

**УПРАВЛЕНИЕ
В
БИОТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ**

Новожилов Игорь Михайлович

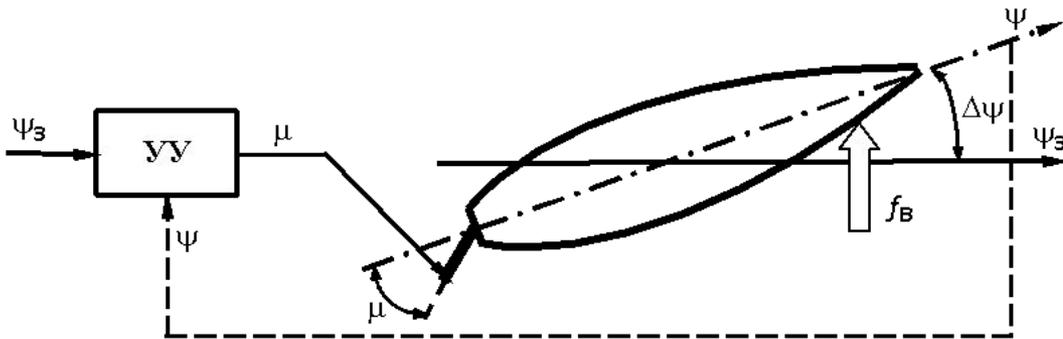
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ. ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ.

1.1. Понятия об управлении и системах управления. Составляющие процесса управления

Под *управлением* будем понимать совокупность мероприятий по организации процесса для достижения поставленной цели.

Необходимые составляющие процесса управления рассмотрим на примере движения судна

Целью процесса управления в данном случае является поддержание *объектом управления (ОУ)* заданного курса ψ_3 .



При движении ОУ (судно) подвергается **возмущающему воздействию f_v** (волны, порывы ветра), в результате чего текущий курс ψ в некоторый момент времени будет отличаться от заданного ψ_3 .

Информация о цели и о текущем состоянии процесса управления поступает на **управляющее устройство (УУ)**.

В УУ сравниваются цель и текущее состояние, оценивается их **рассогласование $\Delta\psi$** и вырабатывается **управляющее воздействие μ** на регулирующий орган ОУ.

В данном случае регулирующий орган ОУ – руль; управляющее воздействие μ – угол поворота руля.

УУ “принимает решение”, т. е. вырабатывает управляющее воздействие на основе величины рассогласования и в соответствии с определенным алгоритмом – *законом управления*.

Управляющее воздействие должно минимизировать рассогласование между целью и состоянием процесса управления с заданной точностью и за требуемое время.

Рассмотренный пример содержит все необходимые аспекты, то есть все перечисленные ниже составляющие процесса управления любым объектом.

1. Наличие четко формализованной цели управления. В данном случае это – требуемый курс судна ψ_3 .

2. Контроль за текущим состоянием процесса управления. В данном случае это – истинный курс судна ψ .

3. Сопоставление цели и состояния процесса, оценка рассогласования и принятие решения, то есть выработка управляющего воздействия.

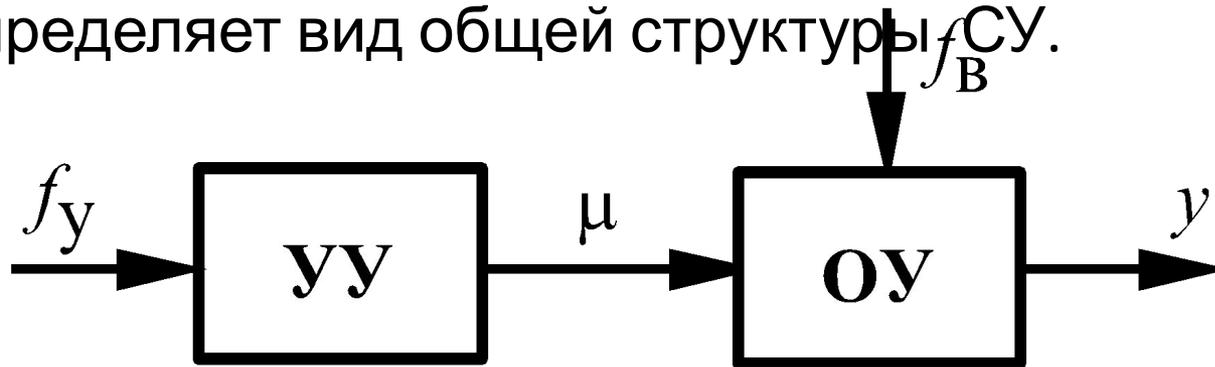
4. Исполнение решения – непосредственное действие на регулирующий орган ОУ.

Отсутствие хотя бы одной из перечисленных составляющих или их неправильная организация делают невозможным осуществление процесса управления либо вообще, либо – с достаточно высоким качеством

Для организации процесса управления конкретным объектом помимо УУ необходимы измерительные устройства для получения информации о текущем состоянии, а также усилительно-преобразовательные устройства и исполнительные механизмы, назначением которых является согласование сигналов по физической природе, по мощности и динамическому диапазону. Все эти взаимосвязанные и взаимодействующие функциональные устройства в совокупности с ОУ и образуют *систему управления* (СУ).

1.2. Принципы управления

Несмотря на многообразие ОУ, можно сформулировать лишь несколько основополагающих **принципов управления**. Реализация того или иного принципа управления определяет вид общей структуры СУ.



Независимо от того, как организован процесс управления, в любой СУ должен присутствовать прямой канал передачи управляющего воздействия f_y к той выходной координате y , которая должна это управляющее воздействие “воспроизводить”

Принципы управления разделяются по **способу контроля** за текущим состоянием процесса управления.

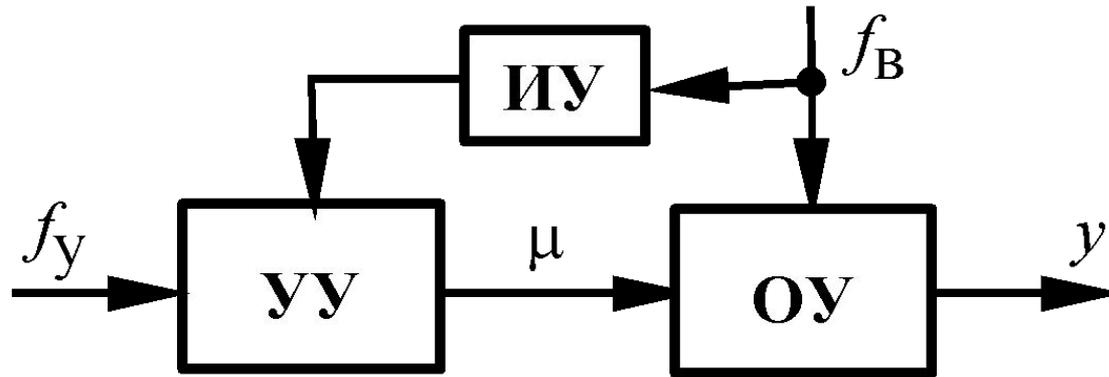
1. Принцип разомкнутого управления

По существу, здесь не производится учет текущей информации о состоянии процесса управления.

Принцип разомкнутого управления может быть использован только в тех случаях, когда сигнальное возмущающее воздействие f_v незначительно, вариации параметров (параметрические возмущения) всех функциональных устройств также малы, математическое описание СУ известно и

достоверно, а требования к качеству процесса *Таким образом, использование принципа управления не слишком высоки.*
разомкнутого управления ограничено.

2. Принцип компенсации

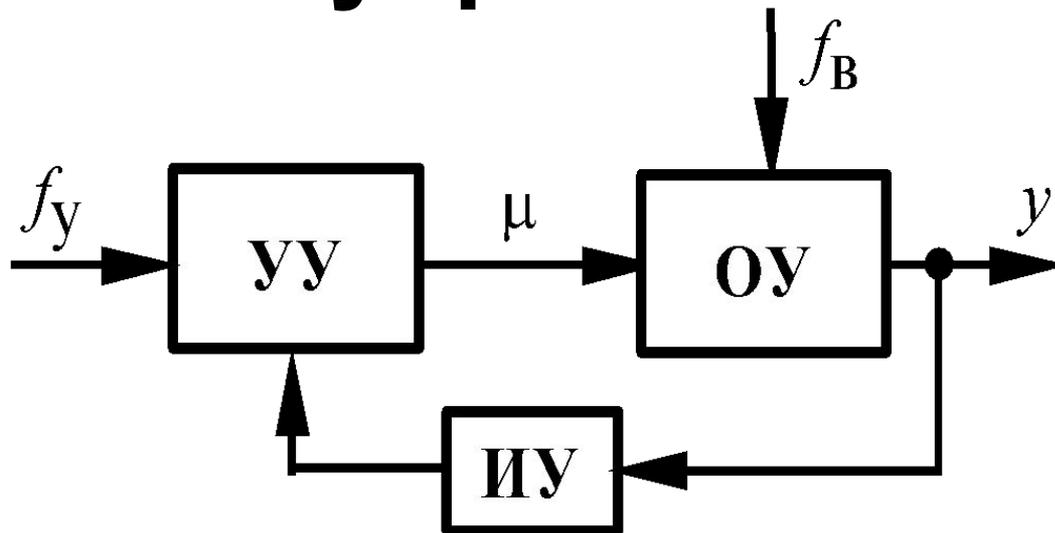


При реализации принципа компенсации учет информации о текущем состоянии процесса управления производится путем *непосредственного измерения возмущающего воздействия*

Структурной особенностью СУ, реализующих принцип компенсации, является наличие на структурной схеме модели дополнительного пути прохождения возмущающего воздействия. Принцип компенсации возмущения используется в тех случаях, когда имеется глобальное (по сравнению с другими) и поддающееся измерению сигнальное возмущение.

Очевидно, что влияние параметрических возмущений и неопределенность параметров операторов функциональных звеньев в данном случае не учитываются, не ослабляются и непосредственно ухудшают качество процесса управления.

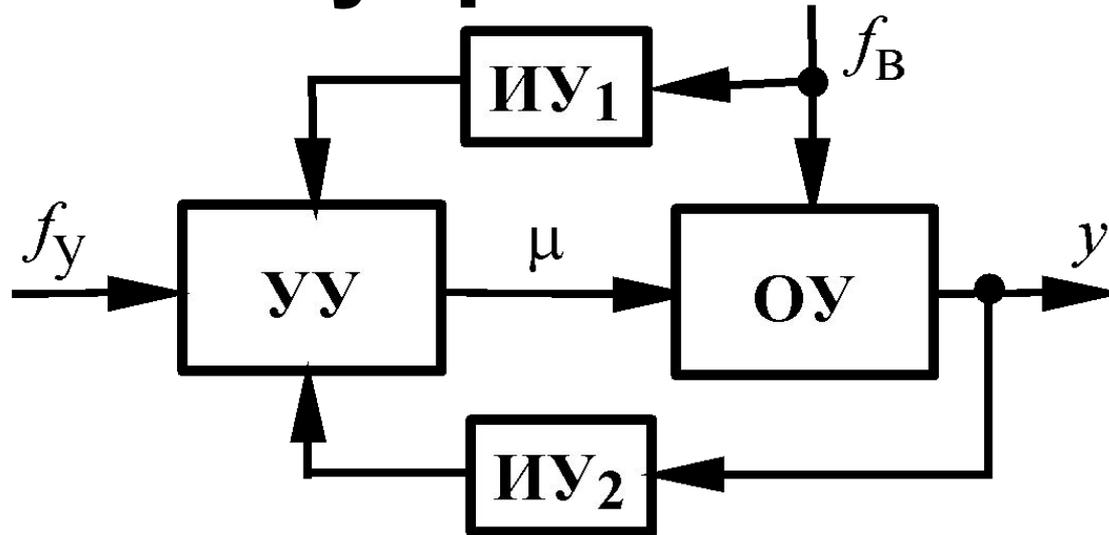
3. Принцип замкнутого управления



При реализации этого принципа учет информации о текущем состоянии процесса управления производится путем *непосредственного измерения управляемой координаты*

Структурной особенностью СУ, реализующих принцип замкнутого управления, является наличие на структурной схеме модели системы замкнутого пути – *контура*, образуемого при передаче текущей информации от управляемой координаты к УУ. Поэтому такой принцип управления называется также *принципом обратной связи*.

4. Принцип комбинированного управления



Этот принцип является комбинацией (объединением) принципов компенсации и замкнутого управления

Существенной особенностью замкнутого управления является то обстоятельство, что не имеют значения причины, вызвавшие отклонение процесса от цели управления. Ими могут являться множество сигнальных и параметрических возмущений, неточность математического описания функциональных звеньев. В связи с этим рассматриваемый принцип более универсален и получил

Следует отметить, что выработка УУ нового управляющего воздействия для реагирования на изменившееся текущее состояние может произойти только после факта отклонения текущего состояния от цели и появления рассогласования. Поэтому такой принцип управления называется также управлением по отклонению.

Комбинированный принцип целесообразно использовать при высоких требованиях к качеству процесса управления и в том случае, если есть преобладающее и доступное измерению сигнальное возмущение. Это возмущение компенсируется созданием дополнительного пути, а влияние всех остальных неучтенных сигнальных и параметрических возмущений уменьшается контуром отрицательной обратной связи.

1.3. Классификация систем управления

В основе любой классификации лежат *признаки*, по которым множество объектов подразделяется на подмножества – классы.

Системы управления можно классифицировать по различным признакам. Рассмотрим следующие признаки классификации:

информационный, по типу сигналов, алгоритмический, энергетический.

Классификация систем управления по информационному признаку

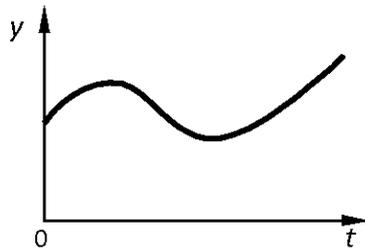
В этом случае СУ подразделяются по способу получения текущей информации о состоянии процесса управления.

Поэтому рассматриваемая классификация подразделяет СУ как раз в соответствии с принципами управления

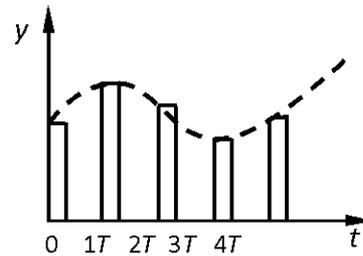
Классификация систем управления по типу сигналов

Используемые в теории управления модели СУ как правило абстрагированы от физической природы сигналов. Сигналы (*координаты, переменные*) на входах и выходах функциональных звеньев рассматриваются как носители информации, а сами звенья – как преобразователи этих сигналов. Преобразование сигнала некоторым звеном производится в соответствии с

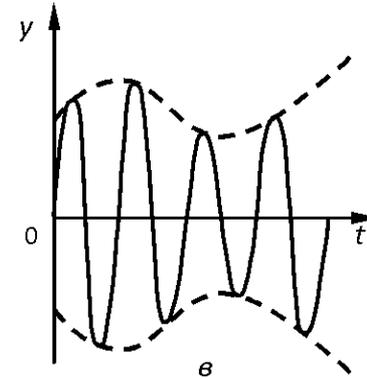
Непрерывные системы. В них информация кодируется уровнем (значением) функции непрерывного времени см. рис. а



а



б



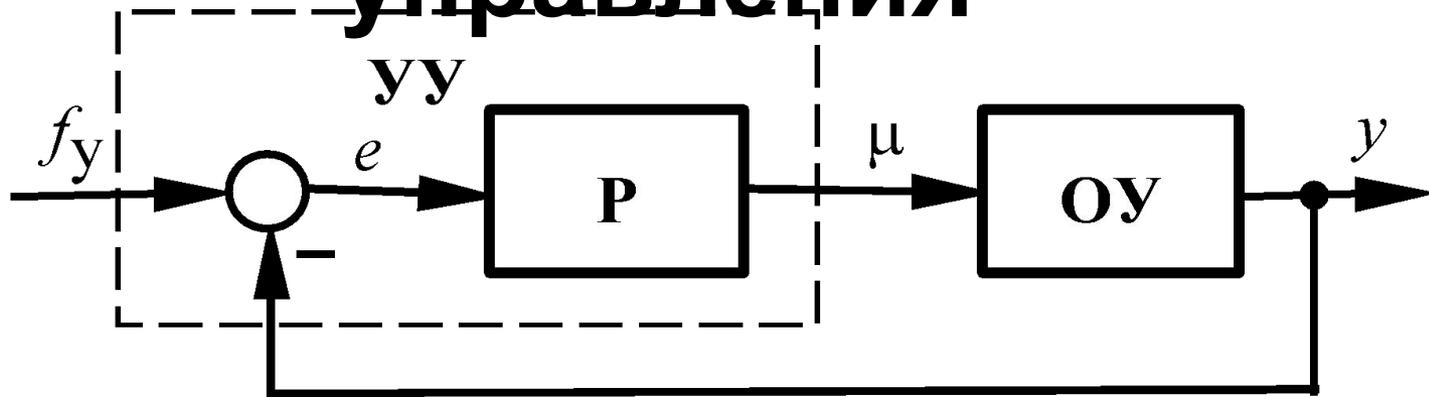
в

Цифровые системы. В них все переменные или их часть представляют собой дискретные сигналы. Квантование, или дискретизация сигналов может производиться как по уровню, так и по

На рис. б приведен пример квантования непрерывного сигнала с одинаковыми периодом следования T и длительностью импульсов, амплитуда которых несет информацию о значениях непрерывного сигнала (так называемая *амплитудно-импульсная модуляция*).

***Системы переменного тока.* Информация кодируется амплитудой переменного тока, то есть огибающей несущего сигнала – см. рис.в.**

Классификация систем управления по алгоритмам управления



Типовая структура СУ с единичной отрицательной обратной связью.

Единичная обратная связь означает, что вся информация о выходной координате передается на элемент сравнения, который образует ошибку рассогласования $e(t) = f_y(t) - y(t)$.

Регулятор P на основе информации об ошибке, т. е. по величине рассогласования цели (задающего воздействия $f_y(t)$) и текущего состояния (управляемой координаты $y(t)$) вырабатывает управляющее воздействие μ на ОУ. Регулятор функционирует в соответствии с заложенным в него алгоритмом, называемым *законом управления* (законом регулирования).

Рассмотрим наиболее распространенные
– типовые законы управления для
непрерывных СУ

Пропорциональный закон (П-закон).

Воздействие на объект прямо-
пропорционально рассогласованию:

$$\mu(t) = k_p e(t).$$

Интегральный закон (И-закон). Уровень
воздействия на объект определяется
суммарной ошибкой:

$$\mu(t) = k_I \int_0^t e(\tau) d\tau + \mu_0$$

Если продифференцировать выражение, то получим соотношение $d\mu(t)/dt = kI e(t)$, которое показывает, что величина ошибки определяет скорость изменения управляющего воздействия. Отличительной особенностью И-закона управления является то обстоятельство, что установившиеся процессы в СУ могут существовать только при $e(t) = 0$.

Пропорционально-интегральный закон (ПИ-закон). Представляет собой комбинацию первых двух:

$$\mu(t) = k_p e(t) + k_I \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Пропорционально-интегрально-дифференциальный закон (ПИД-закон). В дополнение к ПИ-закону формирует управляющее воздействие также и с учетом скорости изменения ошибки:

$$\mu(t) = k_p e(t) + k_I \int_0^t e(\tau) d\tau + k_D \frac{de(t)}{dt}$$

Классификация систем управления по

энергетическому признаку

В зависимости от того, не используется или используется дополнительная (сторонняя) энергия для реализации (исполнения) принятого управляющим устройством решения, СУ подразделяются на **системы прямого регулирования** и **системы непрямого регулирования** (управления).

В системах прямого управления отбираемая измерительным устройством энергия достаточна для оказания воздействия на регулирующий орган объекта. При этом часто такие функциональные элементы, как ИУ, УУ (вместе с элементом сравнения) и исполнительный механизм, оказываются конструктивно объединенными.

В системах непрямого управления функционально разделяются функции измерения (контроля за текущим состоянием процесса), принятия решения управляющим устройством (быть может, по сложному алгоритму) и исполнения решения. Для последней составляющей используются специальные исполнительные устройства и механизмы (*сервоприводы*), целью которых является преобразование управляющего сигнала по физической природе и усиление по величине и мощности.

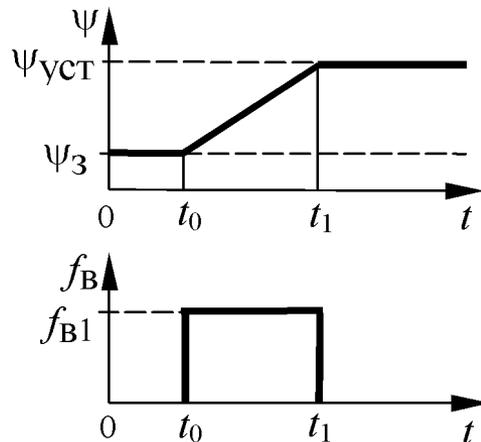
По виду используемой энергии различают электрические, механические, гидравлические, электрогидравлические и другие СУ.

1.4. Поведение объектов и систем управления

Теория управления оперирует математическими моделями объектов и СУ, которые описывают поведение систем, то есть их реакцию на управляющие и возмущающие воздействия. Как уже говорилось, функционирующие в этих моделях сигналы (координаты, переменные) в большинстве случаев абстрагированы от их физической природы. Это позволяет описывать и обобщать закономерности поведения в объектах и системах различного функционального назначения.

Поведение объектов управления.

Рассмотрим отдельно поведение судна как объекта управления без системы управления

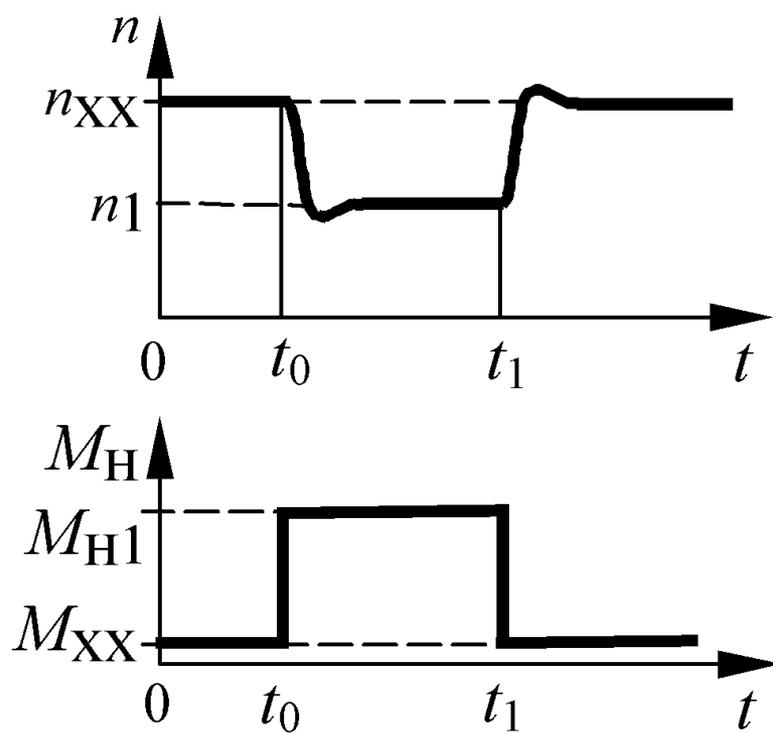


Будем считать, что управляющее воздействие на объект не меняется (руль судна закреплен). До момента времени t_0 судно двигалось курсом ψ , совпадающим с

заданным ψ_3 . Пусть на этот объект с момента времени t_0 и до t_1 подействовало постоянное возмущение f_{B1} (боковой ветер), отклоняющее его с заданного курса ψ_3 . Отклонение текущего курса ψ от заданного будет возрастать – накапливаться, т. е. интегрироваться.

При прекращении действия возмущения (момент времени t_1) новый установившийся курс ψ уст не изменится; объект сам по себе не придет в исходное состояние, то есть не вернется к заданному курсу. Такие объекты называются ***нейтральными***, или ***без самовыравнивания***.

Рассмотрим другой объект – электродвигатель. Будем считать, что на холостом ходу (без нагрузки на валу) на двигатель подано управление, обеспечивающее ему скорость вращения холостого хода n_{XX}

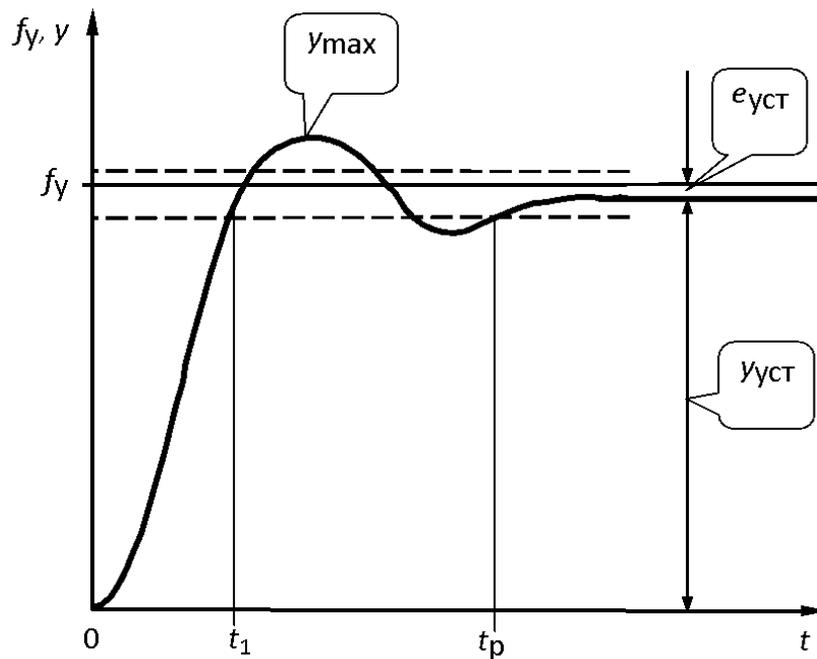


Будем также считать, что управляющее воздействие меняться не будет. В момент времени t_0 на валу двигателя произошло изменение нагрузки – момент сопротивления (нагрузки) возрос от M_{XX} до некоторой величины M_{H1} .

Это вызовет уменьшение скорости вращения, величина которой после окончания переходного процесса примет некоторое значение n_1 . После сброса нагрузки, то есть после прекращения действия возмущения (момент времени t_1) скорость вращения двигателя вернется к значению, существовавшему до приложения возмущения. Считается, что объекты такого типа обладают **самовыравниванием** и называются **устойчивыми**.

Поведение систем управления. Каждый объект при функционировании должен иметь требуемое поведение. Для нейтрального и, тем более, неустойчивого объекта следует добиться устойчивого поведения. Кроме этого, необходимо обеспечить инвариантность (независимость) или малую чувствительность управляемых координат к сигнальным и параметрическим возмущениям. Например, для рассмотренного примера электродвигателя может быть сформулировано требование в установившемся режиме уменьшить до малой величины (быть может, до нуля) отклонение между n_{xx} и n_1 . Переходный процесс как реакция на изменение входных воздействий также должен заканчиваться за требуемое время и быть достаточно плавным.

Реакция некоторой устойчивой СУ на входное управляющее воздействие, которое в момент времени $t = 0$ изменяется скачком от нуля до величины $f_y = \text{Const}$.



Можно выделить две составляющие реакции СУ на входной сигнал: переходный режим (переходный процесс) и установившийся режим. Время окончания переходного процесса – *время регулирования* t_p – определяют как момент последнего вхождения в некоторую зону, которая обычно составляет 5 % от установившегося значения $u_{уст}$

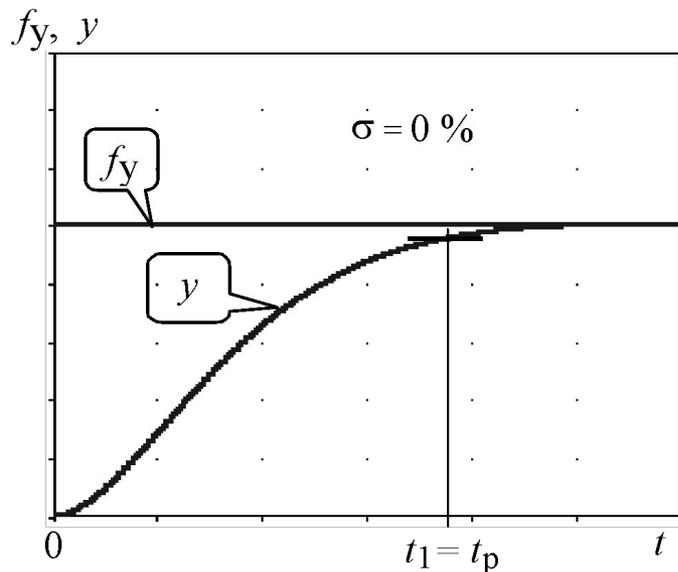
Установившаяся ошибка $e_{уст} = f_y - y_{уст}$ характеризует точность СУ в установившемся режиме.

Динамика СУ (переходный режим) характеризуется быстродействием системы и склонностью процесса к колебательности.

Склонность к колебательности оценивается *перерегулированием*

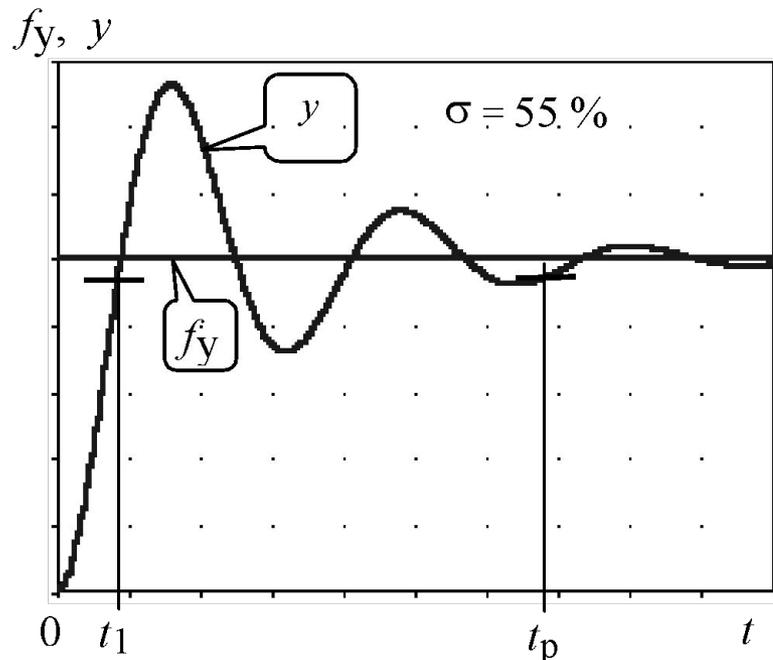
$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_{уст}}{y_{уст}} \cdot 100\% \quad \bullet$$

Если под быстродействием понимать скорость изменения выходной координаты при реакции на входное воздействие, то может быть также использован показатель качества *время первого согласования* t_1 , т. е. время первого вхождения в зону % от установившегося значения $u_{уст}$.



Очевидно, что для процессов с перерегулированием $\sigma < 5\%$, выполняется $t_p = t_1$

Если процесс не имеет перерегулирования, т. е. $\sigma = 0$, то процесс называется *апериодическим*;



Для $\sigma \geq 5\%$ имеем $t_p > t_1$. При значительной колебательности процесса показатели динамики t_1 и t_p находятся в

противоречии, то есть для достаточно быстродействующей системы время окончания процесса может значительно превосходить время первого согласования

Показатели качества систем управления.

Происходящие в динамических системах процессы оцениваются различными показателями качества (критериями), которые характеризуют свойства систем с разных сторон. В этом разделе выше рассмотрены следующие показатели качества: **время первого согласования t_1 , время регулирования t_p , перерегулирование σ , установившаяся ошибка $e_{уст}$** . Все эти критерии оценивают временные процессы, т. е. реакции на входные воздействия и, таким образом, непосредственно характеризуют поведение СУ.

1.5. Задачи теории управления

Анализ направлен на выявление свойств поведения СУ и оценку этих свойств с использованием различных критериев – показателей качества. Кроме констатации свойств СУ анализ должен также объяснять зависимость свойств и характеристик от организации системы (ее внутренней структуры), от вида операторов и значений параметров отдельных звеньев.

Синтез направлен на формирование структуры системы для реализации выбранного принципа управления, формирование алгоритма управляющего устройства, а также включает в себя определение и расчет операторов регуляторов и корректирующих звеньев для обеспечения требуемого поведения СУ.