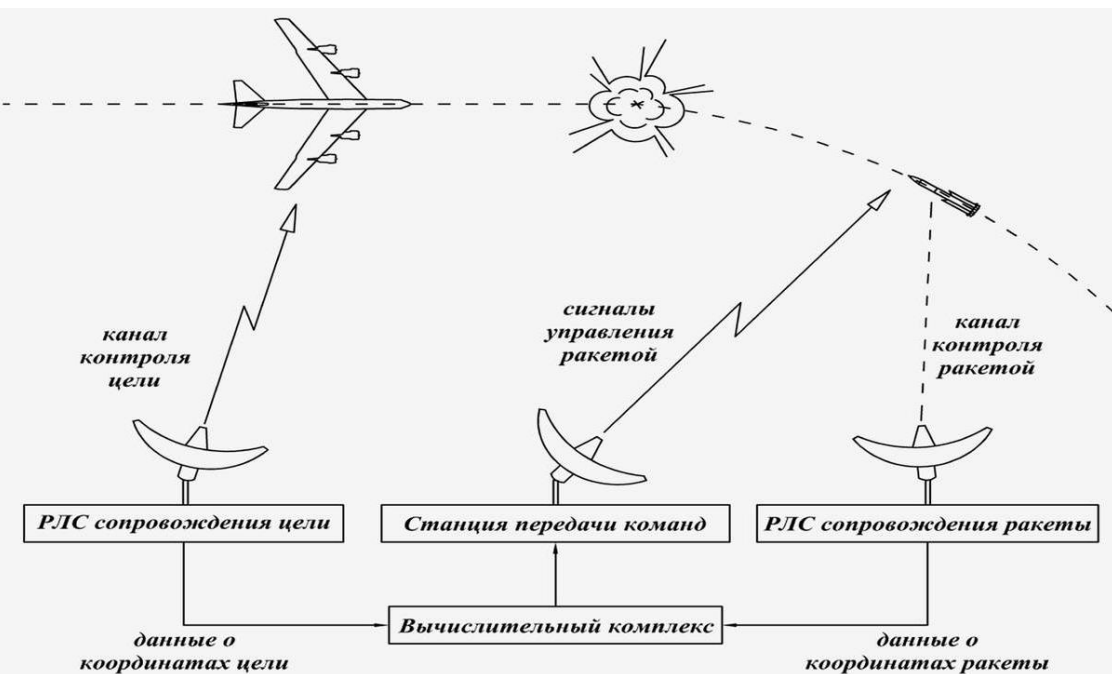
Внешняя среда – это множество существующих вне системы элементов любой природы, оказывающих влияние на систему или находящихся под ее влиянием.

Основные понятия и определения. Примеры

1. Управление летательным аппаратом.

Объект управления — летательный аппарат (ракета). Цель управления — поражение цели, т.е. обеспечение встречи ракеты с целью.

Из бесконечного количества возможных траекторий сближения ракеты с целью на практике выбирают только такие, полет по которым выполняется, с одной стороны, с помощью достаточно простых технических средств, а с другой — обеспечивается максимальная вероятность поражения цели. При реализации процесса наведения движение ракеты должно быть определенным образом ограничено, т.е. на движение ракеты должны быть наложены связи. Таким образом, в рассматриваемом процессе *параметры движения должны изменяться по определенным законам, обеспечивающим встречу ракеты с целью* [64].



2. Сопровождение динамических объектов оптико-электронными средствами (ОЭС).

Объект управления – ОЭС.

Цель управления – «захватить» объект в поле зрения ОЭС и «взять» на сопровождение с выдачей точных целеуказаний взаимодействующим системам с минимизацией вероятности «срыва» сопровождения при маневрах объектов.

Слежение за объектом оптико-электронными средствами (ОЭС)



Объект на фото-приемном устройстве (ФПУ)



Основные понятия и определения

Главное, чем интересуется теория управления, это движение систем (в т.ч. объектов управления).

Динамическая система - объект или процесс, для которого определено понятие состояния и на множестве всех состояний определено взаимно однозначное отображение в некоторую область n – **мерного** действительного пространства. Эта область называется **фазовым пространством (или пространством состояний) динамической системы**. Изменению состояний динамической системы соответствует движение точки в фазовом пространстве.

Состояние динамической системы – это совокупность факторов, координат или переменных, характеризующих однозначно и полно все движения системы. Под состоянием динамической системы можно понимать также память системы, то есть способность системы хранить информацию о собственном поведении.

При этом под движениями системы понимаются любые изменения её состояния во времени. В дальнейшем состояние системы (т.е. ее движения) будут характеризоваться совокупностью **переменных состояния**. Число переменных состояния, необходимых для полного и однозначного описания состояния системы на всем временном интервале ее существования, называется **порядком динамической системы** и обозначается буквой n .

Примером переменных состояния при движении какой-либо динамической системы можем считать следующие параметры движения: координата, скорость, ускорение, рывок и т.д.

Основные понятия и определения. Системный подход

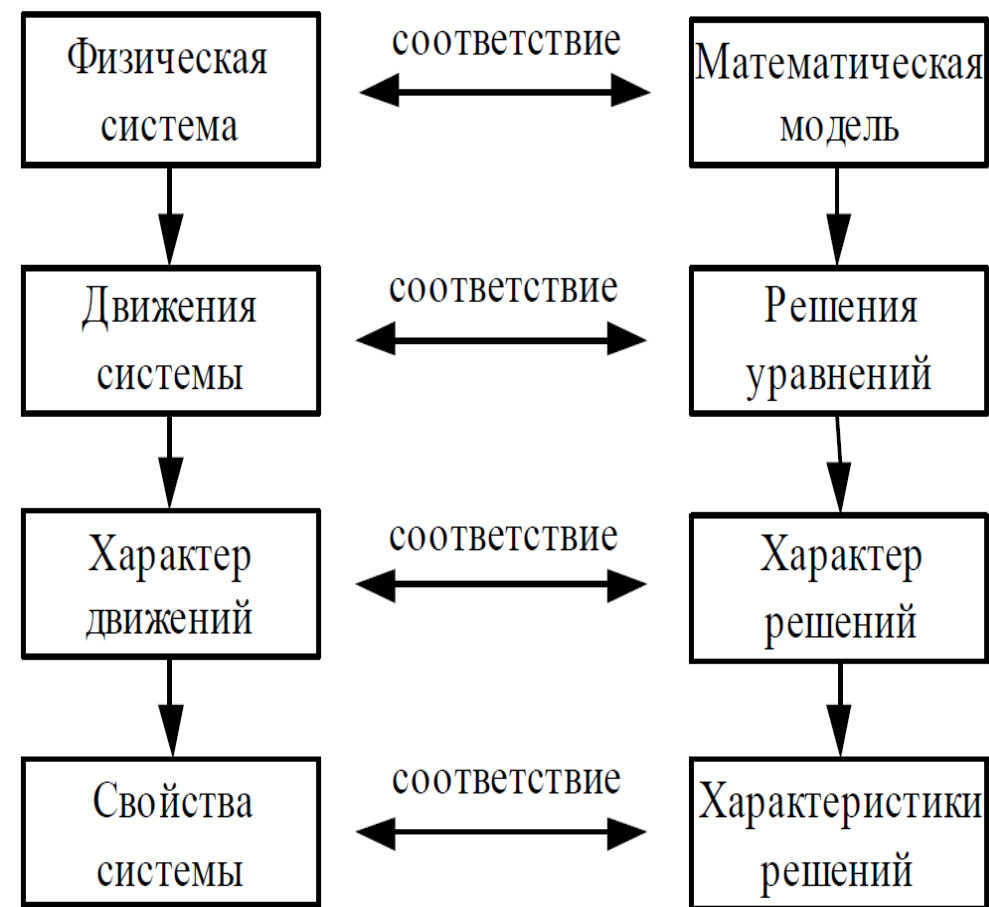
Суть системного подхода в теории управления заключается в том, что вместо изучения реальных систем, во всем их разнообразии, изучаются математические модели этих систем.

Главным обоснованием целесообразности применения системного подхода является тот факт, что мир, в котором мы живем, устроен так, что движения реальных систем могут быть описаны (с приемлемой для практики точностью) решениями некоторых математических уравнений.

Эти уравнения образуют **математическую модель системы**. В системном подходе реальной динамической системе ставится в соответствие (см. рис.), её математическая модель, как эквивалент данной системы. При этом численные значения и характер решений уравнений математической модели соответствуют, в некотором масштабе, характеру движений исследуемой системы. Поэтому характеристики решений, такие как амплитуда и частота колебаний, время затухания и т.п. соответствуют аналогичным характеристикам движений реальной динамической системы.

Число моделей невелико по сравнению с числом реальных объектов, поэтому, изучив свойства математических моделей, характер решений их уравнений, взаимосвязи между структурой модели и характером решений, можно сделать выводы о свойствах реальных или еще только создаваемых динамических систем.

Вообще говоря, модели систем могут отражать различные свойства систем, а не только их движения.



Основные понятия и определения. Математическая модель

Математическая модель – приближенное описание поведения реальной системы, представленное в виде математических символов и выражений, отражающие все ее информационные свойства.

Математические модели могут быть представлены различными математическими описаниями:

- действительными или комплексными величинами;
- векторами, матрицами, множествами;
- геометрическими образами;
- неравенствами, функциями и функционалами,;
- алгебраическими, разностными, дифференциальными и интегральными уравнениями и т.п.

Поясним разницу такого описания на примере дифференциальных (ДУ) и разностных уравнений (РУ):

- *линейные* системы описываются *линейными* ДУ;
- *нелинейные* системы – *нелинейными* ДУ;
- *непрерывные* системы описываются ДУ;
- *дискретные* и *цифровые* системы – РУ;
- *стационарные* системы описываются ДУ и РУ с *постоянными коэффициентами*;
- *нестационарные* – ДУ и РУ с *переменными коэффициентами*;
- *детерминированные* системы описываются ДУ и РУ, коэффициенты которых являются *детерминированными величинами или функциями времени*;
- *стохастические* системы – *стохастическими* ДУ и РУ.

Математическая модель (ММ) — это приближенное описание изучаемого явления или объекта, выраженное с помощью математической символики. ММ — мощный метод познания явлений и объектов. Важным этапом построения ММ является формирование законов, определяющих процессы, протекающие в объектах. Этот этап требует широкого знания фактов, относящихся к изучаемым явлениям и глубокого проникновения в их взаимосвязи.

Переход от физической к математической модели позволяет проводить изучение объекта с использованием количественной формализации, абстрактных представлений об объекте. Такая количественная формализация обычно задается оператором объекта, причем понятием оператора объединяются любые математические операции: все алгебраические действия, дифференцирование, интегрирование, сдвиг во времени, решение дифференциальных, интегральных, алгебраических и любых других функциональных уравнений, а также любые логические действия. Задать оператор объекта — это означает задать совокупность действий, которые надо осуществить над входной функцией, чтобы получить выходной процесс.

Очень многие ММ, лишившись физической или технической оболочки, приобретают универсальность, т.е. способность количественного описания различных по своей природе процессов или по техническому назначению объектов. В этом проявляется одно из важнейших свойств математической формализации предмета исследования, благодаря которому при постановке и решении новых прикладных задач в большинстве случаев не требуется создавать новый математический аппарат, а можно воспользоваться существующим. Таким образом, одна ММ может быть использована для решения большого числа частных, конкретных задач, и в этом смысле она выражает одно из главных практических назначений теории [69].

Основные понятия и определения. Математическое моделирование, валидация и верификация моделей

Математическое моделирование - исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения, применения и изучения их математических моделей

Процесс математического моделирования можно подразделить **на пять этапов**:

первый — формулирование законов, связывающих основные объекты модели;

второй — исследование математических задач, к которым приводит математическая модель;

третий — верификация модели;

четвертый — валидация модели;

пятый — последующий анализ модели в связи с накоплением данных об изучаемых явлениях и модернизация (уточнение) модели.

Верификация модели

Валидация модели

Подтверждение корректности решения уравнений математической модели

Подтверждение адекватности математической модели моделируемому объекту

Процесс определения соответствия модели (математической модели, компьютерной модели, программы) изложенной математике.
Верификация обеспечивает обоснование того, что модель в заявленной области применения (с учетом заданного математического приближения физических процессов) позволяет правильно и с определенной точностью вычислять математику.

Процесс определения соответствия модели (математической модели, компьютерной модели, программы) реальному миру.
Валидация обеспечивает обоснование того, что модель в заявленной области применения позволяет правильно и с определенной точностью моделировать реальные процессы.

Основные понятия и определения. Структура системы автоматического управления

Структура системы – совокупность ее элементов и связей между ними.

Графическое изображение, отражающее элементы системы, математические преобразования переменных в этих элементах, связи элементов между собою, а также входные воздействия и выходные величины или переменные, называется **структурной (функциональной – при более детальном описании) схемой системы**.

Элементы структурной (функциональной) схемы системы – структурные (функциональные) блоки, соответствующих реальным функциональным элементам системы и имеющие условное графическое обозначение (УГО). УГО может быть в виде условных прямоугольников (наиболее простое обозначение), а может быть с УГО основного физического или математического преобразования.

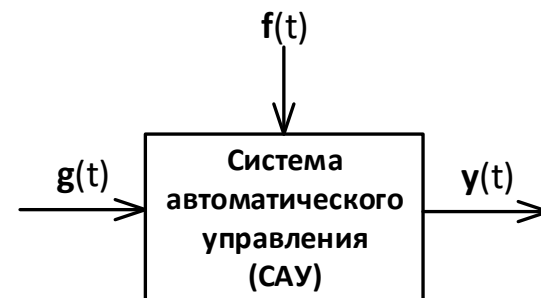
Связи между структурными (функциональными) элементами системы – сигналы, поступающие на элементы системы, обозначаемые стрелками.

Сигналами называются физические процессы, параметры которых содержат информацию. Например, в телефонной линии при помощи электрических сигналов передается речь, а в телевидении – изображение.

Параметры сигнала, содержащие информацию, называются **информационными параметрами динамической системы**.

Например, сигнал – электрическое напряжение, информационный параметр – амплитуда сигнала.

Пример: наиболее простая структурная схема САУ



Здесь $g(t)$, $y(t)$, $f(t)$ - сигналы.

$g(t)$ – набор (вектор) задающих воздействий, которые определяют желаемый характер изменения управляемых (выходных) величин (переменных).

$y(t)$ – набор (вектор) управляемых (выходных) величин (переменных) САУ. Служит для оценки хода управляемого процесса.

$f(t)$ – набор (вектор) возмущающих воздействий, описывающих такие влияния среды и окружения на систему, которые вызывают отклонения хода управляемого процесса от желаемого.

Основные понятия и определения. Задачи и типы систем автоматического управления

Задача САУ	Задача стабилизации	Задача программного управления	Задача слежения
Тип САУ	Системы автоматической стабилизации (системы автоматического регулирования - САР)	Автоматические системы программного управления	Система слежения или Следящие системы (СС)
Задающее воздействие	$g(t) = \text{const}$, заданные постоянные уставки	$g(t)$ – изменяется по заранее известному закону <i>Обычно этот закон называется программой, так как он повторяется с каждым началом процесса.</i>	$g(t)$ - изменяется по заранее неизвестному закону
Примеры	<ul style="list-style-type: none">Система регулирования скорости вращения электрического генератора;Бытовой стабилизатор напряжения или тока.	<ul style="list-style-type: none">Система управления (воспроизведения) циклограммы изменения температуры печи для отжига деталей из разных сортов стали. Вид циклограммы воспроизводится программой, являющейся задающим устройством для системы управления, и вид ее выбирается в зависимости от сорта стали;Системы программного управления широко применяются на производстве, при управлении подвижными объектами (запуск ракет, беспилотных летательных аппаратов, автоматических зондов).	<ul style="list-style-type: none">Системы стабилизации площадок для гироскопов, для артиллерийских установок на кораблях, системы наведения ракет.Системы управления радиолокационными антеннами, телескопами и т.д.