

# *Лекция №4*

## СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

# План лекции:

1. **Общие сведения о синтезе САУ**
2. **Основные законы регулирования**
  - 2.1. **Непрерывное регулирование**
  - 2.2. **Позиционные регуляторы**
3. **Исполнительные устройства**
  - 3.1 **Исполнительный механизм**
  - 3.2 **Регулирующие органы**

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИНТЕЗЕ САУ

**С И Н Т Е З  С А У - это определение структуры, состава элементов, и значений параметров САУ, при которых она удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям.**

(Определение общей задачи синтеза)

(Частная задача синтеза)

**СИНТЕЗ САУ - это определение типа, схемы и параметров закона управления (ЗУ) или корректирующего устройства (КУ)**

**ЗАКОНОМ УПРАВЛЕНИЯ (ЗУ) САУ называется зависимость сигнала управления  $u(t)$ , подаваемого на ее исполнительное устройство, от входных и выходных сигналов.**



**КОРРЕКТИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ (КУ) называется вспомогательный элемент САУ, заданный передаточной функцией и применяемый для улучшения качества ее процессов управления.**

Общий вид закона управления:

$$u(t) = F[\varepsilon(t), \dot{\varepsilon}(t), \ddot{\varepsilon}(t), \dots, \int \varepsilon(\tau) d\tau]$$

$\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$  – сигнал рассогласования

## 2. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

### 2. 1. НЕПРЕРЫВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

#### П - УПРАВЛЕНИЕ (*пропорциональное*):

**Пропорциональным** называют закон регулирования, отражающий прямо пропорциональную зависимость между изменением управляющего воздействия

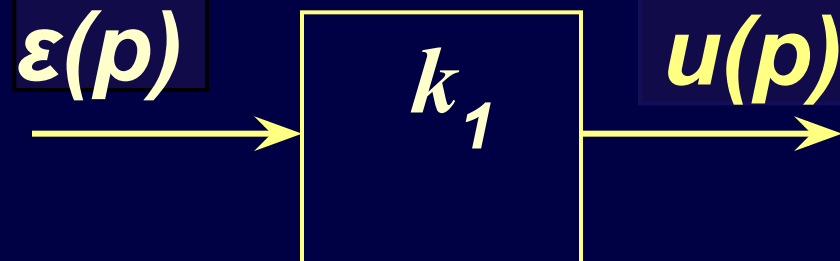
и погрешностью регулирования.

$$u(t) = k_1 \varepsilon(t)$$

коэффициент усиления регулятора.

$$u(t) = k_1 \varepsilon(t)$$

Является параметром  
настройки регулятора



$k_1 \uparrow$

$t_p$  время регулирования ↓

$E_y$  установившаяся ошибка ↓

Запас устойчивости ↓



## И - УПРАВЛЕНИЕ (*интегральное*)

Управляющее воздействие, формируемое интегральным регулятором, пропорционально интегралу по времени от ошибки регулирования

$$u(t) = -\frac{1}{T_a} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau$$

Устранение  
установившейся ошибки  
регулирования

Является параметром  
настройки регулятора

Максимальная ошибка  
регулирования ↓

Запас устойчивости ↓

# ПИ - УПРАВЛЕНИЕ

(пропорционально - интегрирующее):

Регуляторы формирующие одновременно пропорциональную и интегральную составляющую

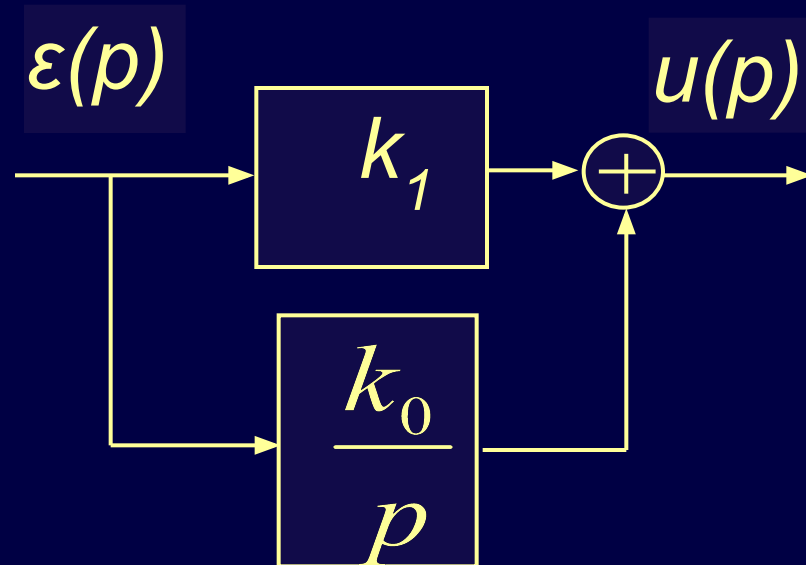
$$u(t) = k_1 \varepsilon(t) + k_0 \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau$$

Является параметром  
настройки регулятора

$$u(t) = k_1 \varepsilon(t) + k_0 \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau$$

— Пропорциональный регулятор

— Интегральный регулятор



Запас устойчивости ↓

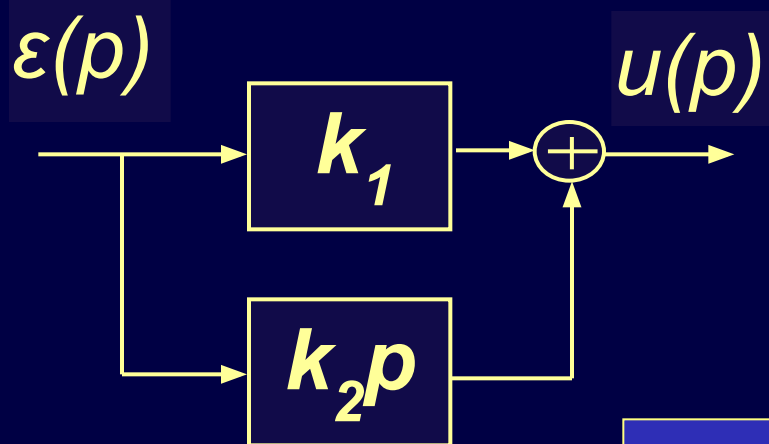
Число интегрирующих звеньев

=

Порядок астатизма

# ПД - УПРАВЛЕНИЕ

(пропорционально - дифференциальное):



$$u(t) = k_1 \varepsilon(t) + k_2 \dot{\varepsilon}(t)$$

$$k_2 \dot{\varepsilon}(t)$$

*Помогает  
разрешать противоречие  
между точностью,  
быстродействием  
и устойчивостью*

# ПИД - УПРАВЛЕНИЕ

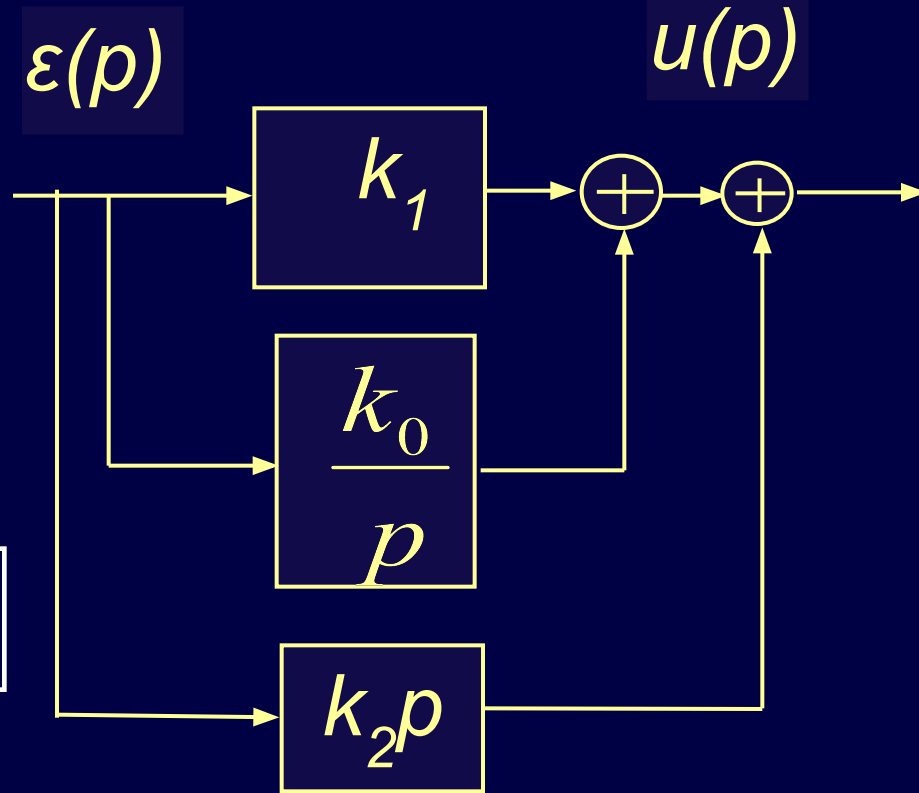
(пропорционально – интегрально -  
дифференциальный):

$$u(t) = k_1 \varepsilon(t) + k_2 \dot{\varepsilon}(t) + k_0 \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau$$

*Сочетает в себе  
достоинства  
всех рассмотренных ЗУ*

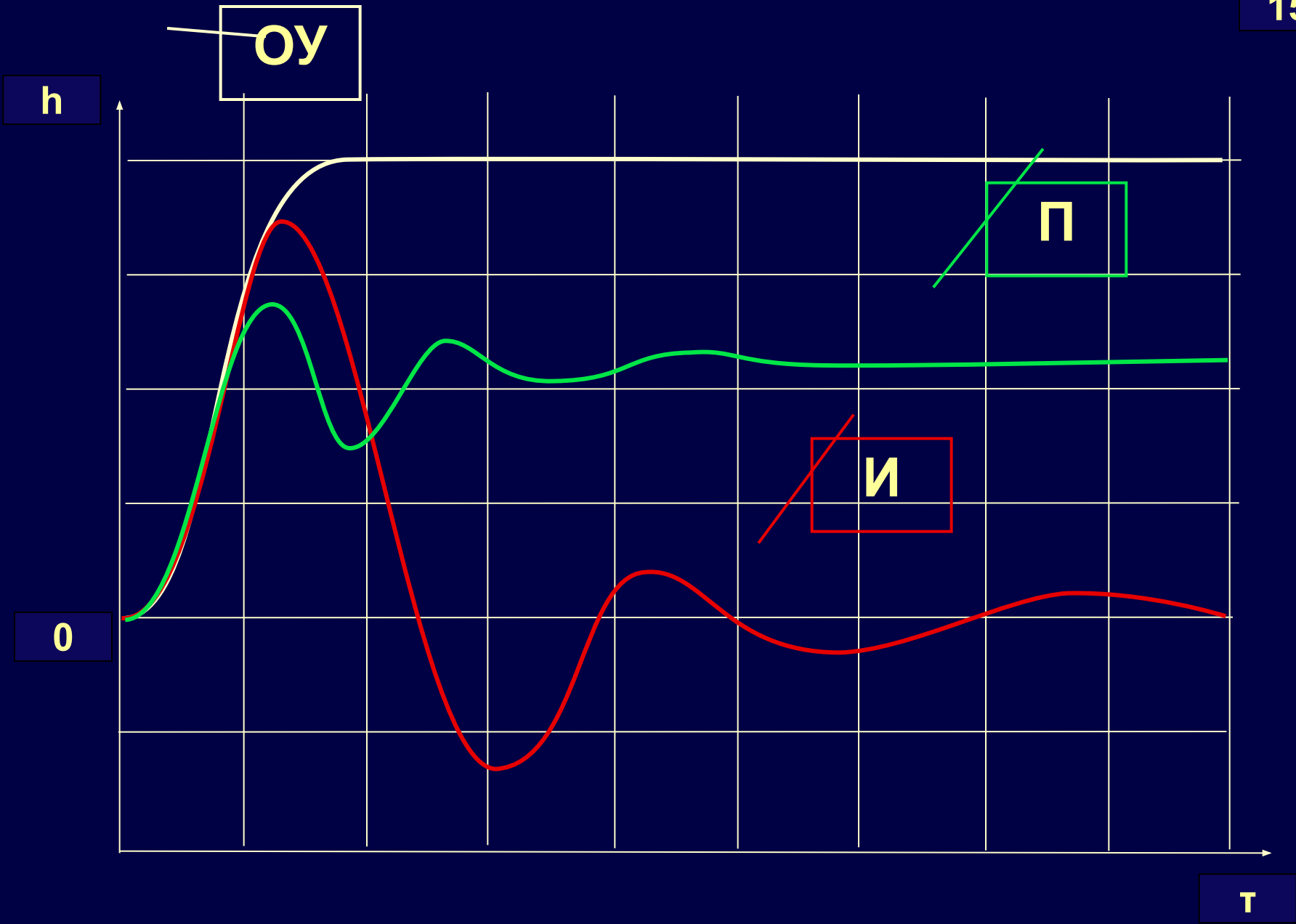
**Блок-схему ЗУ нарисовать самостоятельно!**

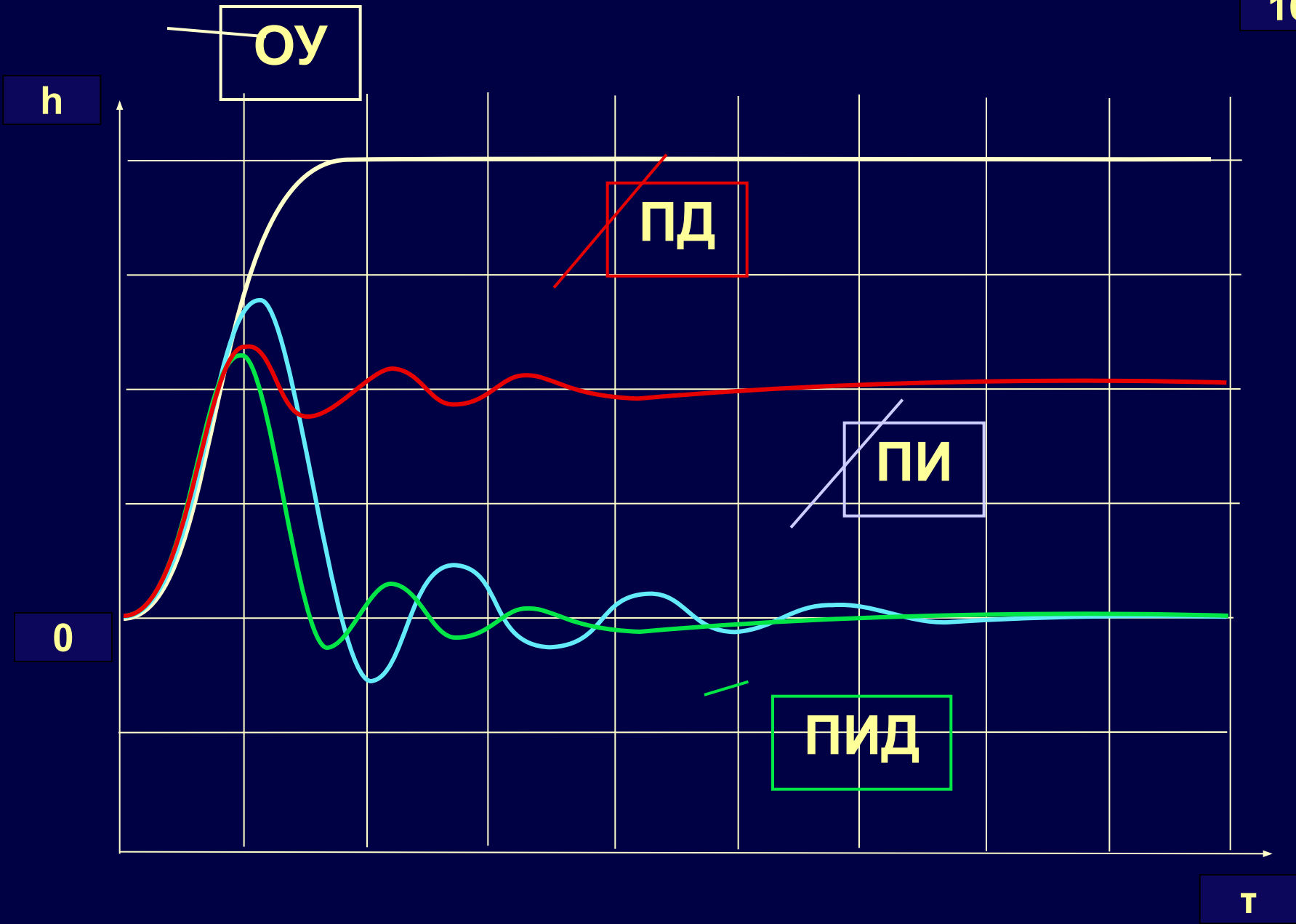
Пропорциональный  
регулятор



Интегральный  
регулятор

Дифференциальный  
регулятор





OU

h

ПД

ПИ

ПИД

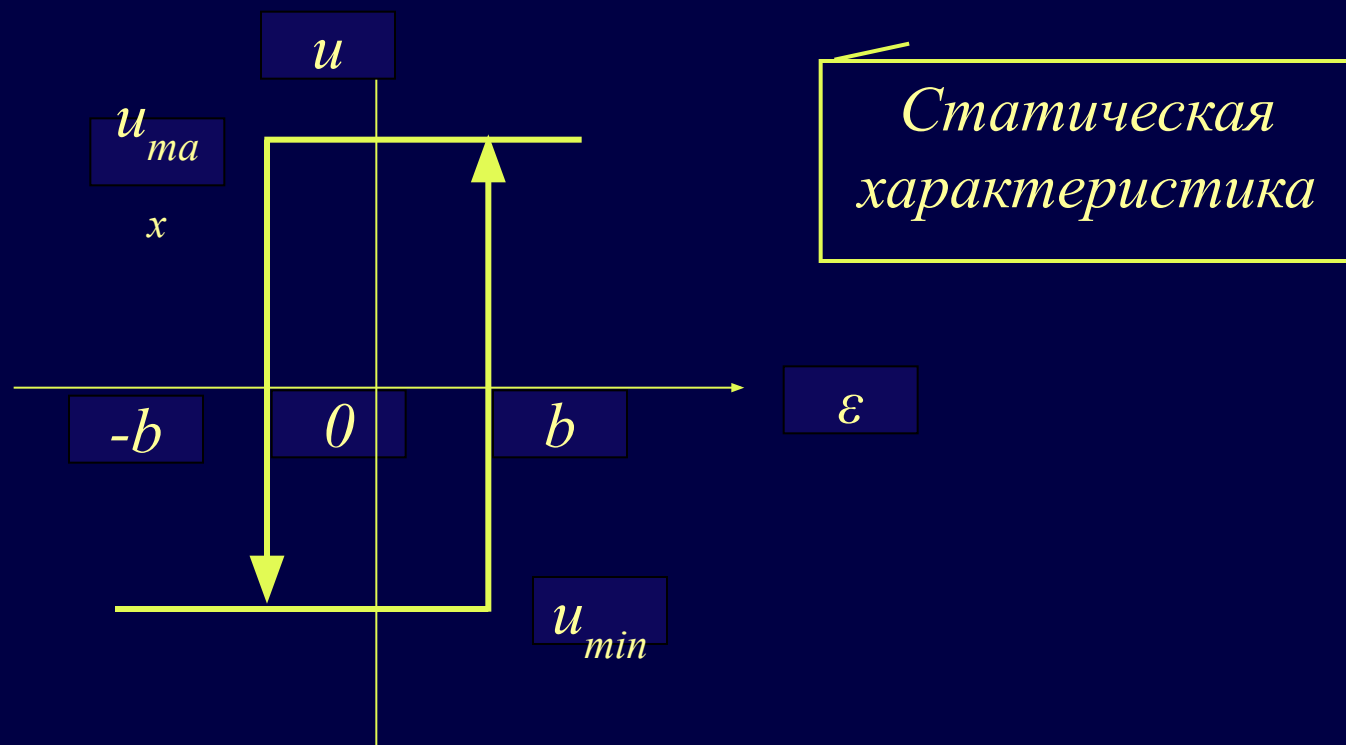
0

T



## 2.2. ПОЗИЦИОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Автоматические регуляторы, у которых при непрерывном изменении входной величины регулирующий орган занимает ограниченное число определенных, заранее известных положений, называют **позиционными**.



Узд

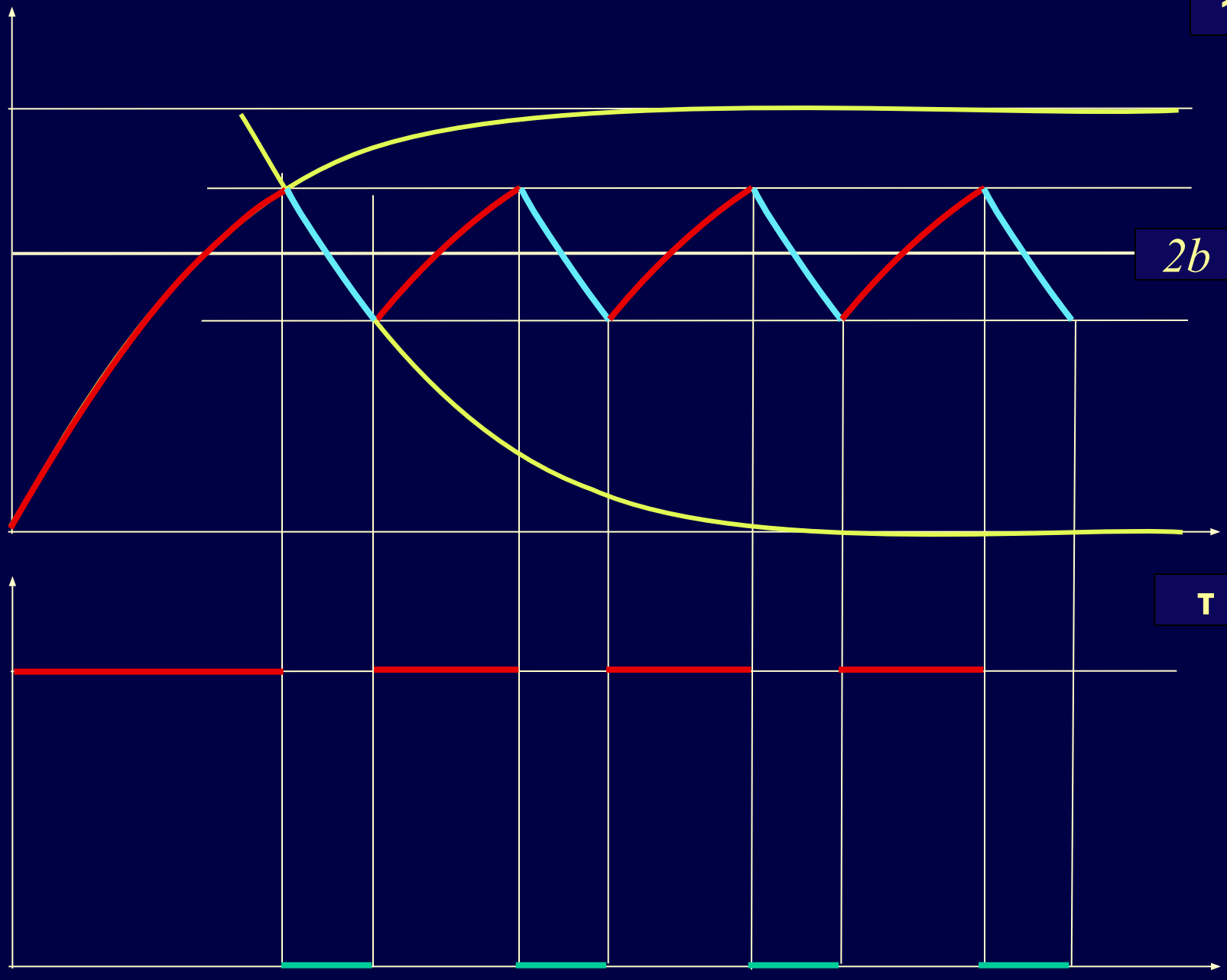
2b

T

$u_{та}$   
x

0

T



# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

**П – РЕГУЛЯТОР** применяется для управления объектами с самовыравниваем и без самовыравнивания при небольших изменениях нагрузок, если технологическим режимом допустимо остаточная ошибка.

**И – РЕГУЛЯТОР** применяется для управления объектами с самовыравниваем. Поскольку быстродействие И-регулятора невелико, самовыравнивание должно быть значительным, запаздывание небольшим, а изменение нагрузок плавным.

**ПИ – РЕГУЛЯТОР** применяется для регулирования как устойчивых, так и нейтральных объектов при больших, но плавных изменениях нагрузок, когда требуется высокая точность регулирования в статическом режиме.

**ПД и ПИД – РЕГУЛЯТОРЫ** обеспечивают относительно высокое качество регулирования объектов, обладающих большим переходным запаздыванием, а также в тех случаях, когда нагрузка в объектах регулирования изменяется часто и быстро.

### 3. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА (ИУ)

**Исполнительные механизмы (ИМ), являясь составной частью АСР, предназначены для перемещения регулирующего органа (РО) в соответствии с командой, получаемой от регулятора.**

## 3.1. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ (ИМ)

В зависимости от используемого вида энергии

Исполнительные механизмы



```
graph TD; A[Исполнительные механизмы] --> B[Гидравлические]; A --> C[Пневматические]; A --> D[Электрические]; D --> E[Электромагнитные]; D --> F[Электродвигательные];
```

Гидравлические

Пневматические

Электрические

Электромагнитные

Электродвигательные

## *Пневматические ИУ*

Пневматические исполнительные устройства (ПИМ) находят широкое применение в пожаро- и взрывоопасных производствах и характеризуются быстродействием и точностью позиционирования.

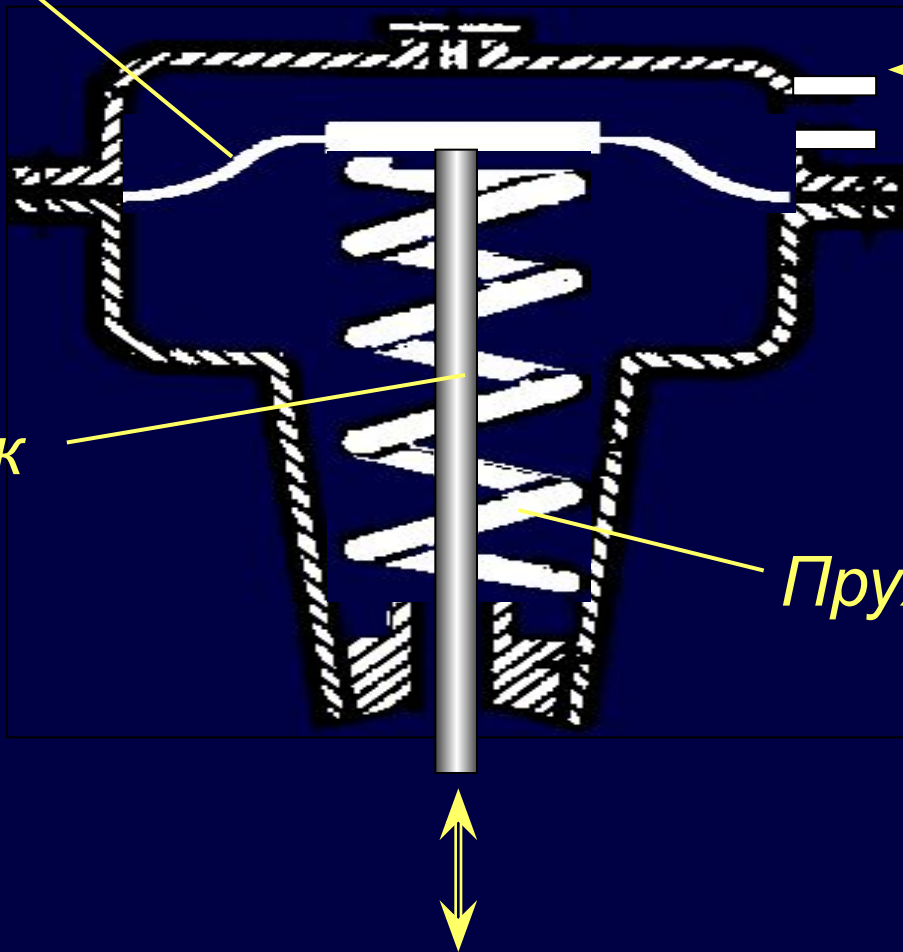
Применяются мембранные и поршневые ПИМ. Предназначены для работы с пневматическими регуляторами и выпускаются в двух модификациях: мембранные и поршневые.

Мембрана

Управляющее давление

Шток

Пружина





Наибольшее распространение имеют мембранные ПИМ. В них мембрана воспринимает давление сжатого воздуха и преобразует его в перемещение выходного устройства. Они надежны, просты по конструктивному исполнению, ремонтпригодны, дешевы, развивают усилие до 40 кН и обеспечивают перемещение выходного устройства на расстояния от 4 до 100 мм. В зависимости от направления движения выходного органа (штока) МИМ подразделяются на механизмы прямого и обратного действия. В механизме прямого действия при увеличении давления шток выталкивается из ПИМ, а в механизме обратного действия втягивается в ПИМ. Механизмы прямого действия применяют для РО нормально открытого типа, механизмы обратного действия — для управления РО нормально закрытого типа. Поршневые ПИМ используют в тех случаях, когда на перемещение РО затрачиваются значительные перестановочные усилия

# Пример обозначения: МИМ-ППХ-320-25-10

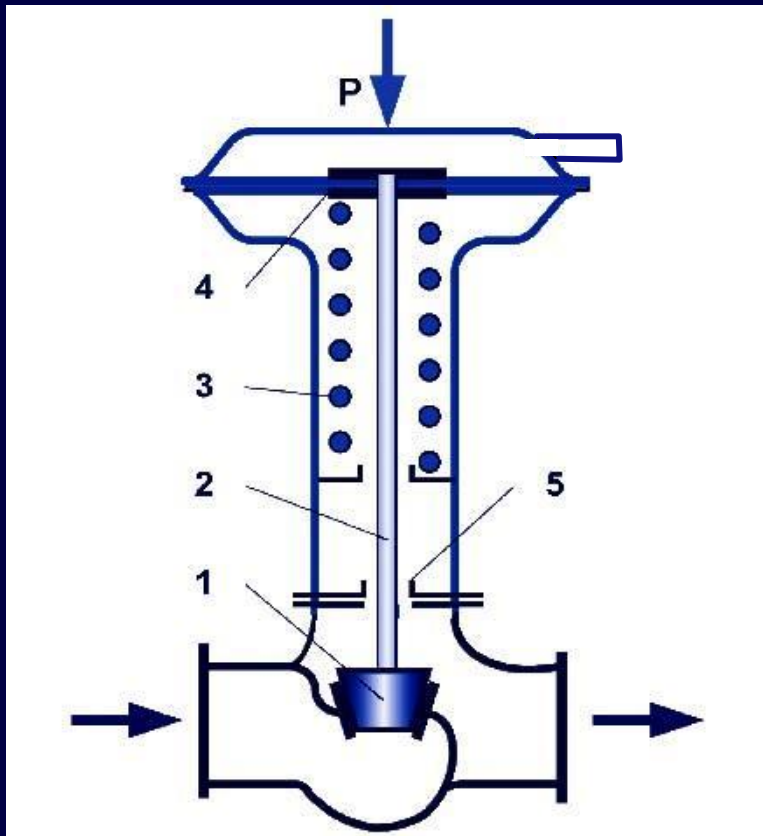
мембранный исполнительный  
механизм

прямоходный

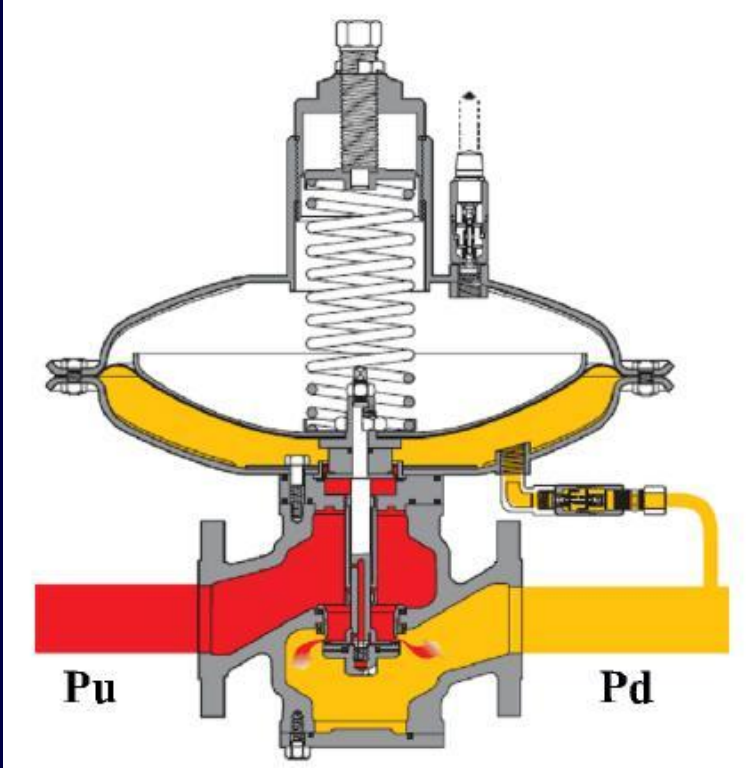
диаметр заделки  
мембраны 320 мм

ход штока 25 мм

дополнительное  
устройство  
отсутствует



Регулирующий орган изменяет расход потока жидкости, газа, пара и т. п. на объекте управления, и тем самым вызывает изменение регулируемого технологического параметра.

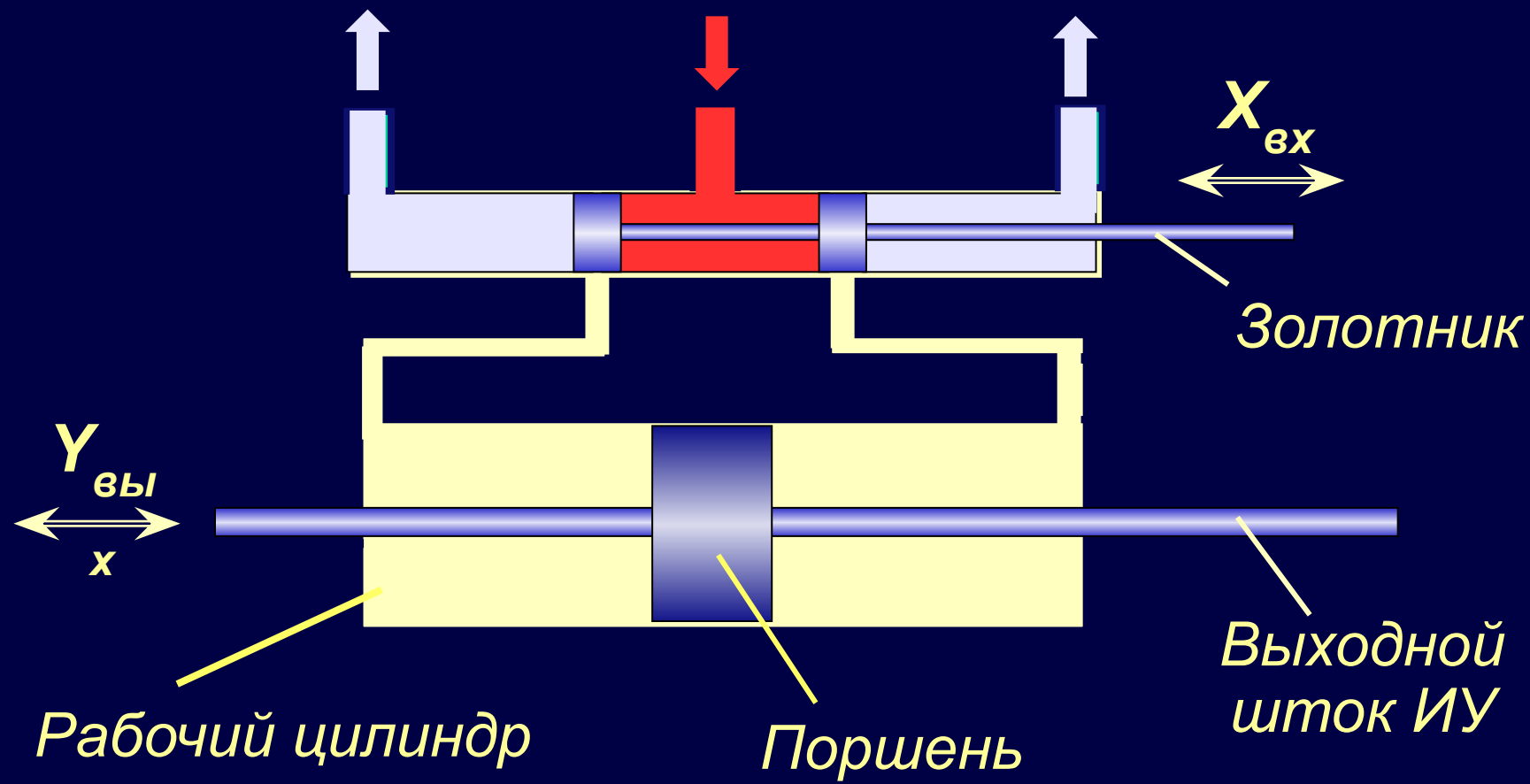


## Гидравлические ИУ

Гидравлические исполнительные устройства преобразуют энергию потока рабочей жидкости в энергию механического движения поршня (поступательное движение) или ротора (вращательное движение). Применяются при больших перемещениях РО и больших усилиях.

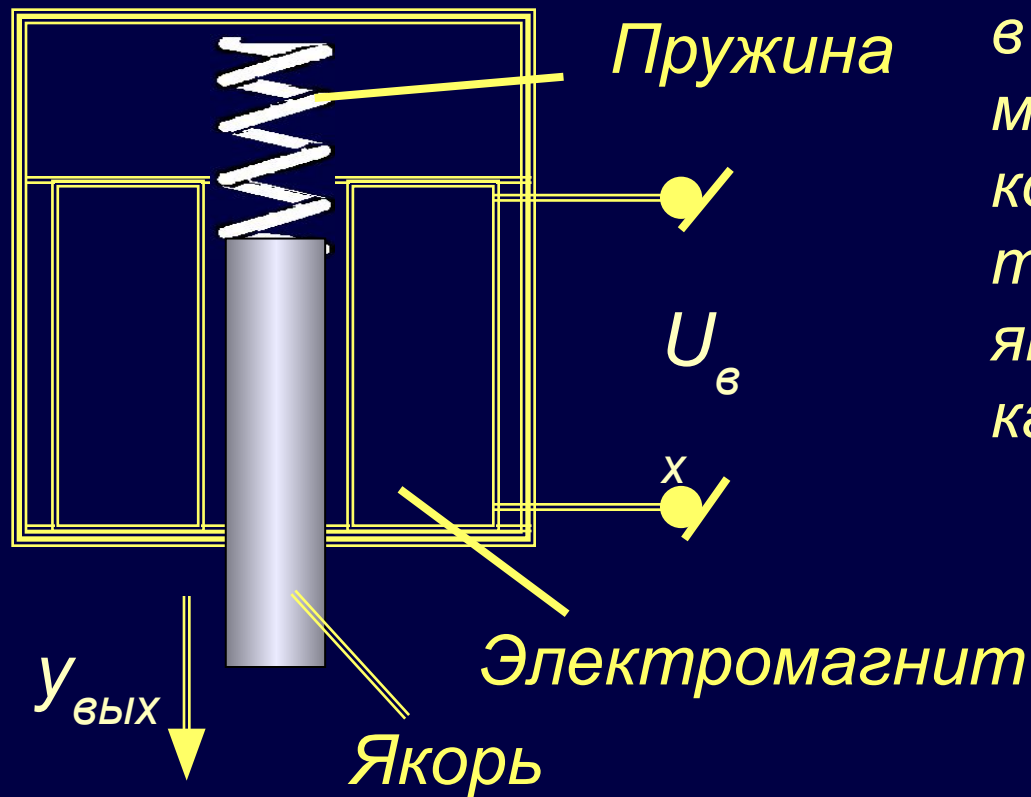
*Низкое давление*

*Высокое давление*



## Электромагнитные ИУ (соленоид)

**К электромагнитным исполнительным устройствам относятся прежде всего соленоидные электроприводы, предназначенные для управления различного рода регулирующими и запорными вентилями, золотниками и т. п.**



При подаче напряжения в катушку возникает магнитодвижущая сила, которая создает тяговое усилие между якорем и индукционной катушкой.

Дискретное (позиционное) – открытие, закрытие управления  
крана, заслонки, ...



## Электродвигательные ИУ

Электродвигательные ИМ являются наиболее распространенными. По характеру движения выходного рабочего звена они подразделяются на;

однооборотные, у которых выходной вал *перемещается* по дуге окружности (до  $360^\circ$ );

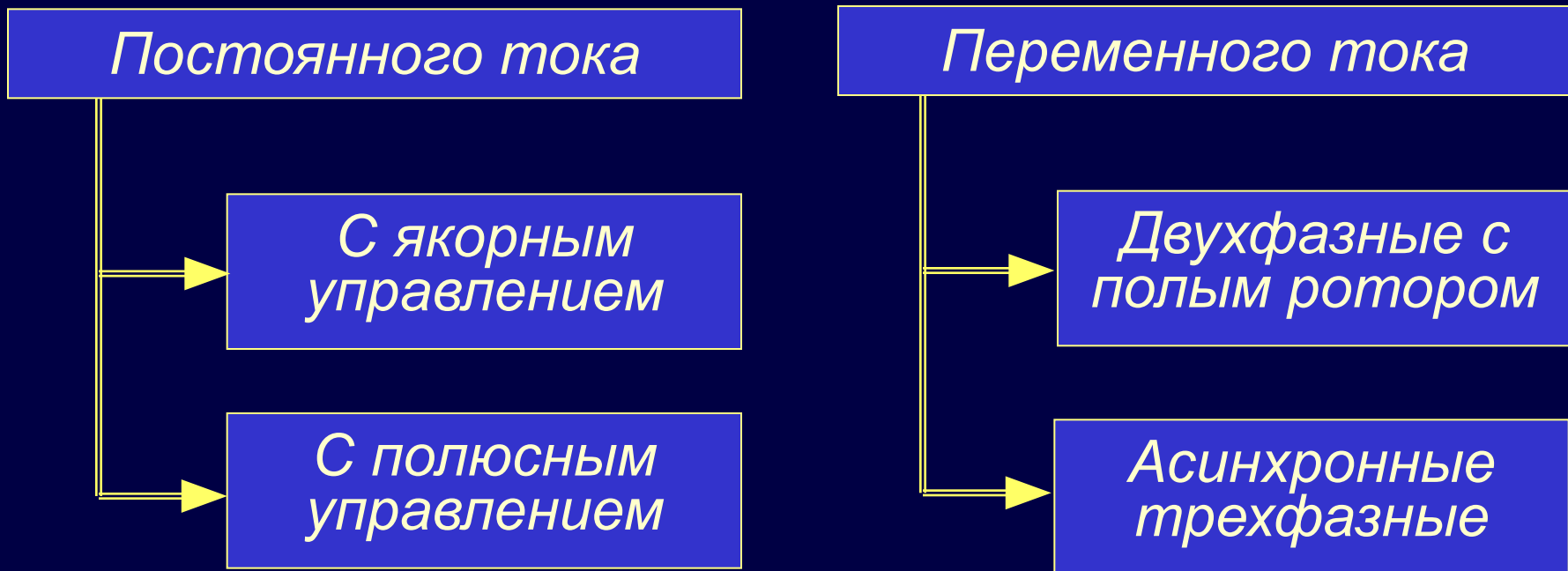
многооборотные, у которых выходной вал *вращается* (более  $360^\circ$ );

прямоходные, выходное звено (шток) которых *перемещается* поступательно.

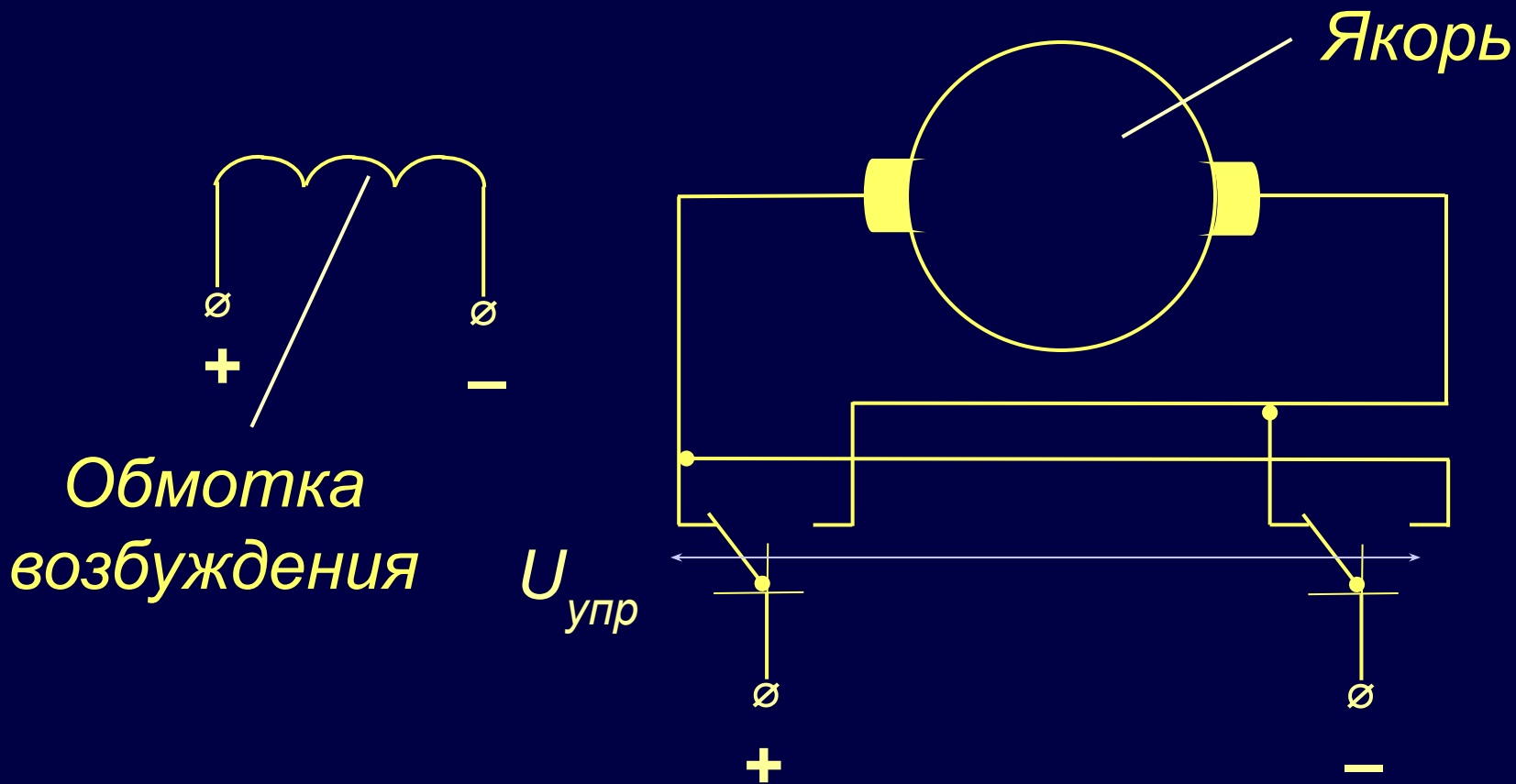
**А также различают устройства с постоянной и переменной скоростью вращения выходного органа**

**Основными элементами данных устройств являются:**

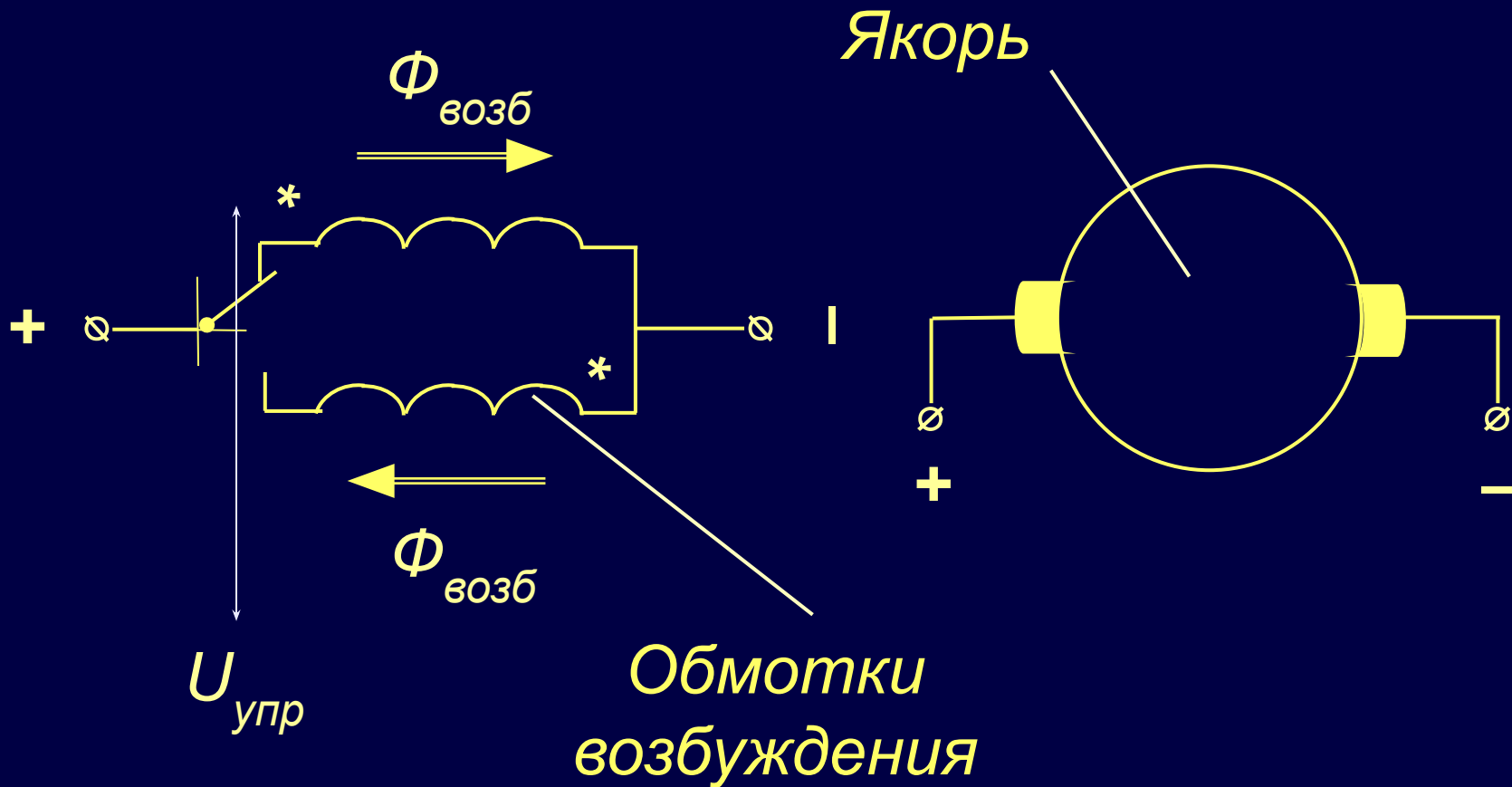
- двигатель;**
- путевой выключатель (конечные выключатели, датчики ОС);**
- редуктор (понижает число оборотов двигателя и увеличивает крутящий момент на его валу).**



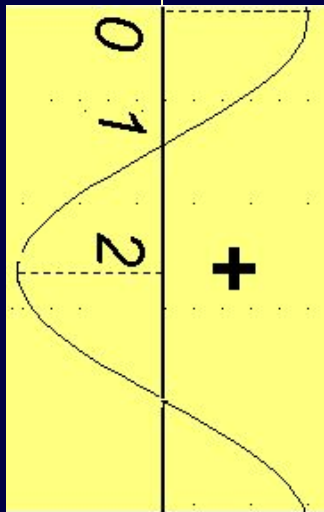
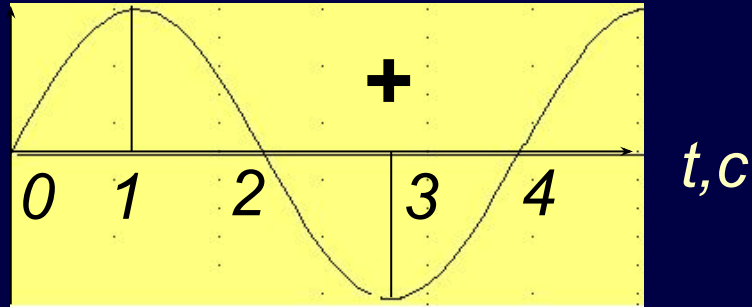
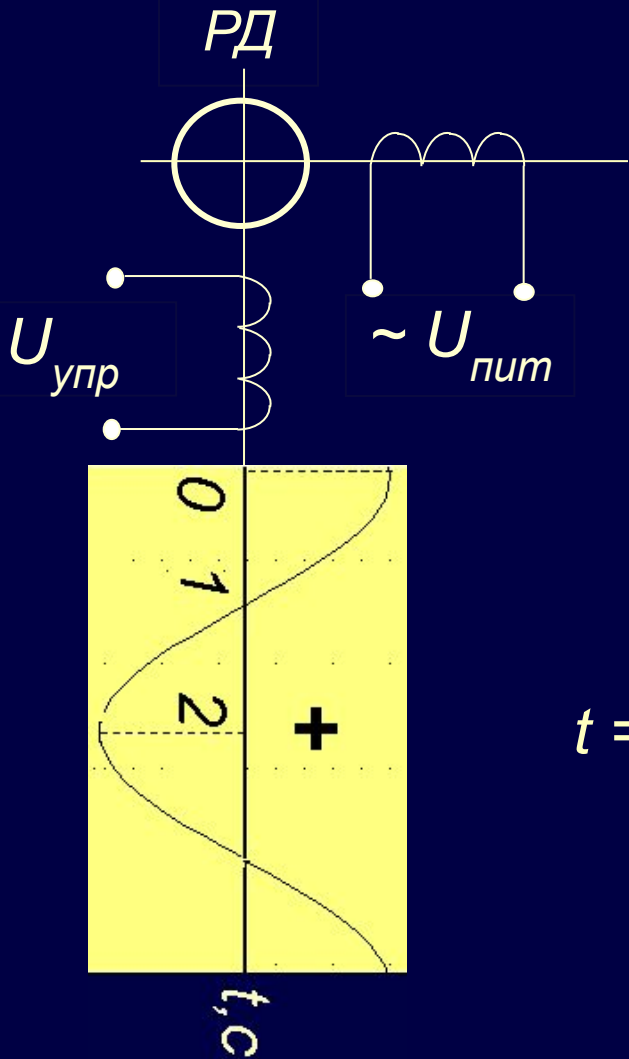
б) Электродвигательные ИУ  
постоянного тока с якорным управлением



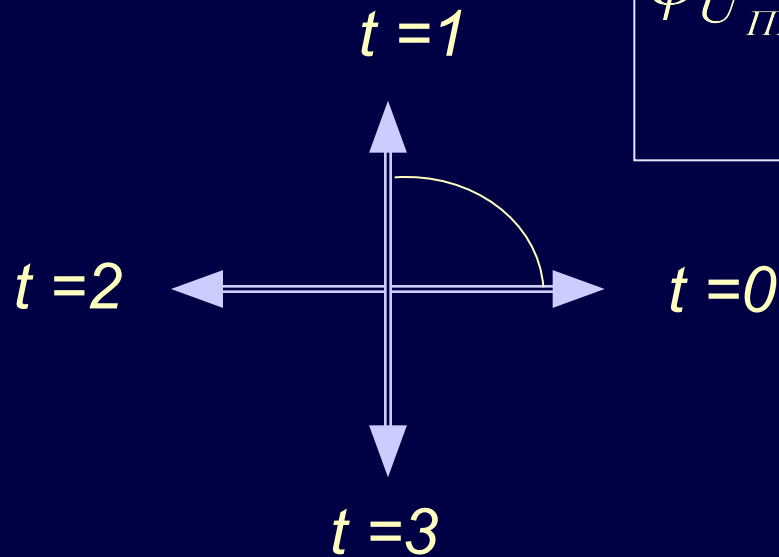
в) Электродвигательные ИУ  
постоянного тока с полюсным управлением

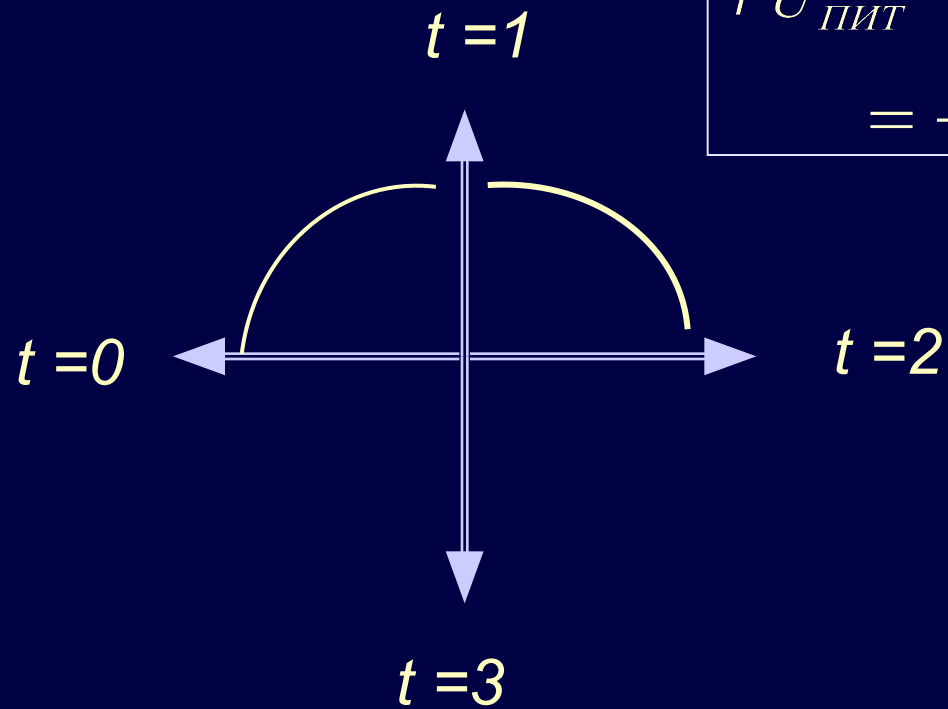
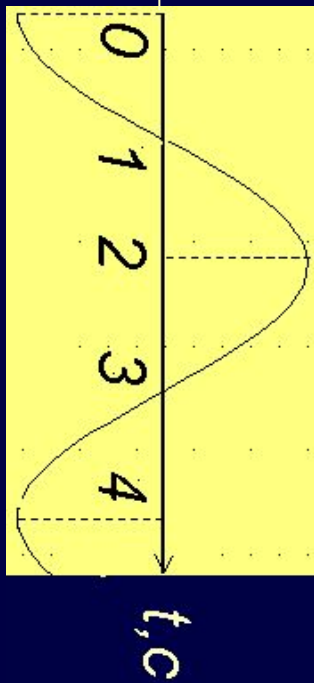
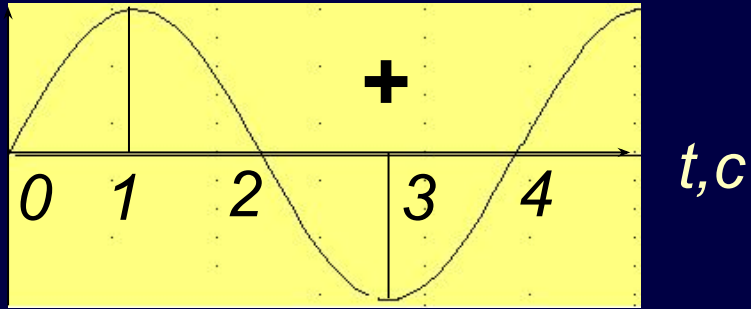
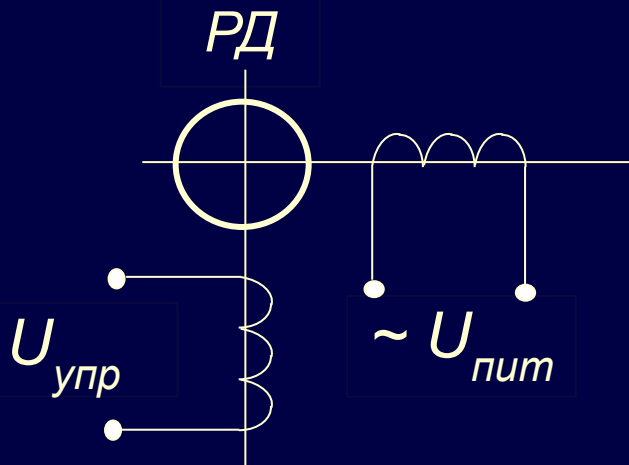


# а) Двухфазный двигатель с полым ротором



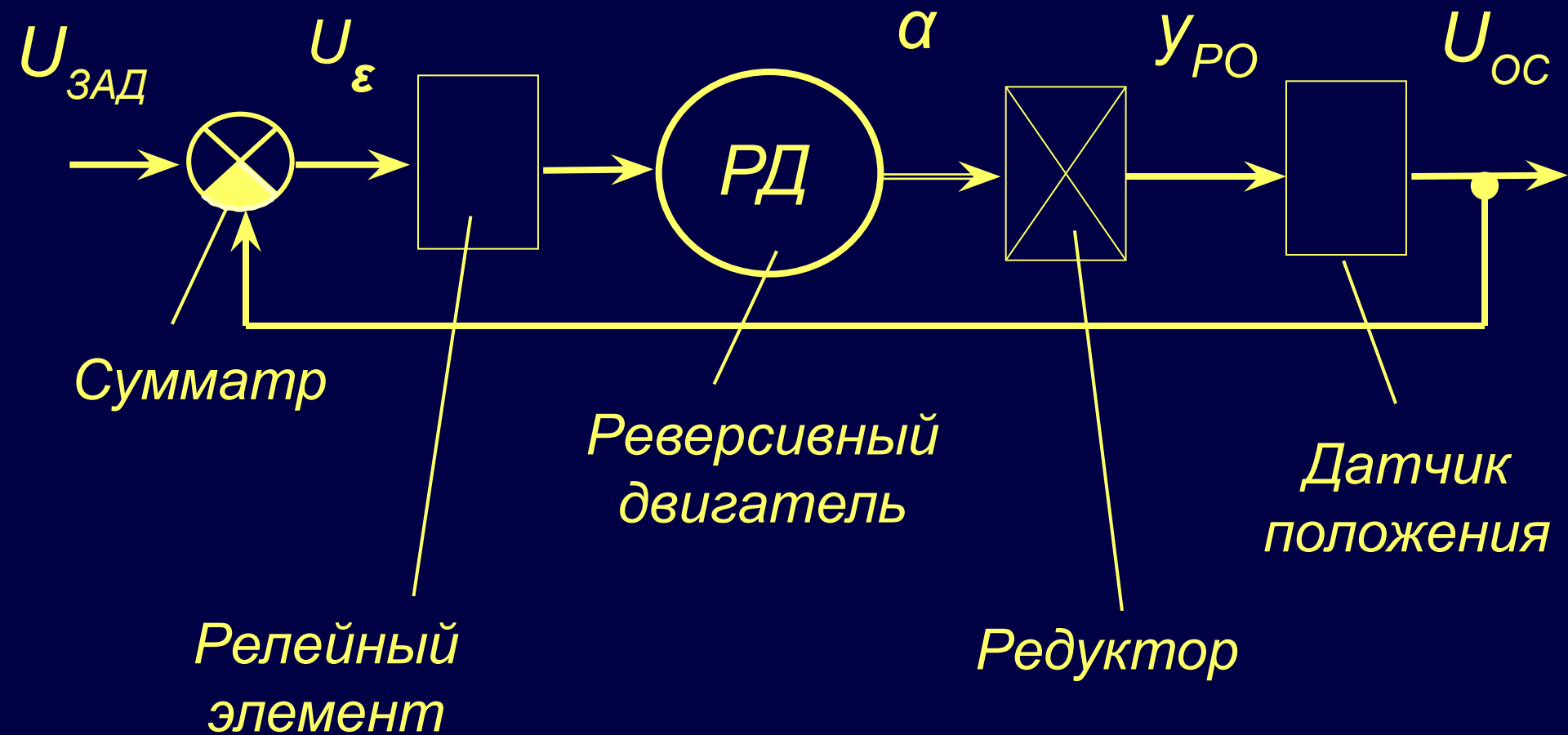
$$\varphi_{U_{ПИТ}} - \varphi_{U_{УПР}} = -90^\circ$$





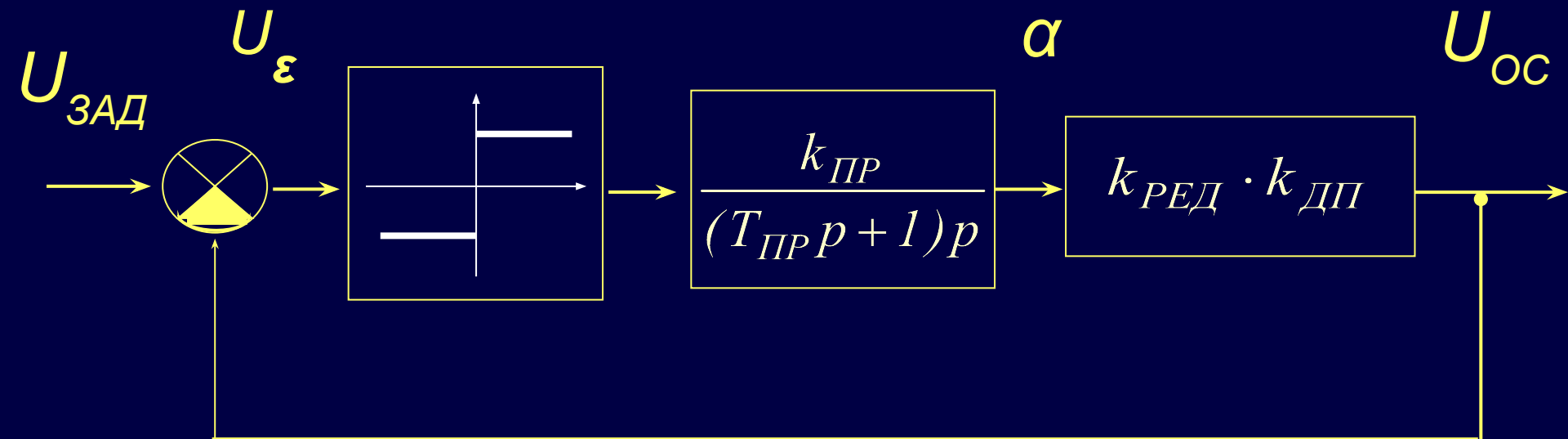
$$\varphi_{U_{пит}} - \varphi_{U_{упр}} = +90^\circ$$

# Функциональная схема электродвигательных ИУ





## Структурная схема электродвигательных ИУ



## 3.2. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

*Устройство, позволяющее изменять расход или направление потока вещества или энергии в технологическом процессе, называются РЕГУЛИРУЮЩИМ ОРГАНОМ (РО)*

*Характеристики РО:*

1) Диапазон регулирования  $\Rightarrow R = \frac{F_{max}}{F_{min}} \Rightarrow F_{max}, F_{min}$  – расходы, при открытом и закрытом РО

2) Расходная характеристика  $\Rightarrow F = f(h) \Rightarrow h$  – положение РО

## Классификация РО:



*РО объемного типа изменяют расход вещества за счет изменения ее объема*

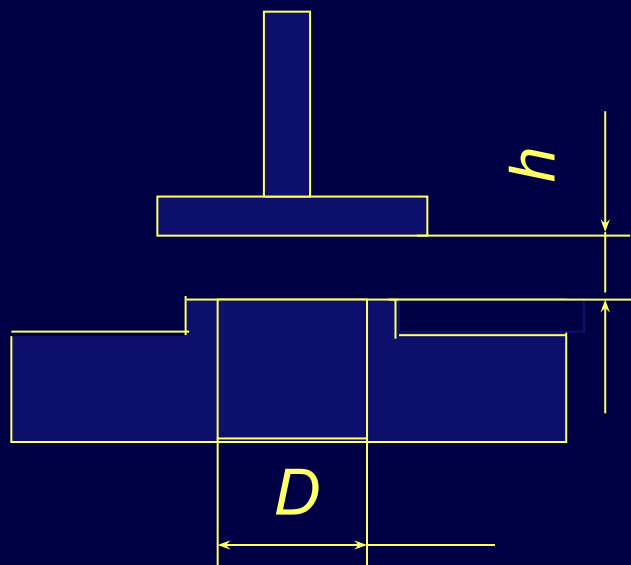
*В РО дроссельного типа управление расходом вещества осуществляется с помощью дроссельных устройств*

*РО скоростного типа изменяют свою производительность изменением скорости вращения*

## РО ДРОССЕЛЬНОГО ТИПА

*В этих РО управление потоками вещества осуществляется с помощью дроссельных устройств*

*Дроссельным называется устройство, предназначенное для изменения расхода протекающих через него жидкостей или газов*



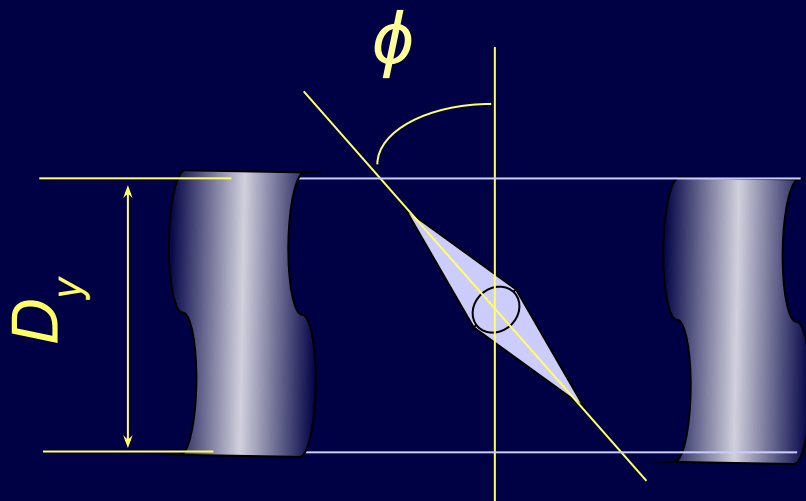
*Тарельчатый клапан*

*Площадь проходного сечения*

$$S = \pi \cdot D \cdot h$$

*( при  $h < 0,25 D$  )*

## Поворотная заслонка

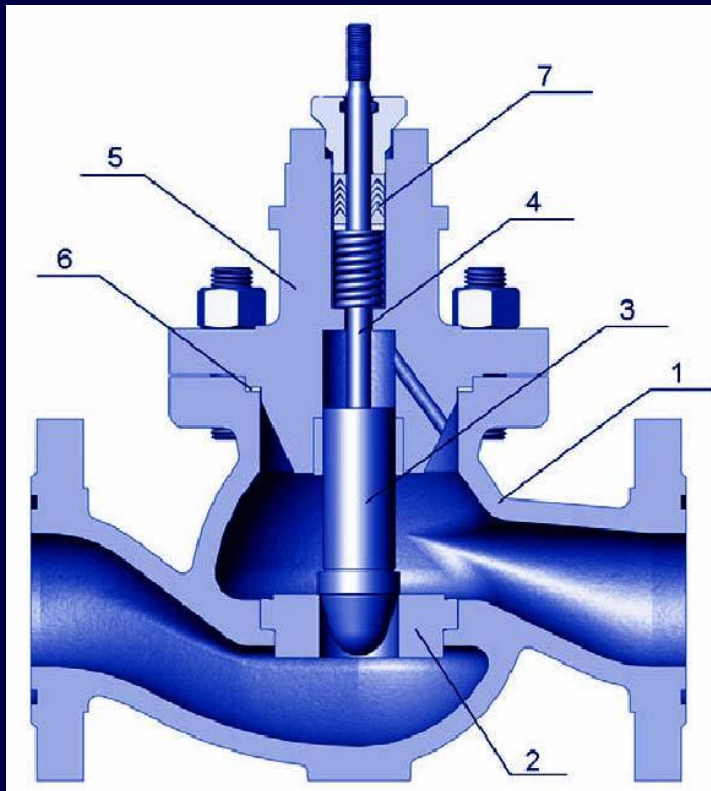


Площадь проходного  
сечения

$$S = 0.78 \cdot D_y^2 \cdot (1 - \cos\phi)$$

# Односедельный регулирующий клапан





Регулирующий клапан состоит из трех основных блоков: корпуса, дроссельного узла и привода клапана.

## РО СКОРОСТНОГО ТИПА

*РО скоростного типа изменяют свою производительность изменением скорости вращения:*

*вытяжные вентиляторы, вибрационные, ленточные, шнековые и др. питатели*

*Шнековый питатель*

