

# Теория автоматического управления

# Цель изучения дисциплины

- Обучение студентов основам теории автоматического управления, необходимым при проектировании, исследовании, производстве и эксплуатации систем и средств автоматизации и управления

# Задачи изучения дисциплины:

освоение

- основных принципов построения систем автоматического управления,
- форм представления и преобразования моделей систем,
- методов анализа и синтеза систем управления.

# Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

- Дисциплина относится к базовой части образовательной программы.
- Общая трудоемкость 9 ЗЕ (324 час.)

Изучение дисциплины базируется на учебном материале следующих дисциплин:

- Математика
- Физика
- Общая электротехника и электроника
- Теоретическая механика
- Программирование и основы алгоритмизации

# Основные разделы математики:

- линейная алгебра,
- последовательности и ряды,
- дифференциальное и интегральное исчисление,
- преобразования Лапласа и Фурье,
- дифференциальные уравнения,
- функции комплексной переменной,
- численные методы,
- операционное исчисление

# Разделы физики

- физические основы механики,
- физика колебаний и волн,
- электричество и магнетизм

# Теория автоматического управления используется при изучении дисциплин:

- Моделирование систем,
- Средства автоматизации и управления,
- Проектирование систем управления,
- Автоматизация технологических процессов и производств,
- при выполнении индивидуальных заданий производственной практики, выпускной квалификационной работы.



# В результате освоения дисциплины Теория автоматического управления

студент должен **знать**:

- методологические основы функционирования, моделирования и синтеза систем автоматического управления (САУ),
- основные методы анализа САУ во временной и частотной областях,
- способы синтеза САУ,
- типовые пакеты прикладных программ анализа динамических систем.

# уметь:

- строить математические модели объектов и систем автоматического управления (САУ);
- проводить анализ САУ, оценивать статические и динамические характеристики;
- рассчитывать основные качественные показатели САУ;
- выполнять анализ устойчивости САУ, синтез регуляторов.

# **владеть:**

- принципами и методами анализа и синтеза САУ .

# Учебно-методическое и информационное обеспечение ДИСЦИПЛИНЫ

## Основная литература

- 1 Теория автоматического управления [текст]: учеб. для вузов / С.Е. Душин, [и др.]; под ред. В.Б.Яковлева.- М.: Высш. шк., 2003. - 567 с.: ил.
- 2 Теория автоматического управления [текст]: учеб. для вузов: в 2 ч. Теория линейных систем автоматического управления. /А.А.Воронов, [и др.]; под ред. А.А.Воронова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1986. Ч1 –  
• 367 с.: ил.
- 3 Теория автоматического управления [текст]: учеб. для вузов: в 2 ч. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления. / А.А.Воронов, [и др.]; под ред. А.А.Воронова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1986. Ч11 - 504 с.: ил.
- 4 Ким, Д.П. Теория автоматического управления [текст]: учеб. пособие: в 2 т. Линейные системы. /Д.П.Ким. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. Т1 – 288 с.: ил.
- 5 Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Т.2 Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. -2-е изд.испр. и доп. / Д.П.Ким. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. Т2 – 440 с.: ил.

# Дополнительная литература

- 1 Попов, Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления [текст]: учеб. пособие для вузов / Е.П.Попов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. – 304 с.: ил.
- 2 Попов, Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления [текст]: учеб. пособие / Е.П.Попов. – Изд. 2-е, стер. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 250 с.: ил.
- 3 Пантелеев, А.В. Теория управления в примерах и задачах [текст]: учеб. пособие / А.В.Пантелеев, А.С.Бортаковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 583 с.: ил.
- 4 Теория автоматического управления [текст]: учебник /Л.С.Гольдфарб, [и др.]; под ред. А.В.Нетушила. - М.: Высш. шк., 1967. - 424 с.: ил.
- 5 Теория автоматического управления. Нелинейные системы, управление при случайных воздействиях [текст]: учеб. для вузов / А.В. Нетушил, [и др.]; под ред. А.В.Нетушила. - М.: Высш. шк., 1983. - 432 с.: ил.
- 6 Иващенко, Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем [текст]: учеб. для вузов / Н.Н.Иващенко. - Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1973. - 608 с.: ил.
- 7 Чураков, Е.П. Оптимальные и адаптивные системы [текст]: учеб. пособие для вузов / Е.П.Чураков. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 256 с.: ил.
- 8 Теория автоматического управления [текст]: учеб. для машиностроит. спец. вузов / В.Н.Брюханов, [и др.]; под ред. Ю.М.Соломенцова. –М.: Высш. шк., 2000. - 268с.: ил.
- 9 Расчет автоматических систем [текст]: учеб. пособие / А.В. Вавилов [и др.]; под ред. А.А.Фатеева. - М.: Высш. шк., 1973. - 336 с.: ил.
- 10 Доррер, Г.А. Основы теории управления [текст]: учеб. пособие /Г.А. Доррер. – Красноярск, СибГТУ, 2003. – 228 с.: ил.

# Методические указания

- 1 Теория автоматического управления [текст]: методические указания по выполнению курсового проекта для студентов направления 657900 Автоматизированные технологии и производства, специальности 210200 Автоматизация технологических процессов и производств всех форм обучения / составитель Г.И.Чмых. – Красноярск, СибГТУ, 2003. – 52 с.
- 2 Теория автоматического управления [текст]: программа учебной дисциплины, контрольные задания и методические указания к их выполнению для студентов специальности 210200 заочного обучения / составитель Г.И. Чмых. – Красноярск : СибГТУ, 2005. – 48 с.
- 3 Чмых, Г.И. Теория автоматического управления: сборник задач для практических занятий и самостоятельной работы студентов специальности 220301 всех форм обучения. Ч.1/Г.И.Чмых. – Красноярск:СибГТУ,2007.- 56 с.
- 4 Чмых, Г.И. Теория автоматического управления: сборник задач для практических занятий и самостоятельной работы студентов специальности 220301 очной, заочной, заочной сокращенной форм обучения. Ч.2 /Г.И.Чмых. – Красноярск: СибГТУ, 2010.- 48 с.
- Чмых, Г.И. Теория автоматического управления: Часть 3: сборник задач для практических занятий и самостоятельной работы студентов специальности 220301 всех форм обучения / Г.И.Чмых. – Красноярск: СибГТУ, 20011.- 52 с.
- 3 Теория автоматического управления Исследование нелинейных систем автоматического управления [текст]: методические указания к выполнению расчетно-графической работы для студентов специальности 210200 очной формы обучения/ составитель Г.И.Чмых. – Красноярск: СибГТУ, 2006.– 36 с.

# Специализированное программное обеспечение

- VisSim 3.0 (Academic) - ПО для симуляции систем [Электронный ресурс]. – М.: Visual Solutions Inc, 2010 – 1 эл. опт. диск (CD-ROM);
- системное ПО : Microsoft Windows XP, прикладные программные средства: Microsoft Office

# Интернет- ресурсы

- Образовательный математический ресурс:  
[Электронный ресурс] – Режим доступа:  
[www.exponenta.ru](http://www.exponenta.ru)
- Клиначёв Н. В. Теория систем автоматического регулирования и управления: Учебно-методический комплекс. - Offline версия 4.3. - Челябинск, 2010 - 707 файлов, ил. Режим доступа:  
<http://vissim.ru/sertifct.html>



# Объем дисциплины и виды учебной работы

## 4 семестр

- Лекции – 36 ч (18 занятий)
- Практические занятия – 36 ч
- Лабораторные занятия – 36 ч
- Расчетно-графическая работа, экзамен

## 5 семестр

- Лекции – 52 ч
- Практические занятия – 18 ч
- Лабораторные занятия – 34 ч
- Курсовой проект, зачет

# Объем дисциплины и виды учебной работы

## 3 семестр

Лекции 4 ч

Практические занятия 2 ч

Лабораторные занятия 4ч

Выдача контрольной работы

## 4 семестр

Лекции 4 ч

Практические занятия 4 ч

Лабораторные занятия 4 ч

Контрольная работа, зачет, выдача курсового проекта

## 5 семестр

Лекции 6 ч

Лабораторные занятия 6

Практические занятия 4

Курсовой проект, экзамен

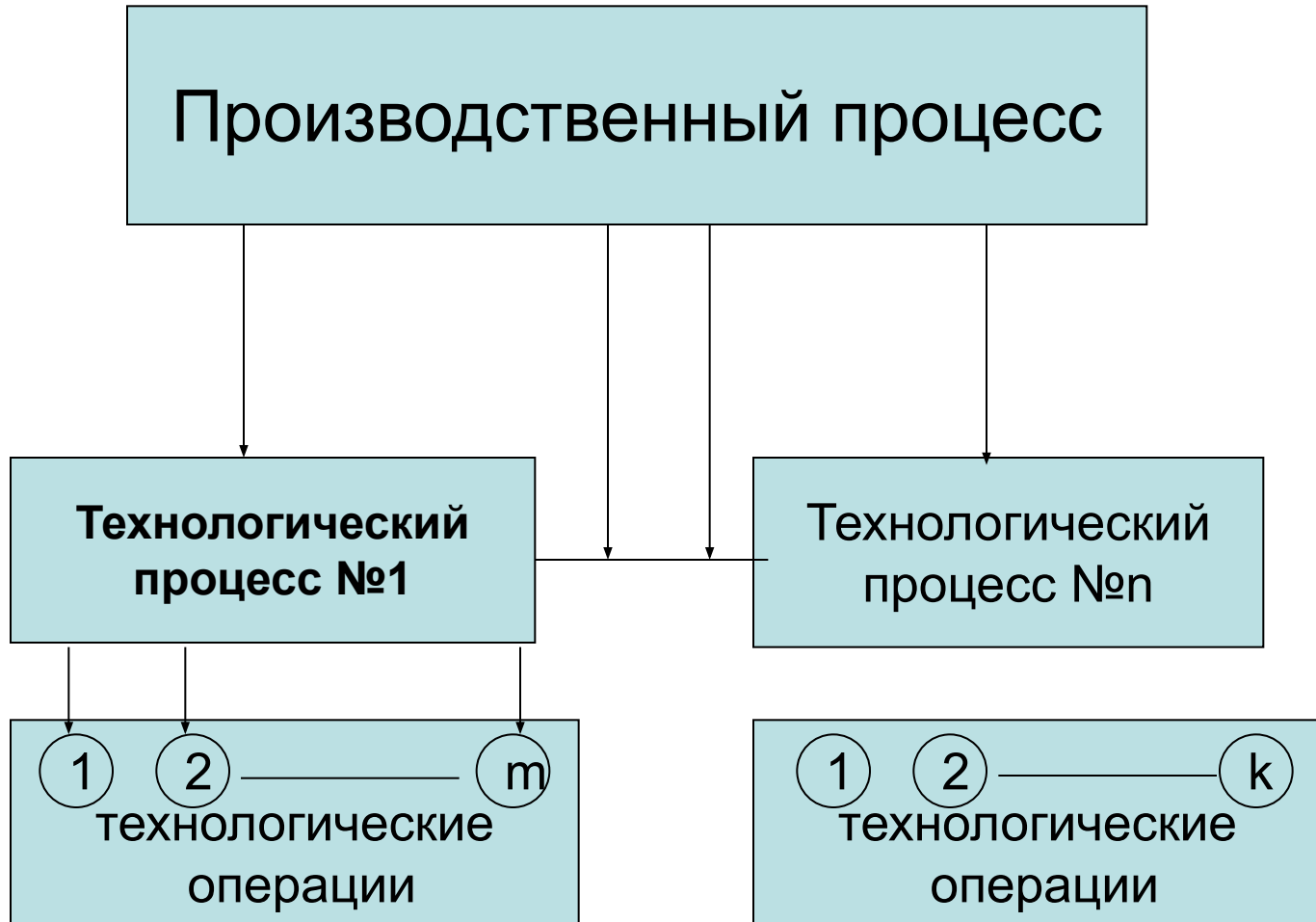
Итого аудиторные занятия 38ч. Самостоятельная работа 286 ч

# Основные понятия и определения

# Производственный процесс

- Основой деятельности любого предприятия является *производственный процесс*, под которым понимают организованную совокупность взаимосвязанных трудовых и технологических процессов, при реализации которых исходные материалы и полуфабрикаты превращаются в законченные изделия

# Иерархия элементов производственного процесса



*Технологический процесс* – последовательность целенаправленных действий (операций) по получению из исходного материала конечного продукта (полуфабриката или готового изделия) с требуемыми свойствами.

Технологические операции условно можно разделить на *рабочие операции* и *операции управления*.

*Рабочие операции* – это действия, необходимые непосредственно для выполнения процесса в соответствии с природой и законами, определяющими ход процесса.

*Операции управления*- действия, необходимые для правильной организации рабочих операций в соответствии с целью управления

*Механизация*- замена человека в выполнении рабочих операций.

*Автоматизация* – замена человека в выполнении операций управления.



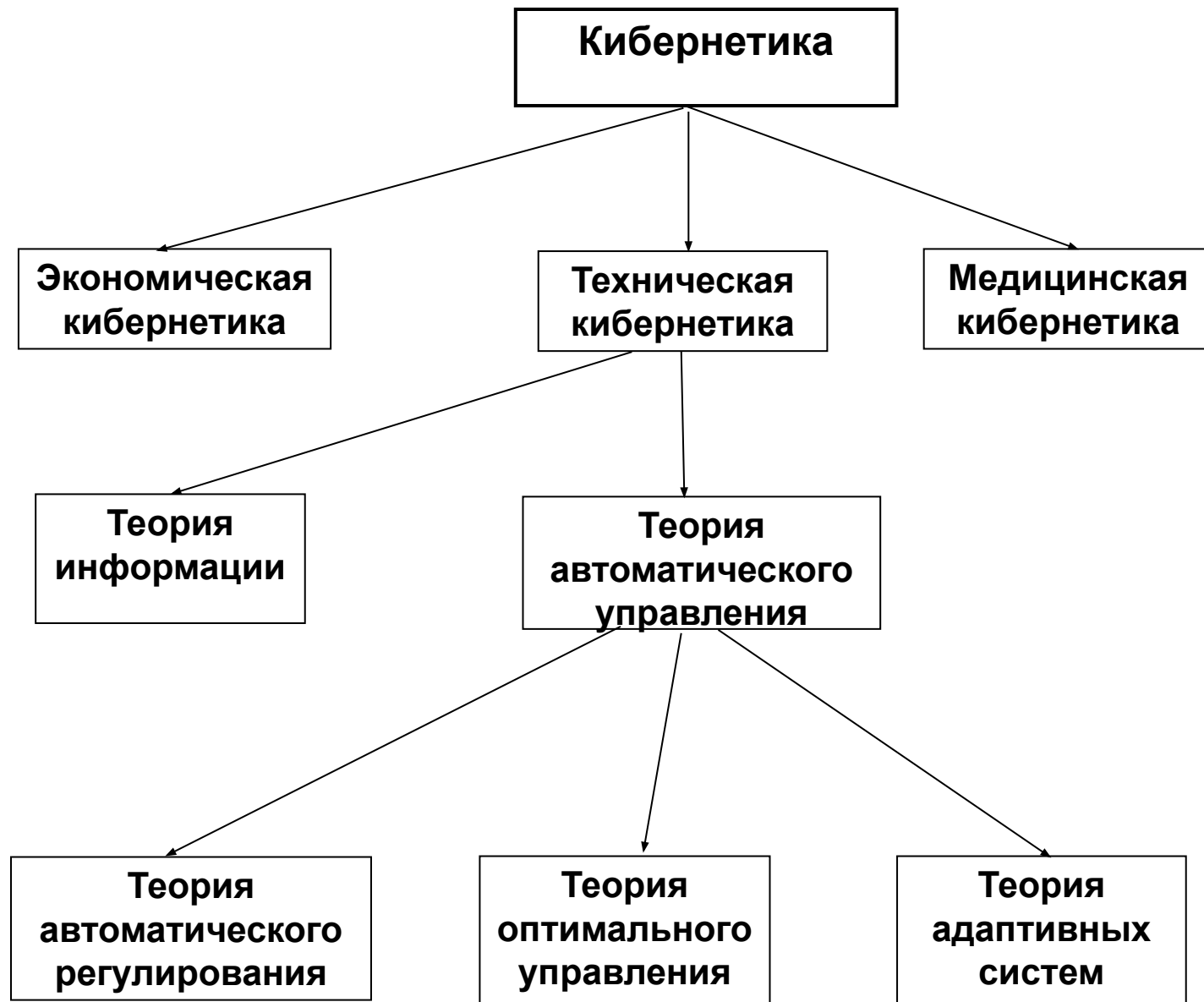
# Направления развития современного производства:

- существенное улучшение качества продукции;
- повышение производительности за счет технического усовершенствования;
- повышение интеллектуальной оснащенности отраслей промышленности.

Важнейшую роль для достижения высоких показателей в этих стратегических направлениях играет автоматизация производственных процессов, которая связана с созданием и применением различных систем, которые выполняют функции контроля и управления производственными процессами, заменяя человека.

*Теория автоматического управления* относится к числу научных дисциплин, образующих в совокупности науку об управлении. Эта наука называется *кибернетикой*.

# Науки, изучающие вопросы автоматизации



*Кибернетика* – (от греческого слова *искусство управления*) наука об общих закономерностях процессов управления, связи и переработки информации.

Причем объекты управления могут быть самые разные: биологические, энергетические системы, предприятия, технологические процессы, аппараты, машины и их отдельные части.

*Техническая кибернетика* – наука, рассматривающая управление техническими системами.

*Теория автоматического управления* (ТАУ) – это наука о принципах построения и методах расчета систем автоматического управления (САУ).

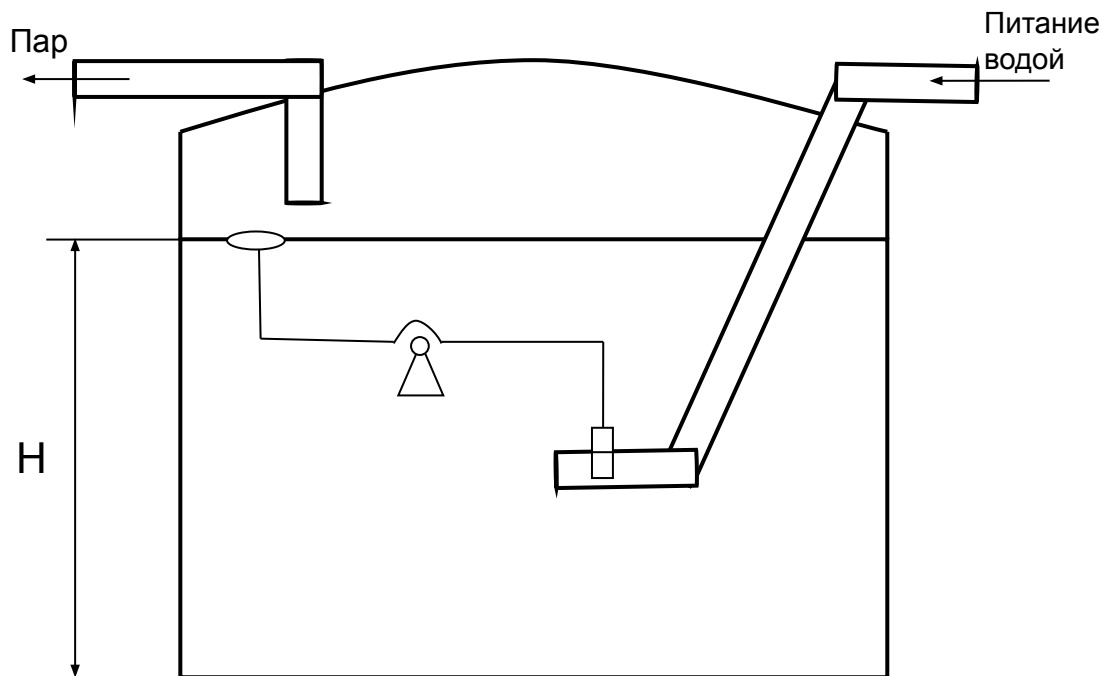
Её выводы справедливы для различных систем независимо от назначения и физической природы.

Проектирование и эксплуатация систем невозможны без знания ТАУ

# История развития ТАУ

- Первый автоматический регулятор был изобретен в 1765 г. И.И.Ползуновым. Он был предназначен для стабилизации уровня воды в котле паровой машины.
- В 1782 г. разработан центробежный регулятор скорости вращения паровой машины Дж. Уаттом.
- 1784 г. Томасом Вудом разработан регулятор давления в паровом котле

# Система автоматического регулирования уровня воды в котле





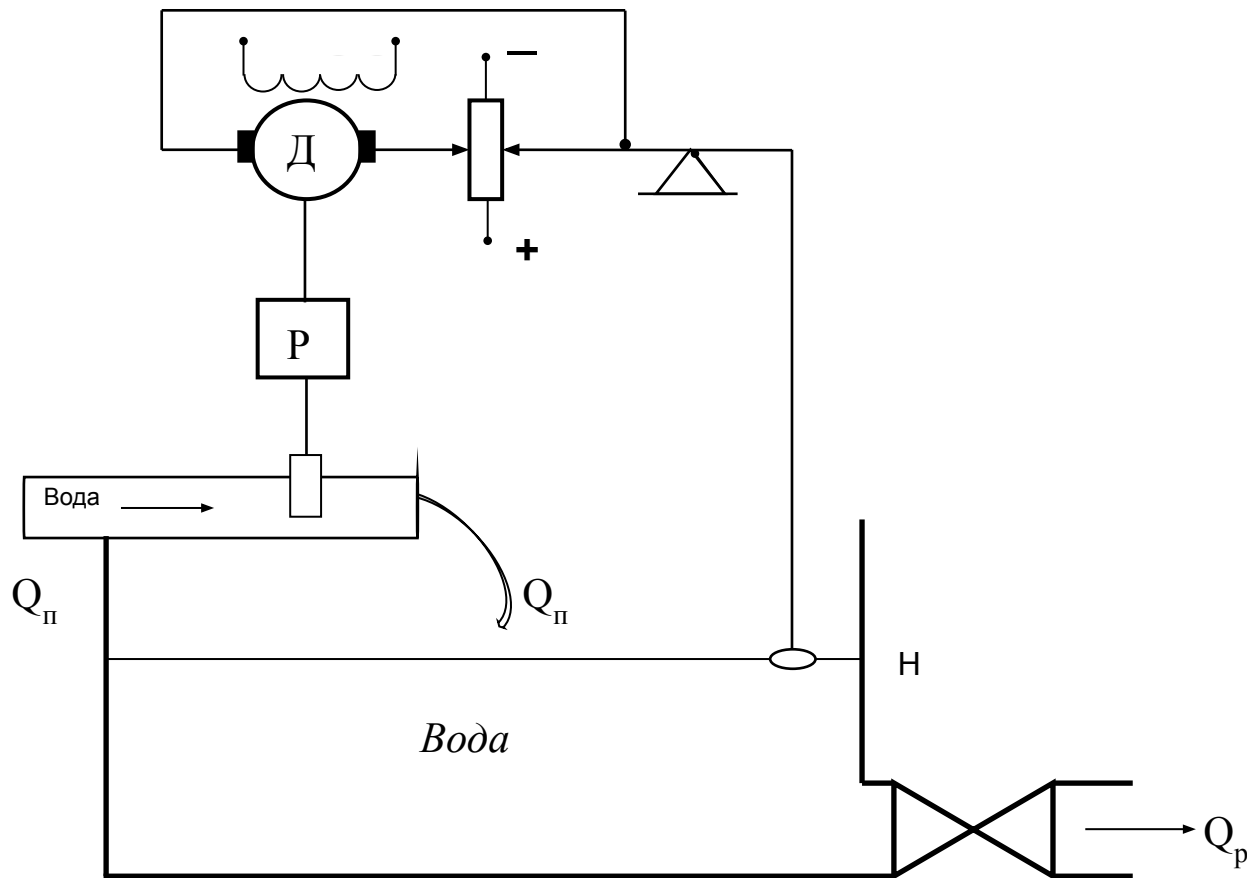
Рассмотренные устройства не всегда работали удовлетворительно. Во многих случаях регулятор вместо того, чтобы поддерживать постоянное значение регулируемой переменной, допускал ее колебания относительно заданного значения, не обеспечивал точного воспроизведения заданного значения. А иногда колебания выходной переменной возрастали.

В результате возникла необходимость теоретического осмысления процессов, происходящих в САУ и появились современные математические методы моделирования, анализа и синтеза систем управления.

# Развитие научной теории

- Основоположниками научной теории управления считаются Дж. Максвелл и профессор Петербургского технологического института И.А. Вышнеградский.
- Три фундаментальные работы этих ученых положили начало новой науки. В 1866 г. опубликована работа Максвелла «О регуляторах». В 1876 г. опубликована работа Вышнеградского «Об общей теории регуляторов», а в 1877 г. – его работа «О регуляторах прямого действия». Дж. Максвелл и И.А.Вышнеградский осуществили системный подход к проблеме, рассмотрев регулятор и машину как единую динамическую систему. Вышнеградский впервые получил условия устойчивости систем регулирования.
- Идеи Вышнеградского развивали его сподвижники и ученики А.М.Ляпунов, А.Стодола, В.Л.Кирпичев и др.
- В конце XIX и начале XX вв. создаются новые виды электромеханических регуляторов

# Электромеханическая система автоматического регулирования уровня



**Математические основы теории автоматического управления создавали на протяжении многих лет ученые и математики**

- Пьер Симон Лаплас (1749-1827) - преобразование, являющееся основой большинства методов анализа и синтеза СУ;
- Б.Тейлор – ряды Тейлора;
- Э.Д.Раусс (1803- 1907)– алгебраический критерий устойчивости;
- Ч.П.Стейменец (1865-1923) – анализ частотных характеристик с помощью комплексных переменных;
- Гарри Найквист (1865-1923) – частотный критерий устойчивости

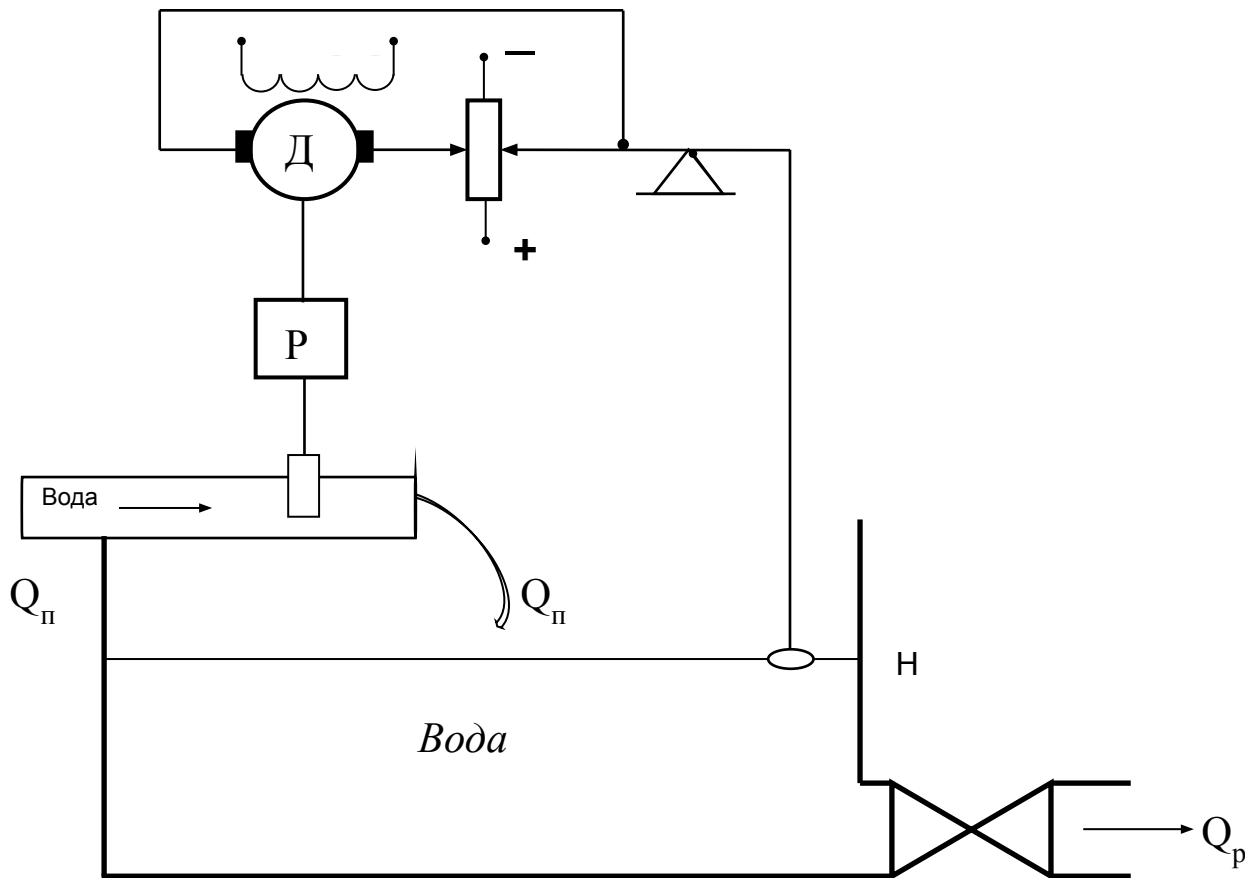
Большой вклад в развитие теории автоматического управления внесли российские ученые: Н.Е. Жуковский, А.Н. Чебышев, В.И. Столетов, К.Э. Циолковский и др.

Жуковским в 1909 г. был впервые создан учебный курс по регулированию хода машин «Автоматические регуляторы».

После революции 1917г. школа регулирования развивалась в ряде высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов СССР.

Внедрение автоматики в различные отрасли народного хозяйства потребовало единого руководящего научного центра по автоматике. В 1934 г. при Академии наук СССР была создана комиссия телемеханики и автоматики, реорганизованная затем в институт управления АН СССР, а затем в Институт проблем управления АН СССР.

В конце XIX и начале XX вв. создаются новые виды электромеханических регуляторов.  
Электромеханическая система автоматического регулирования уровня



После 1940 г. теория автоматического регулирования выделилась в самостоятельную науку. Были созданы методы расчета динамических систем.

В 50-х годах возникли новые направления:

-теория оптимальных систем;

-теория адаптивных систем.

Большой вклад внесли также советские ученые: Солодовников В.В., Воронов А.А., Петров Б.Н., Цыпкин Я.З., Теодорчик К.Ф. и др. Теория автоматического управления развивается и в настоящее время.

# Математические основы теории автоматического управления

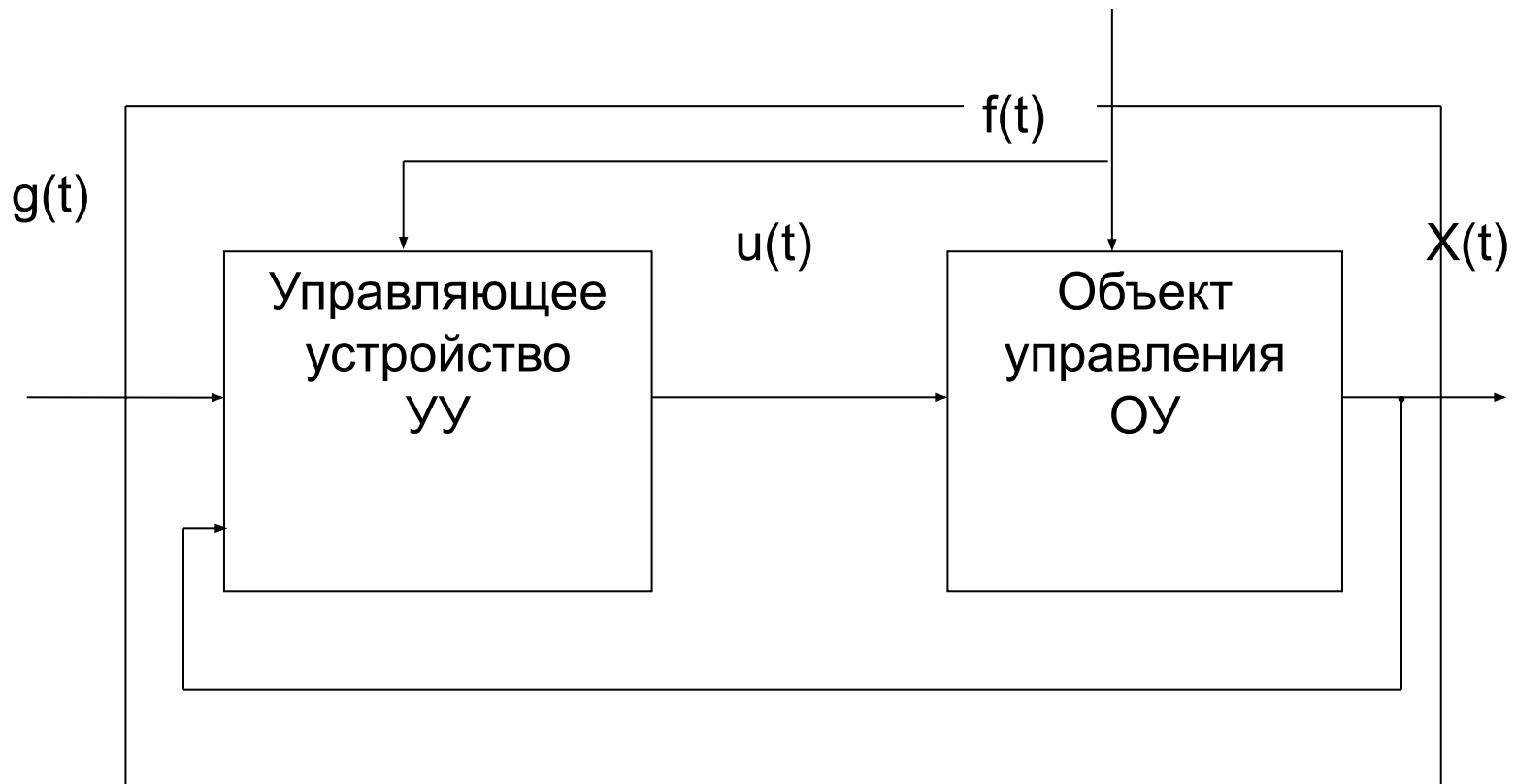
- Для успешного усвоения дисциплины необходимы знания многих разделов высшей математики: аналитическая и линейная алгебра, последовательности и ряды, дифференциальное и интегральное исчисление, дифференциальные уравнения и методы их решения, функции комплексного переменного, гармонический анализ.
- При анализе линейных непрерывных стационарных систем широко используются математические модели элементов и систем в виде передаточных функций. Получение передаточных функций связано с преобразованием Лапласа. С помощью преобразования Лапласа можно определять временные характеристики систем. Поэтому прежде чем изучать соответствующий материал необходимо научиться применять преобразование Лапласа и его свойства.
- При изучении частотных свойств динамических систем применяется преобразование Фурье, функции комплексных переменных.



# Основные понятия и определения ТАУ

- **Процесс управления** – совокупность операций управления.
- **Автоматическое управление** – управление, осуществляемое без непосредственного участия человека.
- Система, в которой осуществляется процесс управления, называется **системой управления**.
- Любую систему управления независимо от ее назначения и физической природы можно представить как совокупность **объекта управления (ОУ)** и **управляющего устройства (УУ)**.

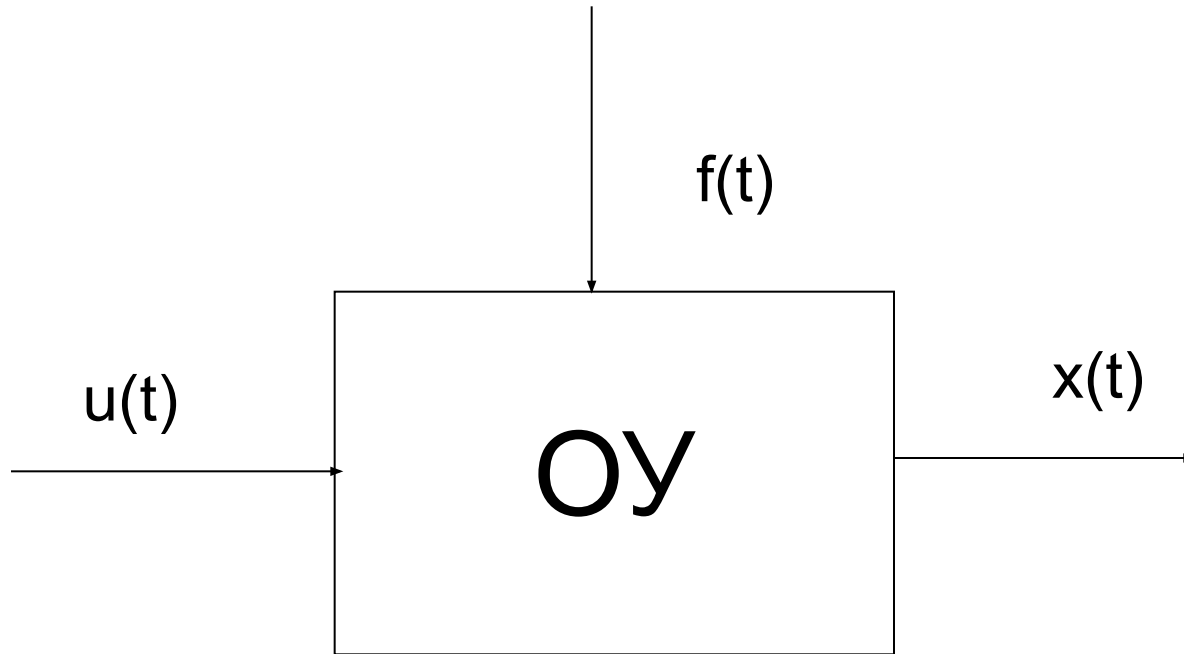
# Система управления



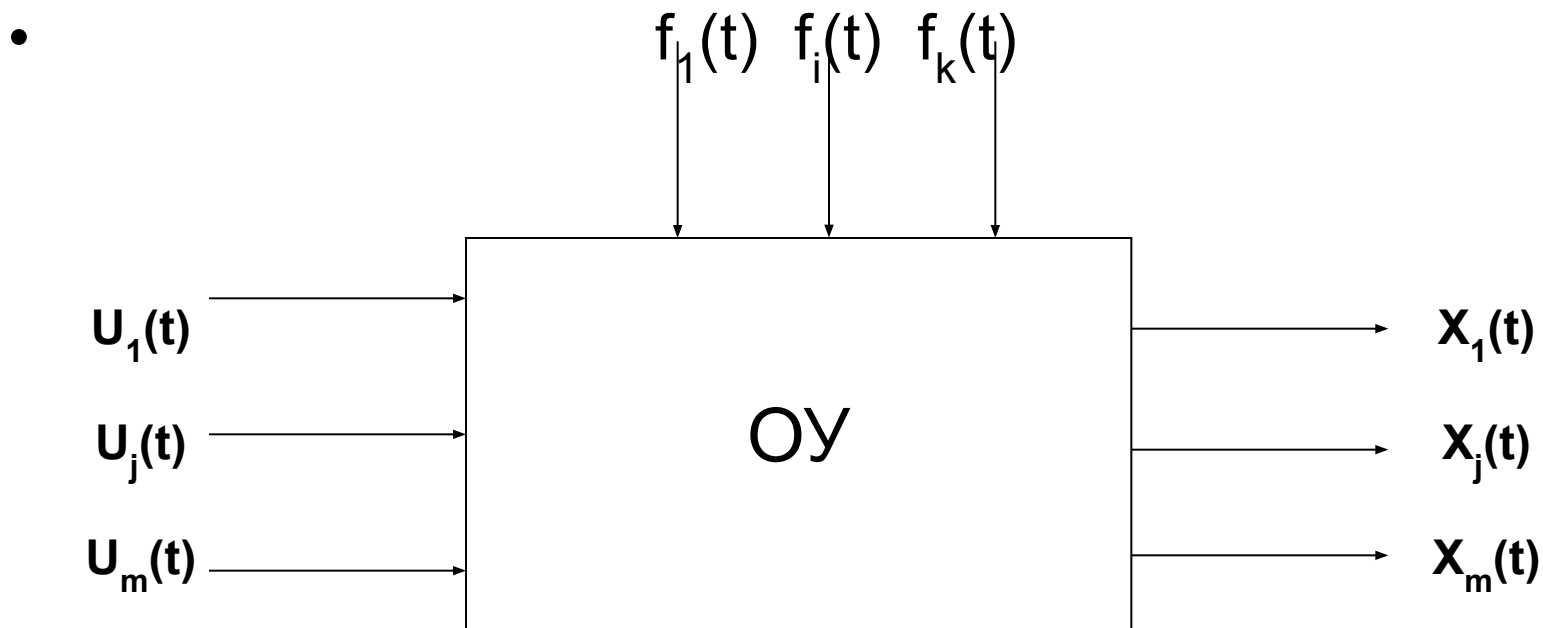
# **Объект управления или управляемый объект**

- **Объект управления** реализует процесс, который необходимо организовать для достижения поставленной цели.
- Объектами управления могут быть отдельный механизм, аппарат, машина, технологический, энергетический и др. процессы, желаемое поведение или протекание которых должно быть обеспечено.
- Примерами технических объектов управления являются механизмы машин, печи, теплообменники, реакторы, автоклавы, мешалки, котлы, летательные аппараты, суда и т.д.
- По количеству управляемых переменных объекты делятся на одномерные и многомерные

# Объект управления одномерный



# Объект управления многомерный



# Переменные , определяющие поведение ОУ

$x(t)$  - *управляемая* или *выходная переменная* объекта управления. Управляемыми переменными для технических объектов управления являются физико-химические величины (температура, давление, уровень, расход вещества, концентрация компонентов в смеси и т.д.)

$f(t)$  - неконтролируемое воздействие внешней среды, называемое *возмущающим воздействием* .

$u(t)$ -*управляющее воздействие* – целенаправленное воздействие со стороны управляющего устройства на объект управления.

Переменные одномерных объектов представляют собой скаляры -  $x(t)$ ,  $u(t)$ ,  $f(t)$ .

В случае многомерного объекта управления переменные описываются векторными величинами:

- $X\{x_1, x_2 \dots x_n\}$  – вектор выхода,
- $U\{u_1, u_2 \dots u_m\}$  – вектор управления,
- $F\{f_1, f_2 \dots f_k\}$  – вектор возмущения
- $X=A(U, F)$

# Математическая модель объекта управления

$$x(t) = A\{u(t), f(t), x(t_0)\}$$

$A$  – оператор, определяющий вид зависимости,  
 $x(t_0)$  – начальное состояние объекта управления

$$X=A(U,F)$$



Объекты управления в большинстве обладают инерцией, т. е. изменение выходных координат под влиянием входных происходит не мгновенно. Такие объекты называются *динамическими*.

Переменные  $x(t)$ ,  $u(t)$ ,  $f(t)$  в динамических объектах связаны дифференциальными, интегральными и разностными уравнениями

Объекты управления в зависимости от реакции  
на входные воздействия делятся на

- устойчивые,
- неустойчивые,
- нейтральные.

# Определения

**Устойчивым** называется объект управления, у которого отклонение управляемой переменной  $x(t)$ , вызванное изменением какого-либо внешнего воздействия, которое затем принимает первоначальное значение, со временем стремится к нулю.

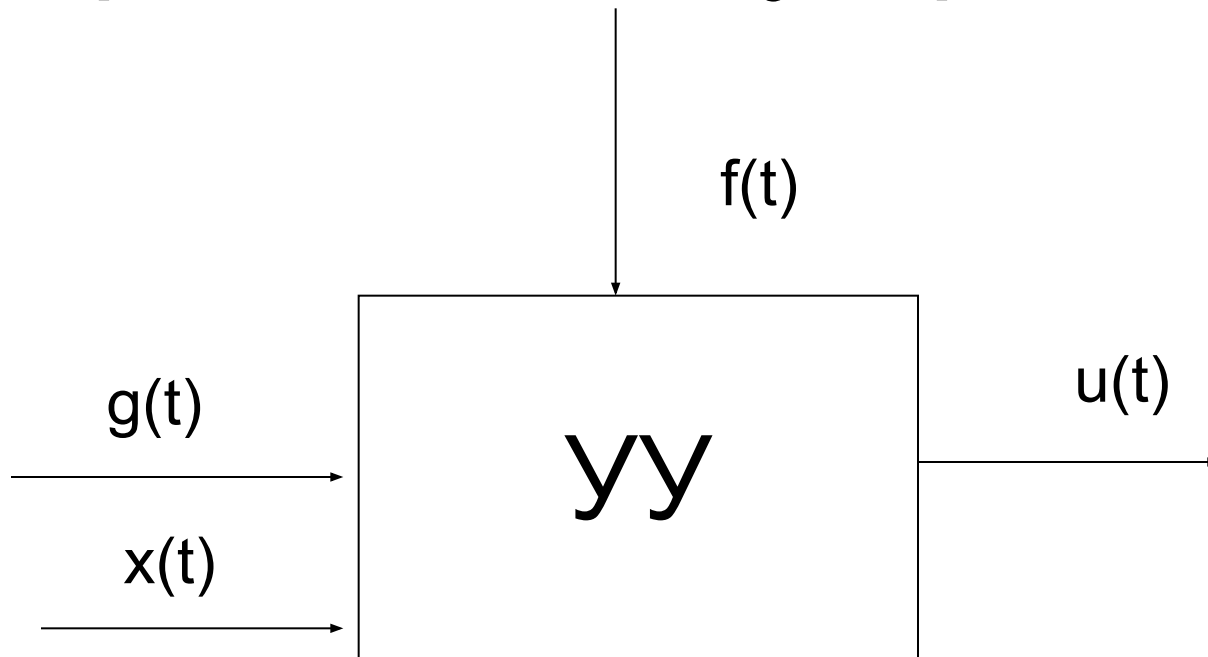
**Нейтральным** называется объект управления, у которого отклонение управляемой переменной  $x(t)$ , вызванное изменением какого-либо внешнего воздействия, которое затем принимает первоначальное значение, со временем стремится к новому постоянному значению.

**Неустойчивым** называется объект, у которого отклонение управляемой переменной  $x(t)$ , вызванное изменением какого-либо внешнего воздействия, которое затем принимает первоначальное значение, не стремится к нулю или к новому постоянному значению.

# Управляющее устройство (УУ)

- УУ – совокупность технических средств, предназначенных для управления объектом.
- УУ формирует управляющее  $u(t)$  воздействие в соответствии с *целью управления, принципом управления и законом управления*.
- Целью управления является определение требуемого (заданного) режима объекта управления и поддержание его на этом уровне.
- Под заданным режимом понимают определяемое технологическим процессом изменение какого-либо параметра, характеризующее состояние объекта управления.

# Управляющее устройство



# Входные и выходные переменные УУ

- $g(t)$  – задающее воздействие, внешнее воздействие, которое определяет требуемый характер изменения управляемой переменной;
- $f(t)$  – возмущающее воздействие;
- $g(t)$ ,  $f(t)$  – входные переменные УУ;
- $u(t)$  – управляющее воздействие (выходная переменная).

# Функции управляющего устройства

- 1) получение информации о цели управления;
- 2) получение информации о состоянии процесса и среды;
- 3) выявление отклонений текущего состояния ОУ от заданного;
- 4) принятие решения об оказании управляющего воздействия на объект;
- 5) исполнение принятого решения.

Первые две функции определяют *информационный* аспект управления; третья и четвертая – *алгоритмический*; пятая – *энергетический* аспект управления.



# Функциональные элементы управляющего устройства

- Измерительные (чувствительные) элементы (датчики)
- Средства вычисления (регуляторы, контроллеры, компьютеры, усилительно-преобразовательные устройства )
- Исполнительные механизмы

# Алгоритм управления

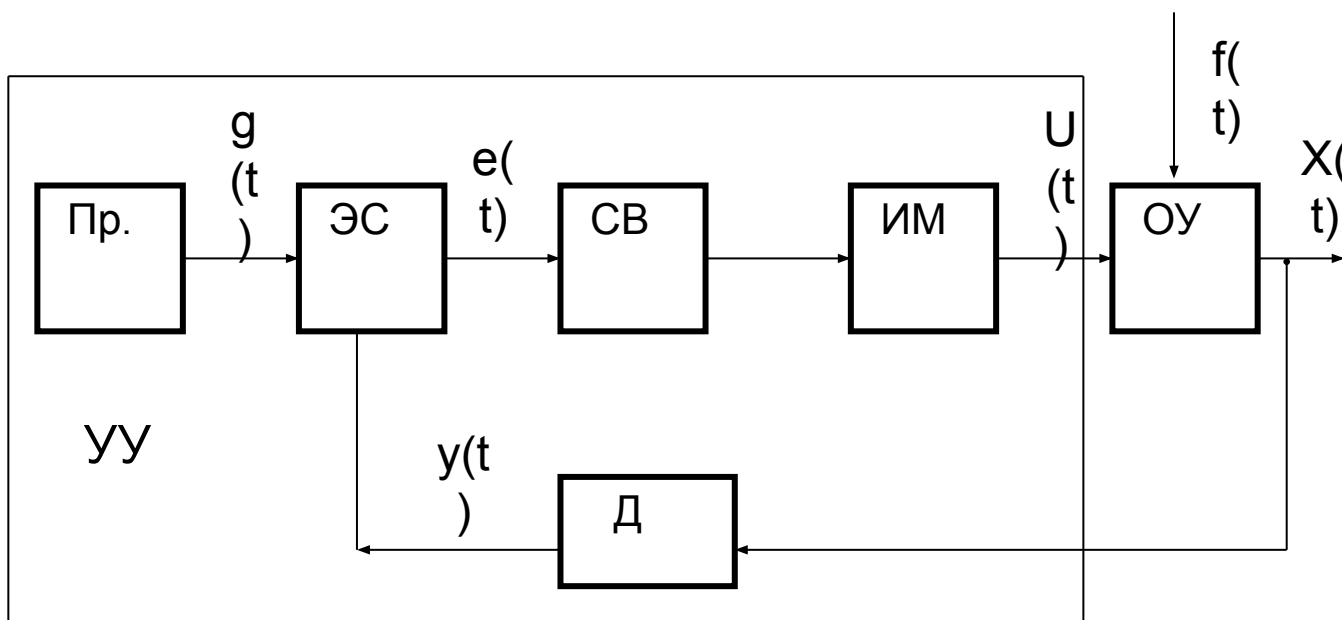
- Алгоритм управления - правила формирования управляющего воздействия в зависимости от цели управления и информации о фактическом состоянии объекта управления. Кроме того, при формировании управляющего воздействия может учитываться возмущающее воздействие
- Алгоритм управления в общем виде может быть представлен выражением

$$u(t) = A\{g(t), x(t), f(t)\}$$

# Алгоритм функционирования

- *Алгоритмом функционирования* называется совокупность правил, предписаний или математических зависимостей, определяющих изменение управляемых переменных в нормальном, требуемом ходе процесса.
- Алгоритм функционирования определяется целью управления без учета динамических искажений. Например, поддержание на постоянном уровне (стабилизация) управляемого параметра, изменение управляемого параметра по заданному закону во времени (программное управление).

# Функциональная схема системы автоматического регулирования



# Состав функциональной схемы

- ОУ – объект управления;
- Д – датчик (чувствительный элемент, измерительный преобразователь);
- ИМ- исполнительный механизм;
- СВ – средство вычисления (регулятор, корректирующее устройство, фильтр);
- Пр – программатор (задающее устройство, задатчик);
- ЭС – элемент сравнения.

# Назначение элементов системы автоматического регулирования

- Пр – формирует задающее воздействие, сигнал  $g(t)$ , определяющий желаемый закон изменения управляемой переменной  $x(t)$ . В частности,  $x(t)=const$ .
- Д – воспринимает управляемый параметр  $x(t)$  и преобразует его в сигнал  $y(t)$ , удобный для передачи и сравнения. Обычно это напряжение, ток, давление сжатого воздуха.
- СЭ – выявляет отклонение текущего значения выходной переменной от заданного. На выходе СЭ формируется отклонение (сигнал ошибки)  $e(t)=g(t)-y(t)$ .
- СВ – регулятор, по определенному закону (алгоритму) преобразует сигнал ошибки в воздействие на исполнительный механизм.
- ИМ – средство воздействия на процесс, реализует управляющее воздействие на ОУ, чтобы перевести его из текущего состояния в желаемое, изменяя приток вещества или энергии, и тем самым сводит ошибку регулирования к нулю или к минимуму.