

## ДВА КЛАССА ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

### С САМОВЫРАВНИВАНИЕМ (СТАТИЧЕСКИЕ)

Общий вид передаточной функции:

$$W(S) = \frac{b_1 S^m + b_2 S^{m-1} + \dots + b_{m+1}}{a_1 S^n + a_2 S^{n-1} + \dots + a_{n+1}} e^{-\tau s}$$

- апериодические звенья 1-го, 2-го порядка, с запаздыванием и без;
- колебательные звенья;
- реальные дифференцирующие.

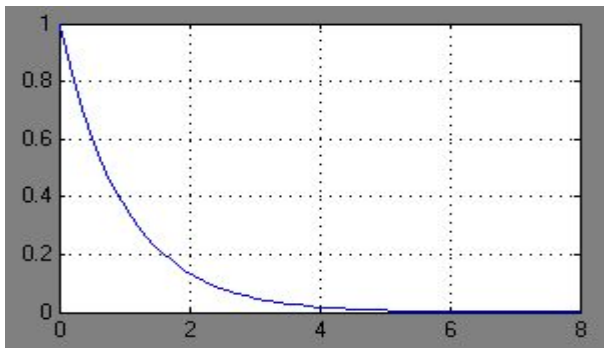
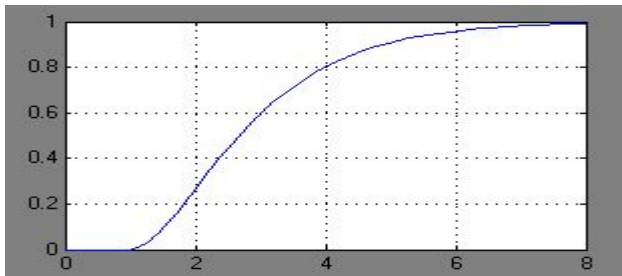
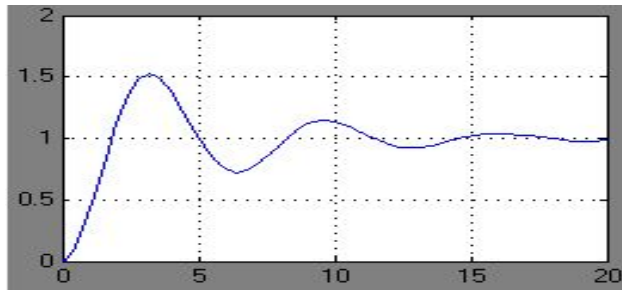
### • БЕЗ САМОВЫРАВНИВАНИЯ (АСТАТИЧЕСКИЕ, ИНТЕГРИР.)

Общий вид передаточной функции:

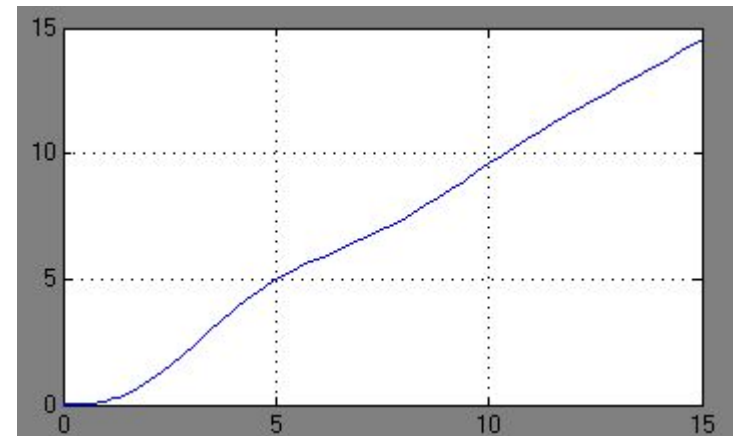
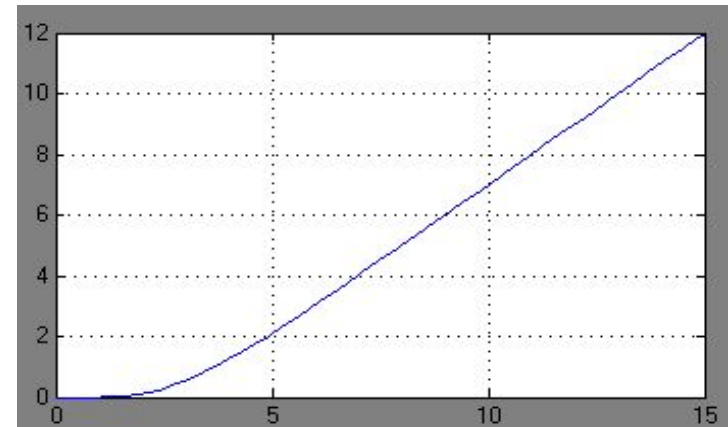
$$W(S) = \frac{b_1 S^m + b_2 S^{m-1} + \dots + b_{m+1}}{S^k (a_1 S^n + a_2 S^{n-1} + \dots + a_{n+1})} e^{-\tau s}$$

# ПЕРЕХОДНЫЕ ФУНКЦИИ (РАЗГОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ)

- **СТАТИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ**



- **АСТАТИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ**



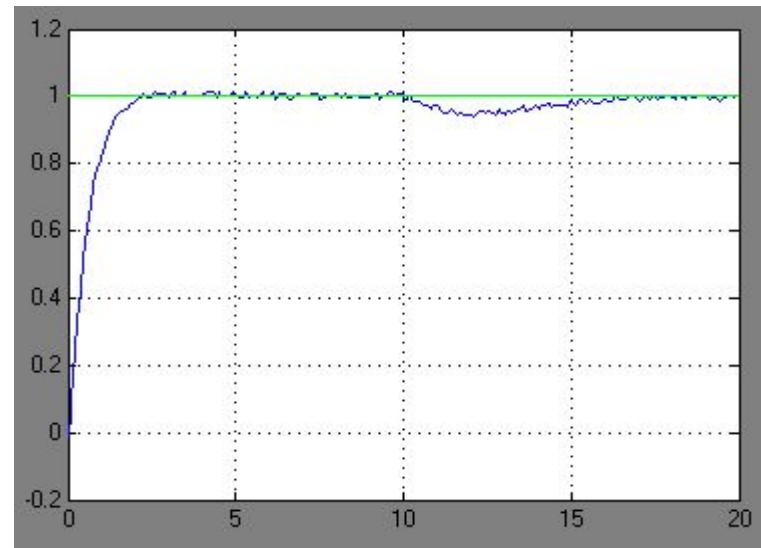
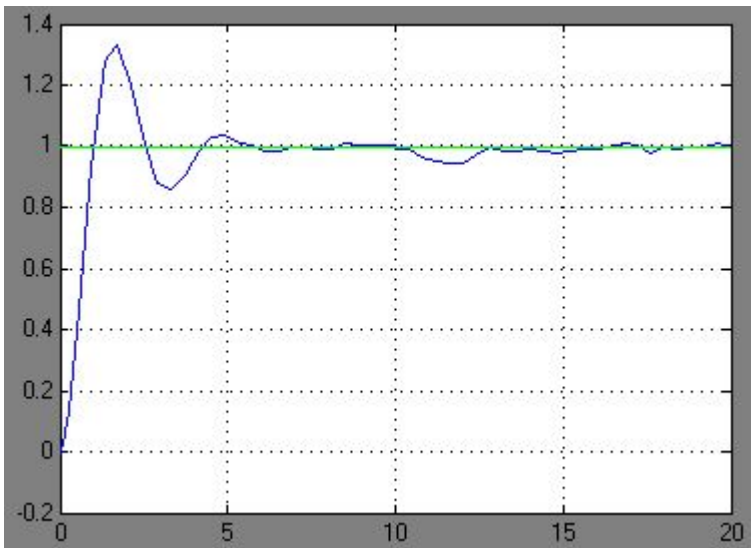
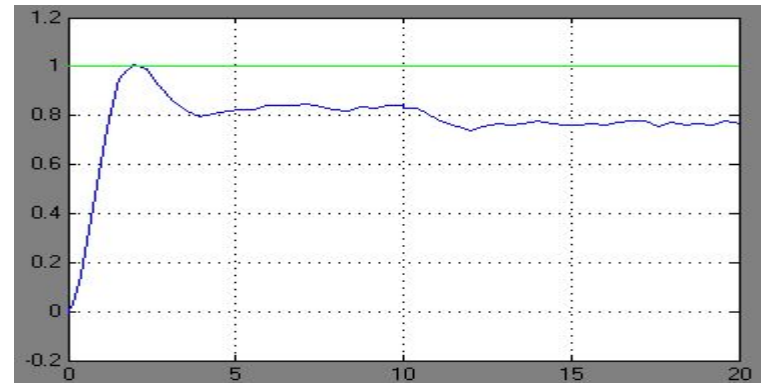
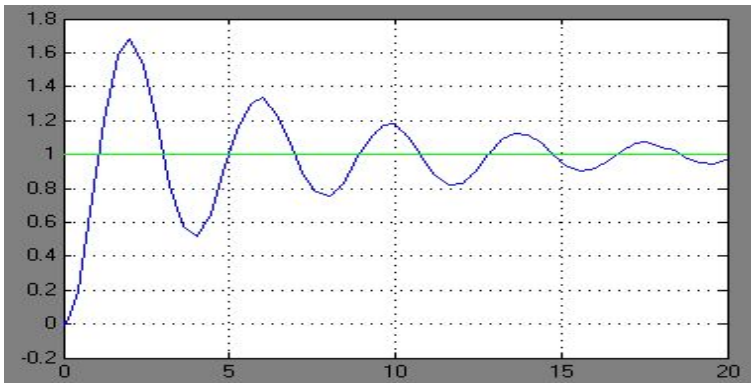
# ПРИМЕРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

- **СТАТИЧЕСКИЕ**
  1. Печь. **Вход** – расход газа, **выход** – температура.
  2. Эл.двигатель постоянного тока. **Вход**- напряжение якоря, **выход** – скорость вращения якоря.
  3. Ёмкость для разбавления пульпы. **Вход** – соотношение расходов пульпы и воды на разбавление, **выход** – плотность разбавленной пульпы.
- **АСТАТИЧЕСКИЕ**
  1. Цилиндр с поршнем в системе гидропривода. **Вход** – расход масла в цилиндр, **выход** – перемещение поршня.
  2. Эл.двигатель постоянного тока. **Вход** – напряжение якоря, **выход**- угол поворота якоря.
  3. Ёмкость для разбавления пульпы. **Вход** – разность между расходами на входе и выходе емкости, **выход** – уровень в ёмкости.

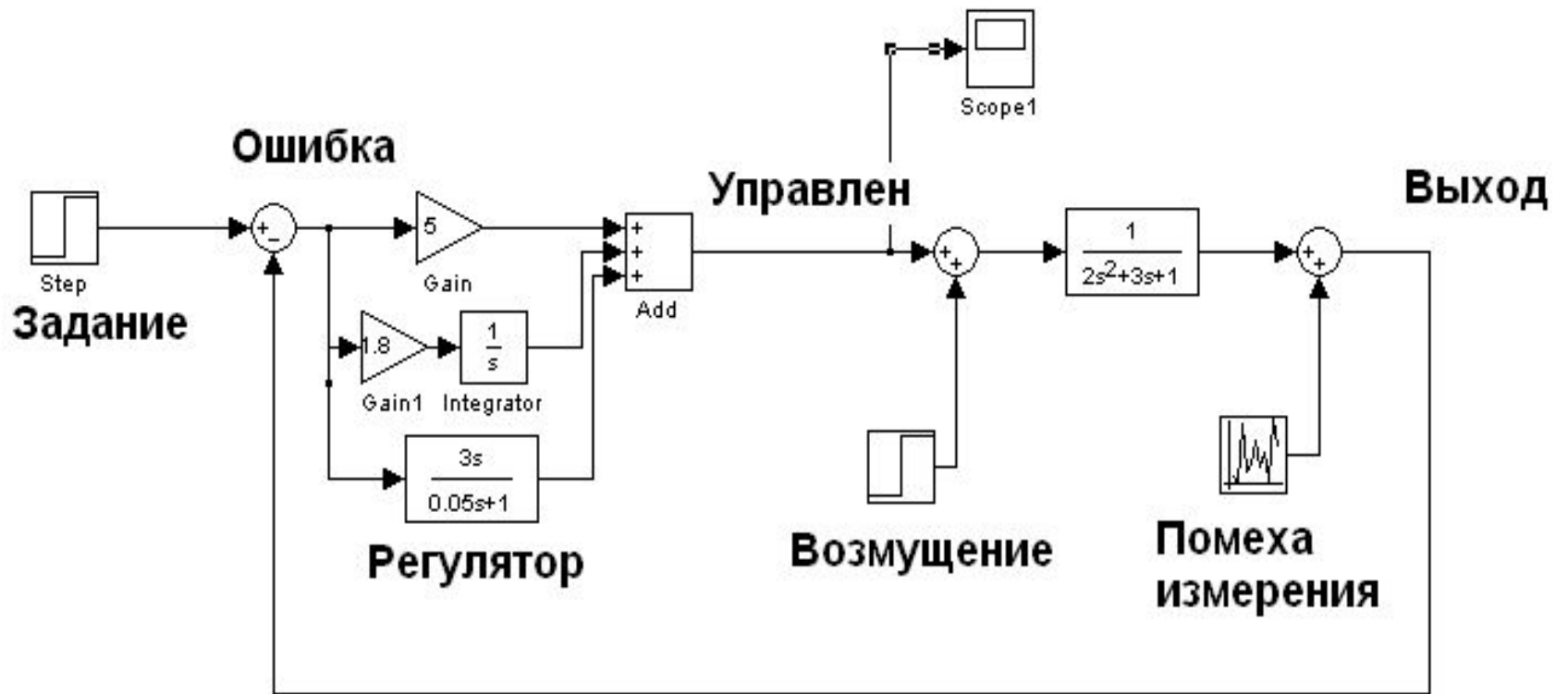
## ТРЕБОВАНИЯ К САР

- **1. Устойчивость – способность возвращаться в установившийся режим после прекращения действия возмущений.**
- **2. Высокая точность в установившихся режимах – малая величина ошибки (рассогласования) после завершения переходных процессов.**
- **3. Высокое качество переходных процессов – небольшое время регулирования, перерегулирование, количество колебаний.**
- **4. Грубость (робастность) – способность сохранять качество работы при небольших отклонениях параметров объекта от исходных в процессе эксплуатации системы.**

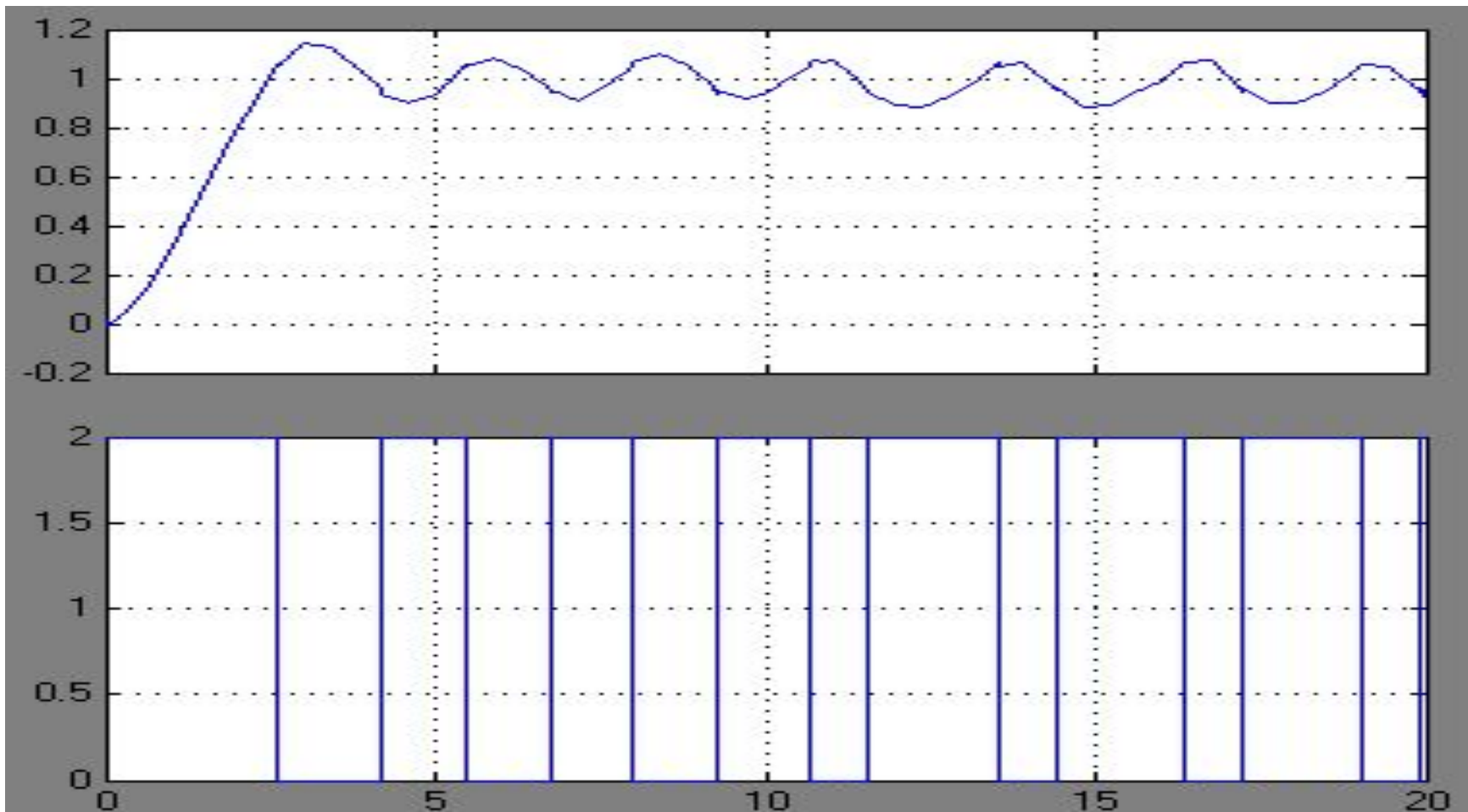
# ПРИМЕРЫ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В САР



# СХЕМА КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ



# СИСТЕМА С РЕЛЕЙНЫМ ПОЗИЦИОННЫМ РЕГУЛЯТОРОМ



## СИСТЕМА С П-РЕГУЛЯТОРОМ ( $U(t)=K_p \cdot \varepsilon(t)$ )

1. Объект статический.

$$W_{OB}(S) = \frac{K_{OB}}{T_{OB}(S) + 1}$$

$$W_{X\varepsilon}(S) = \frac{1}{1 + W_{PEГ}(S) \cdot W_{OB}(S)} = \frac{1}{1 + K_P \cdot \frac{K_{OB}}{T_{OB}S + 1}} = \frac{T_{OB}S + 1}{T_{OB}S + 1 + K_P \cdot K_{OB}}$$

$$W_{F\varepsilon}(S) = -\frac{W_{OB}(S)}{1 + W_{PEГ}(S) \cdot W_{OB}(S)} = -\frac{K_{OB}}{T_{OB}S + 1 + K_P \cdot K_{OB}}$$

$$\varepsilon_{УСТ} = X \cdot W_{X\varepsilon}(0) + F \cdot W_{F\varepsilon}(0) = \frac{1}{1 + K_P \cdot K_{OB}} \cdot X - \frac{K_{OB}}{1 + K_P K_{OB}} \cdot F \neq 0$$



## СИСТЕМА С П-регулятором

2. Объект астатический  $W_{OB}(S) = \frac{K_{OB}}{S \cdot (T_{OB}S + 1)}$

$$W_{X\varepsilon}(S) = \frac{S \cdot (T_{OB}S + 1)}{T_{OB}S^2 + S + K_P \cdot K_{OB}}$$

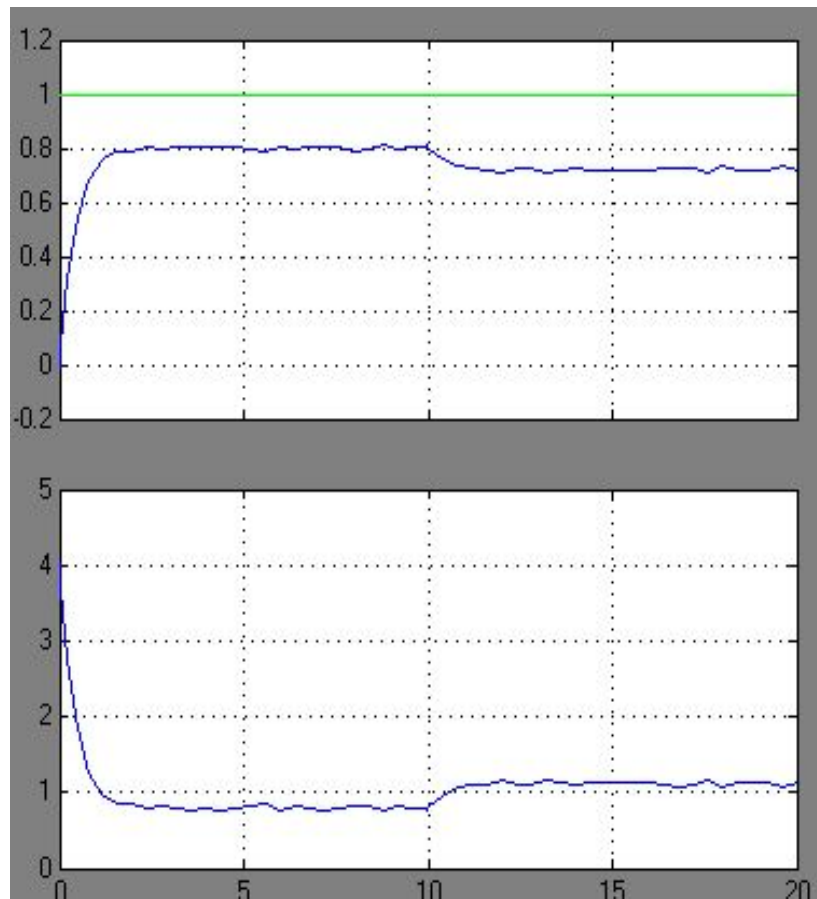
$$W_{F\varepsilon}(S) = -\frac{K_{OB}}{T_{OB}S^2 + S + K_P \cdot K_{OB}}$$

$$\varepsilon_{УСТ} = X \cdot W_{X\varepsilon}(0) + F \cdot W_{F\varepsilon}(0) = 0 - \frac{1}{K_P} \cdot F \neq 0$$

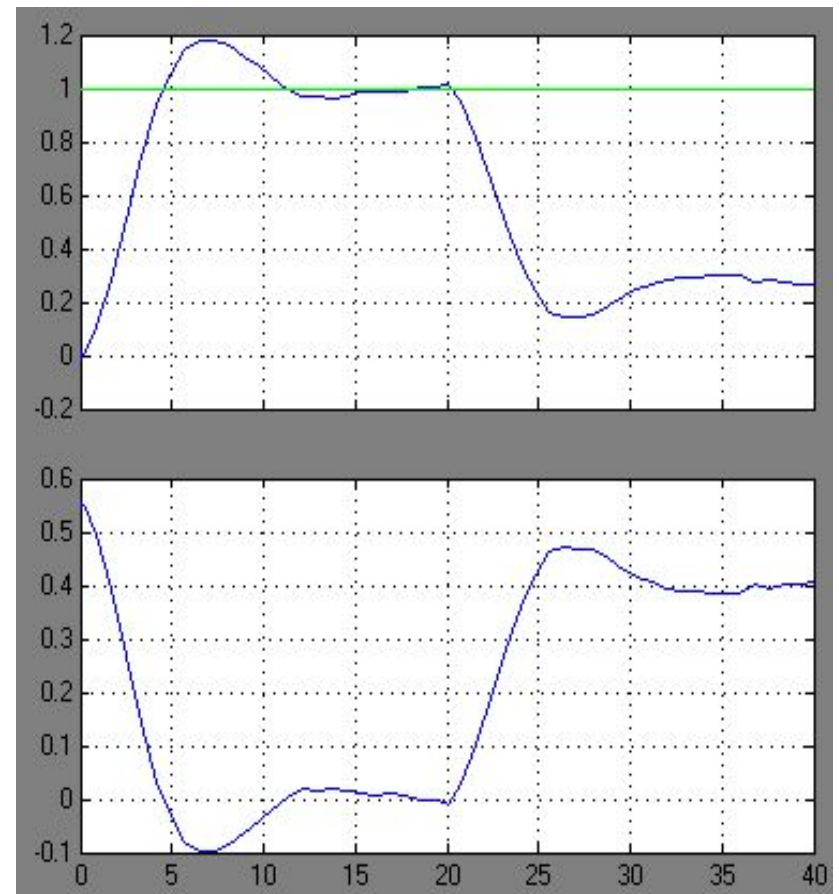
$$S_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 4 \cdot T_{OB} \cdot K_{OB} \cdot K_P}}{2 \cdot T_{OB}}$$

# КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ С П-РЕГУЛЯТОРОМ

## Статический объект



## Астатический объект



## СИСТЕМА С И-РЕГУЛЯТОРОМ

Передаточная функция регулятора  $W_{PEГ}(S) = \frac{K_i}{S}$   
**1. Статический объект**

$$W_{XE}(S) = \frac{1}{1 + W_{PEГ}(S) \cdot W_{OE}(S)} = \frac{1}{1 + \frac{K_i}{S} \cdot \frac{K_{OE}}{T_{OE}S + 1}} = \frac{S(T_{OE}S + 1)}{T_{OE}S^2 + S + K_i \cdot K_{OE}}$$

$$W_{FE}(S) = -\frac{W_{OE}(S)}{1 + W_{PEГ}(S) \cdot W_{OE}(S)} = -\frac{K_{OE}S}{T_{OE}S^2 + S + K_i K_{OE}}$$

$$\varepsilon_{уст} = X \cdot W_{XE}(0) + F \cdot W_{FE}(0) = 0. \text{ Точность в статике}$$

**высокая.**

$$S_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 4 \cdot T_{OE} \cdot K_{OE} \cdot K_i}}{2T_{OE}}. \text{ Склонность к колебательным}$$

**переходным процессам.**

## СИСТЕМА С И-РЕГУЛЯТОРОМ

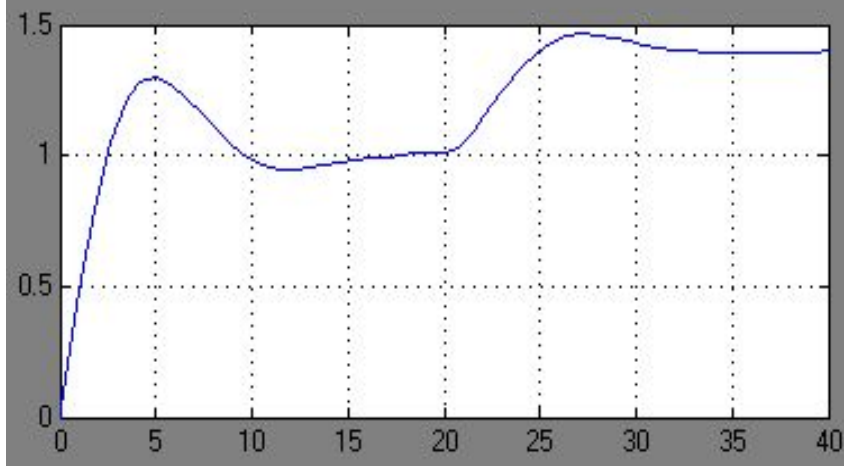
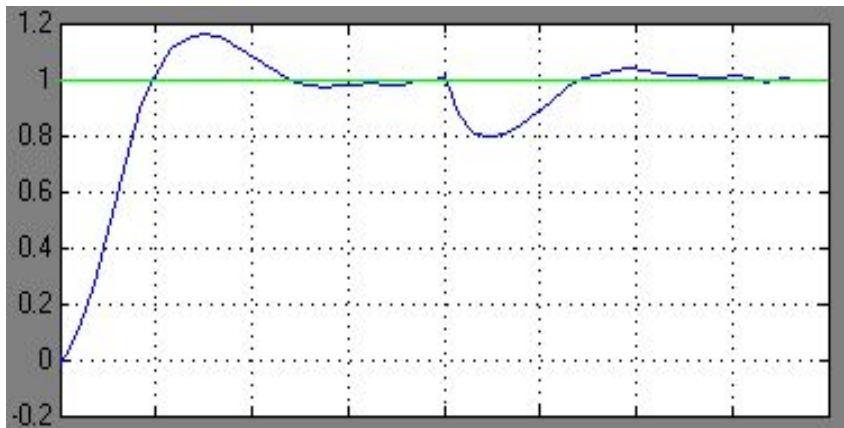
### 2. Астатический объект

$$W_{ХЗ}(S) = \frac{1}{1 + W_{РВГ}(S) \cdot W_{ОБ}(S)} = \frac{1}{1 + \frac{K_i}{S} \cdot \frac{K_{ОБ}}{S(T_{ОБ}S + 1)}} = \frac{S^2(T_{ОБ}S + 1)}{T_{ОБ}S^3 + S^2 + K_i \cdot K_{ОБ}}$$

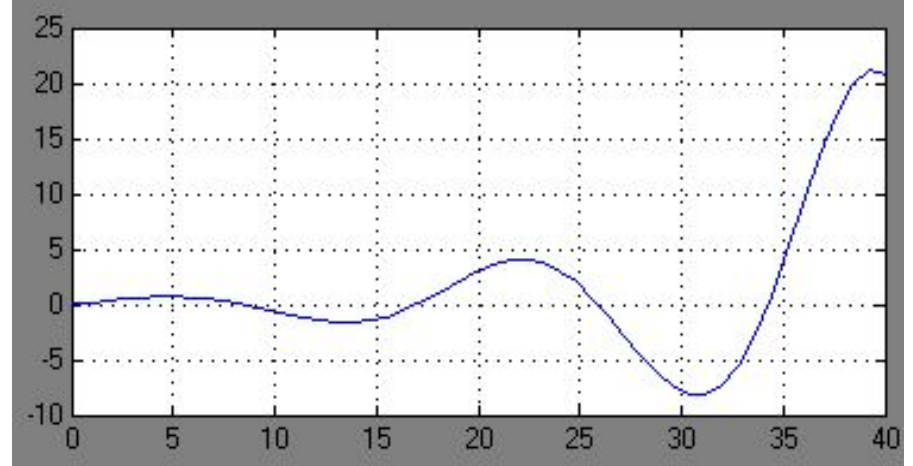
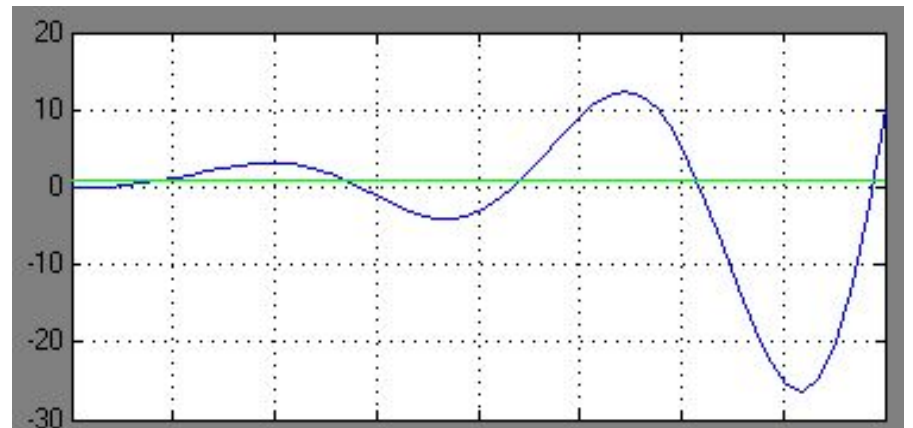
**В характеристическом полиноме отсутствует S в первой степени. Следовательно, нарушается НЕОБХОДИМОЕ условие устойчивости линейной системы. Т.Е. система не устойчива при любых значениях  $K_i$  (система структурно не устойчива)!!!**

# ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В САР С И-регулятором

## 1. Статический объект



## 2. Астатический объект



## СИСТЕМА С ПД-регулятором

Передаточная функция регулятора  $W_{PEГ}(S) = K_P + \frac{K_D S}{T_D S + 1}$

$$W_{X\varepsilon}(S) = \frac{1}{1 + \left(K_P + \frac{K_D S}{T_D S + 1}\right) \cdot \frac{K_{OB}}{T_{OB} S + 1}} = \frac{(T_{OB} S + 1)(T_D S + 1)}{T_{OB} \cdot T_D S^2 + (T_D + T_{OB} + T_D K_P K_{OB} + K_D K_{OB})S + 1 + K_P \cdot K_{OB}}$$

$$W_{F\varepsilon}(S) = - \frac{\frac{K_{OB}}{T_{OB} S + 1}}{1 + \left(K_P + \frac{K_D S}{T_D S + 1}\right) \cdot \frac{K_{OB}}{T_{OB} S + 1}} = - \frac{K_{OB}(T_D S + 1)}{T_{OB} \cdot T_D S^2 + (T_D + T_{OB} + T_D K_P K_{OB} + K_D K_{OB})S + 1 + K_P \cdot K_{OB}}$$

$$\varepsilon_{VCT} = X \cdot W_{X\varepsilon}(0) + F \cdot W_{F\varepsilon}(0) = \frac{1}{1 + K_P \cdot K_{OB}} \cdot X - \frac{K_{OB}}{1 + K_P K_{OB}} \cdot F \neq 0$$

## ПД-регулятор для астатического объекта

**Объект**  $W_{OB}(S) = \frac{K_{OB}}{S(T_{OB}S + 1)}$ . **Регулятор**  $W_P(S) = K_P + K_D S$ .

$$W_{XS}(S) = \frac{1}{1 + \frac{K_{OB}}{S(T_{OB}S + 1)} \cdot (K_P + K_D S)} = \frac{S(T_{OB}S + 1)}{T_{OB}S^2 + (1 + K_D K_{OB})S + K_P K_{OB}}$$

$$S_{1,2} = \frac{-(1 + K_D K_{OB}) \pm \sqrt{(1 + K_D K_{OB})^2 - 4T_{OB}K_P K_{OB}}}{2T_{OB}}$$

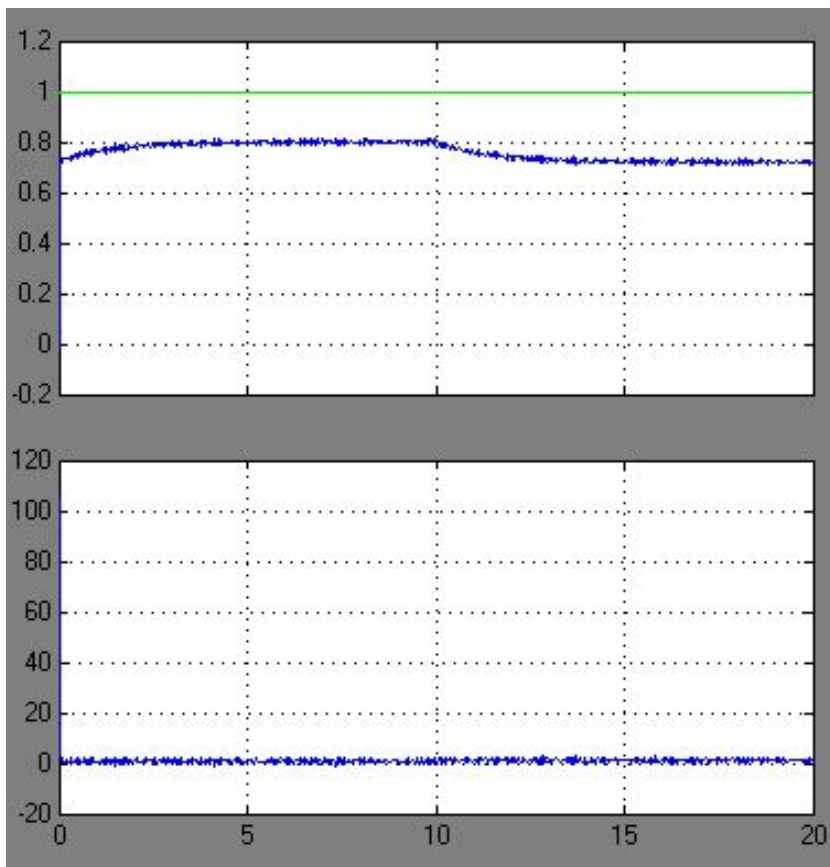
**Сравним с П-регулятором**

$$S_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 4T_{OB}K_P K_{OB}}}{2T_{OB}}.$$

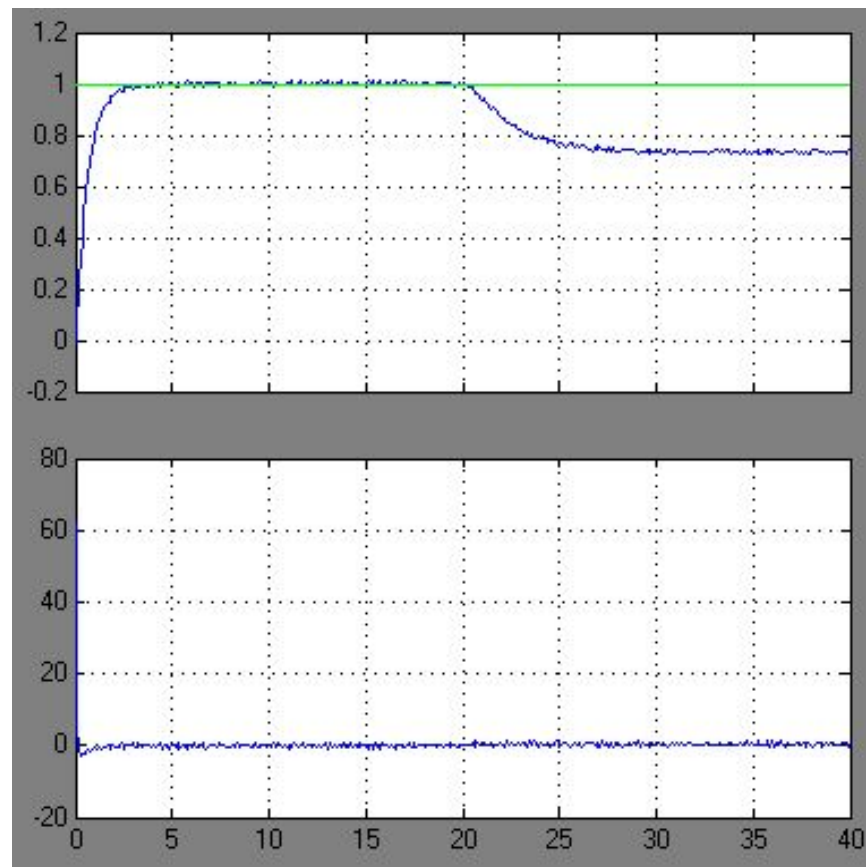
**ПД-регулятор позволяет уменьшить колебательность переходного процесса.**

# ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС В САР С ПД-регулятором

1. Статический объект



2. Астатический объект





## СИСТЕМА С ПИ-регулятором

Передаточная функция регулятора  
Статический объект

$$W_{PEF}(S) = K_P + \frac{K_i}{S}$$

$$W_{X\varepsilon}(S) = \frac{1}{1 + W_{PEF}(S) \cdot W_{OB}(S)} = \frac{1}{1 + \left(K_P + \frac{K_i}{S}\right) \cdot \frac{K_{OB}}{T_{OB}S + 1}} = \frac{S(T_{OB}S + 1)}{T_{OB}S^2 + (1 + K_P K_{OB})S + K_i \cdot K_{OB}}$$

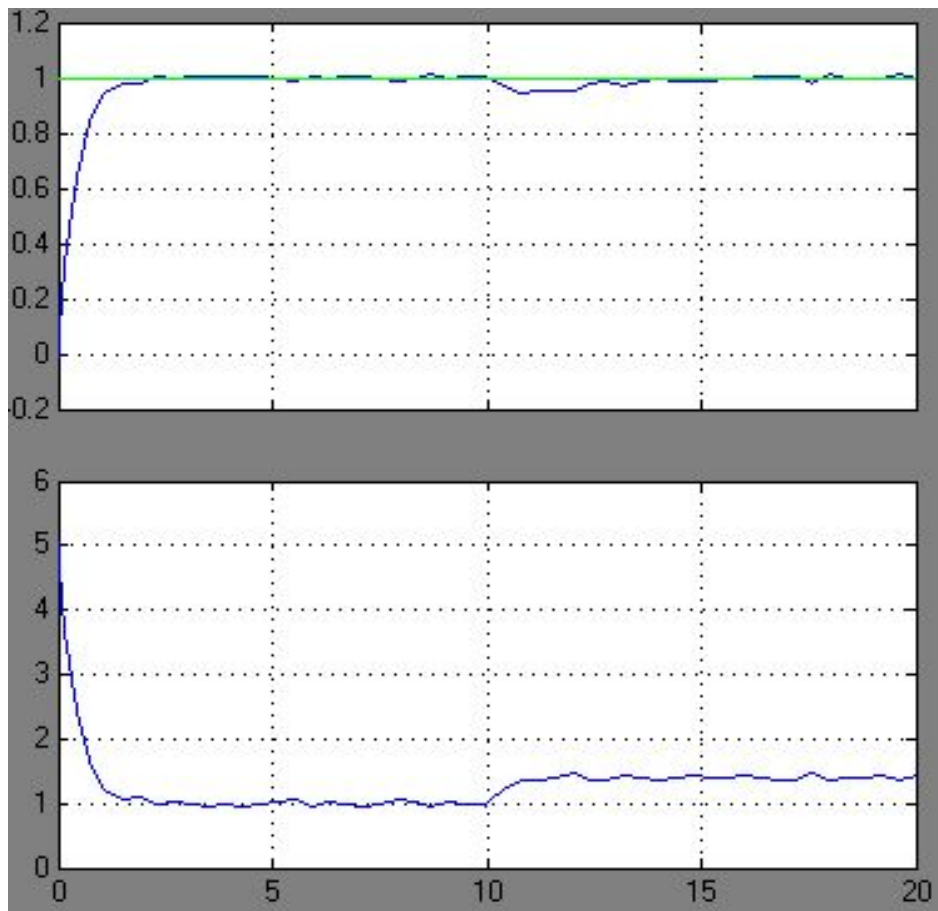
$$W_{F\varepsilon}(S) = -\frac{W_{OB}(S)}{1 + W_{PEF}(S) \cdot W_{OB}(S)} = -\frac{K_{OB}S}{T_{OB}S^2 + (1 + K_P \cdot K_{OB})S + K_i K_{OB}}$$

$$\varepsilon_{уст} = X \cdot W_{X\varepsilon}(0) + F \cdot W_{F\varepsilon}(0) = 0$$

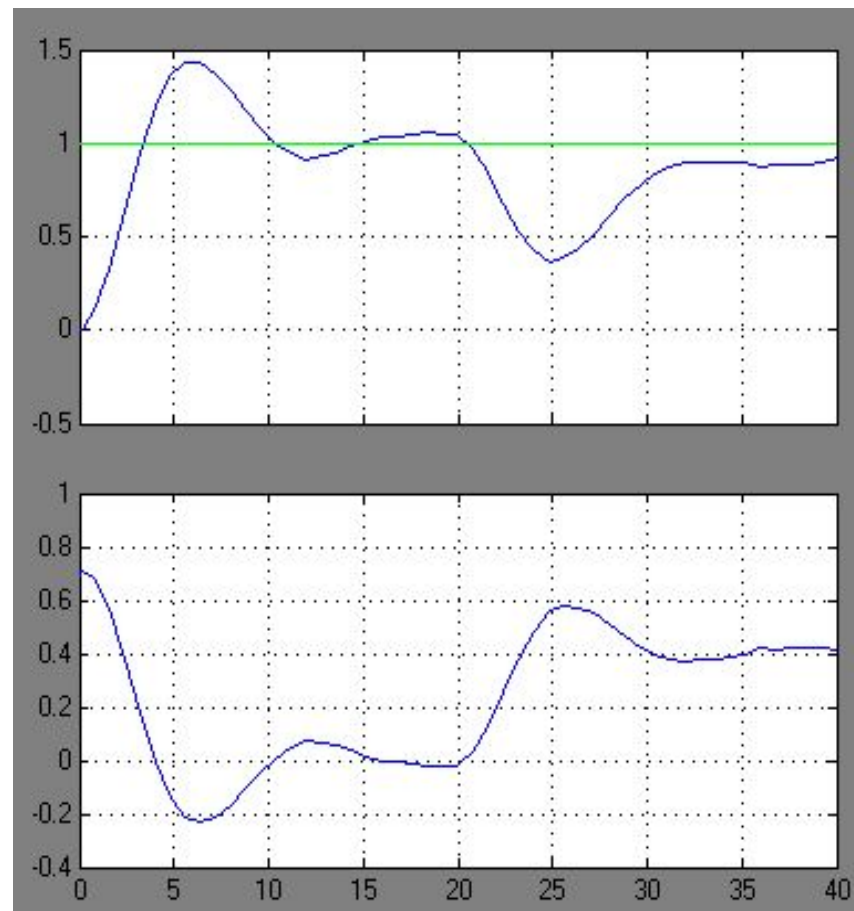
$$S_{1,2} = \frac{-(1 + K_P K_{OB}) \pm \sqrt{(1 + K_P K_{OB})^2 - 4T_{OB}K_i K_{OB}}}{2T_{OB}}$$

# ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В САР С ПИ-регулятором

## 1. Статический объект

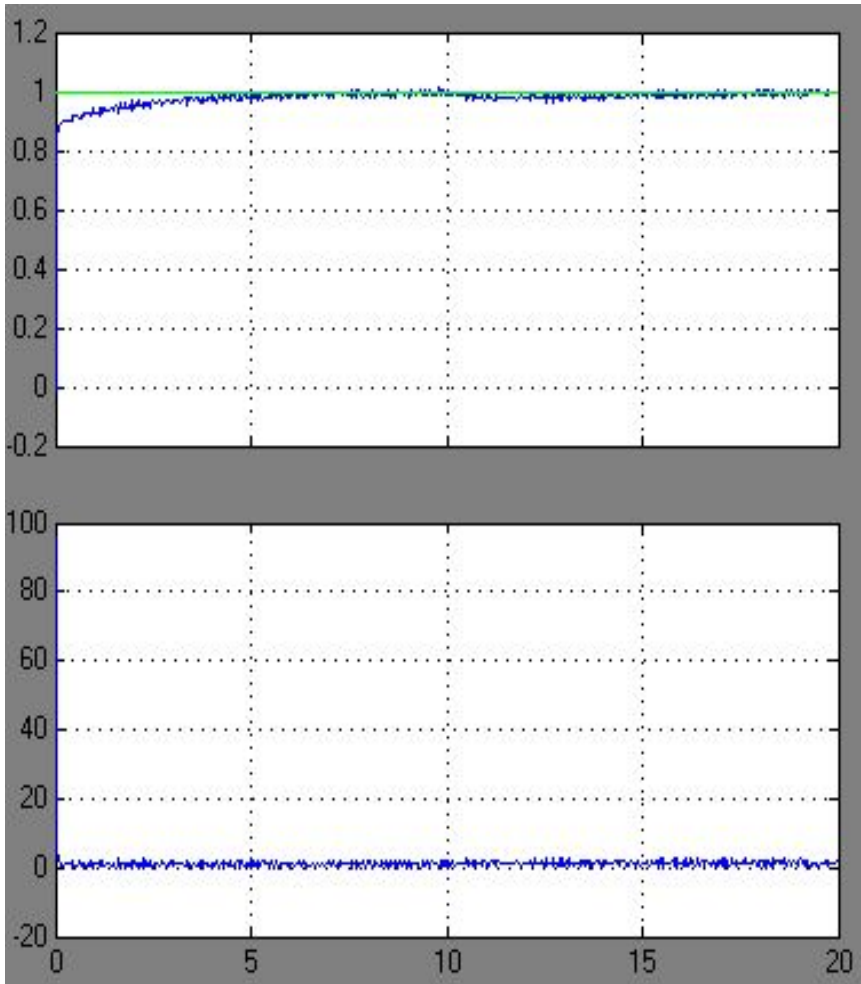


## 2. Астатический объект

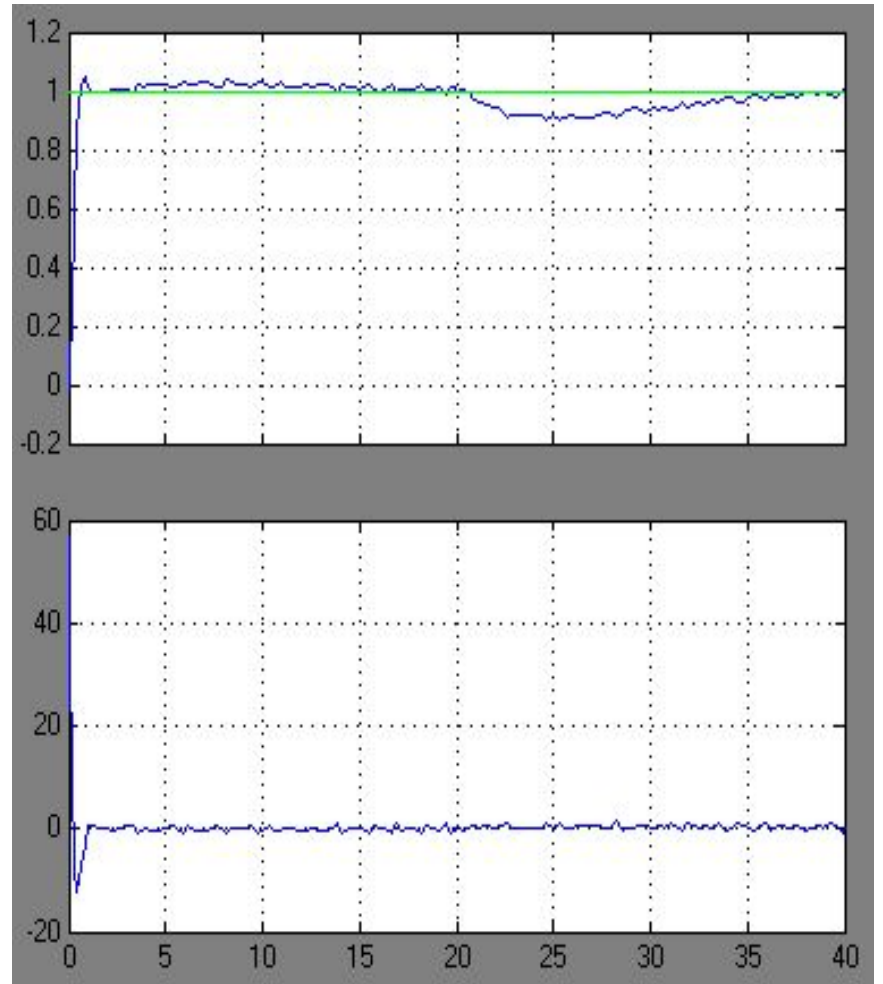


# СИСТЕМА С ПИД-регулятором

## 1. Статический объект



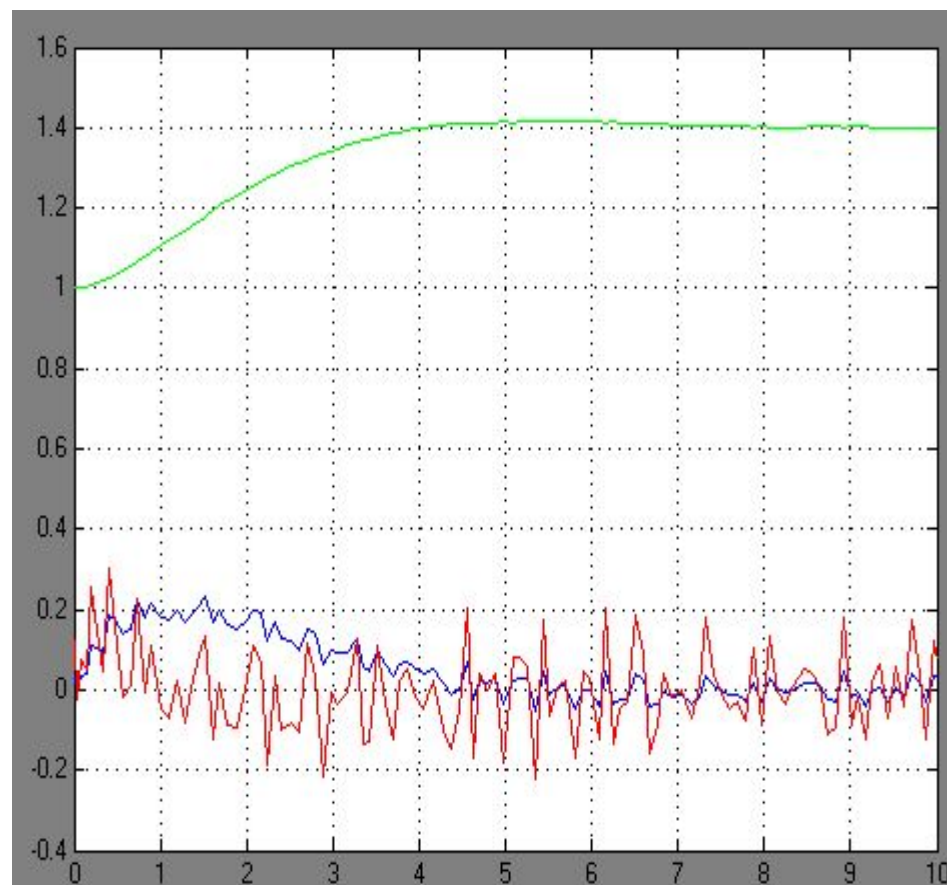
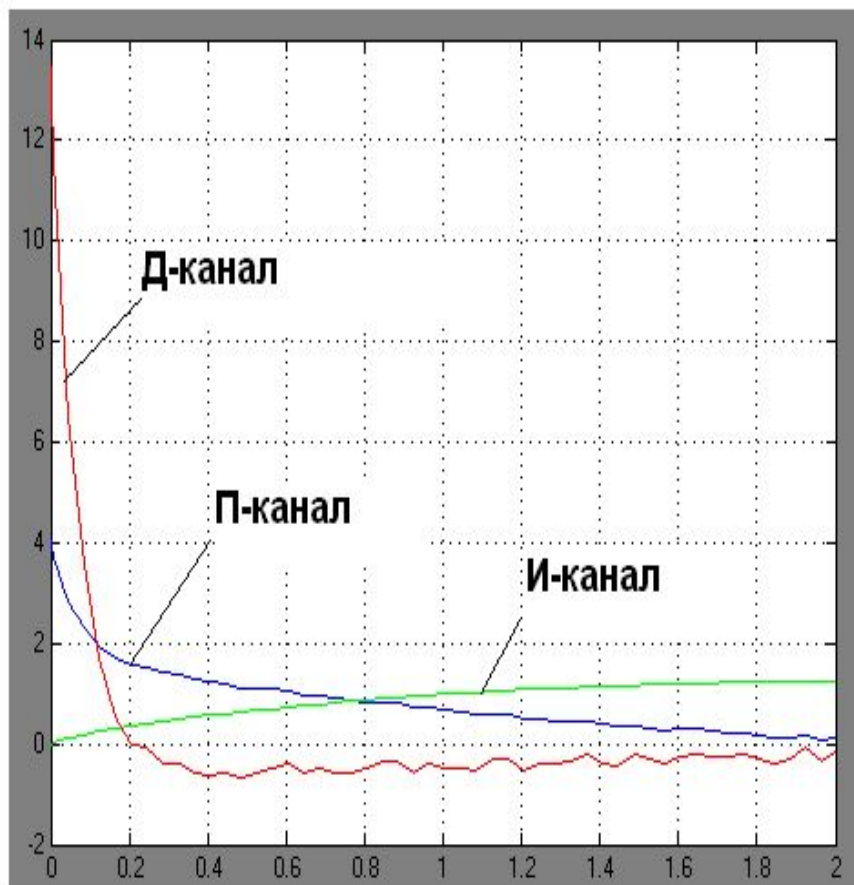
## 2. Астатический объект



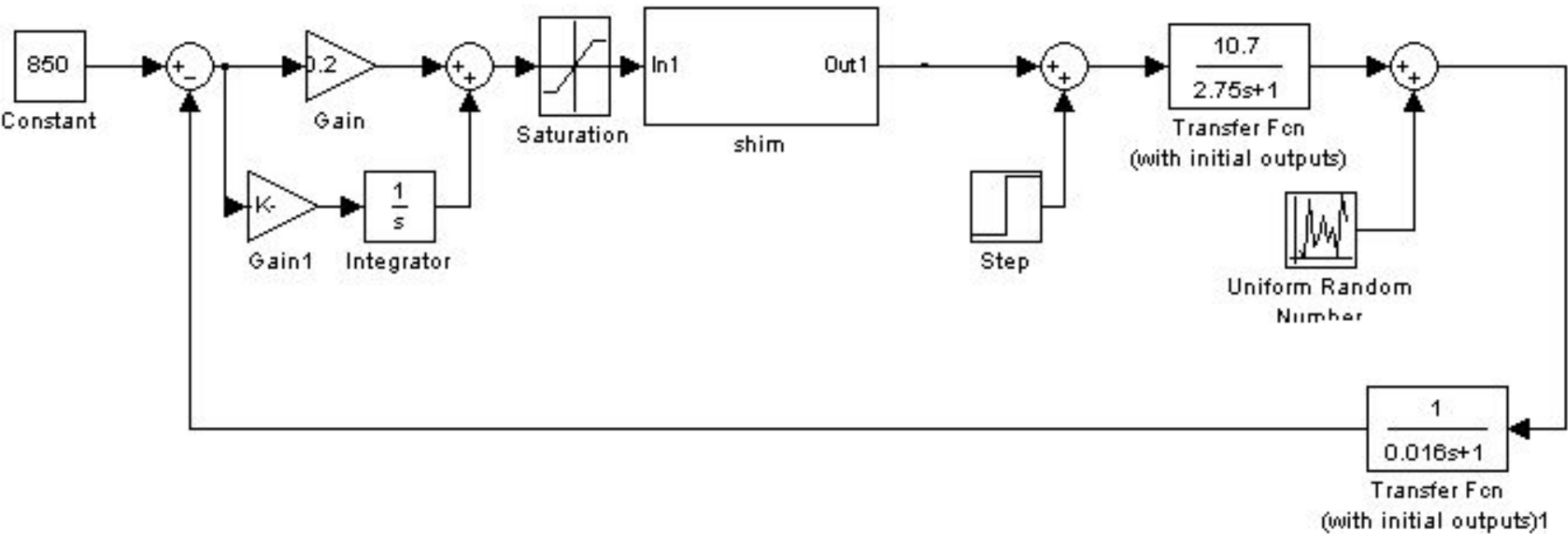
# РАБОТА РАЗЛИЧНЫХ КАНАЛОВ ПИД-регулятора

1. Отработка ступенчатого задания

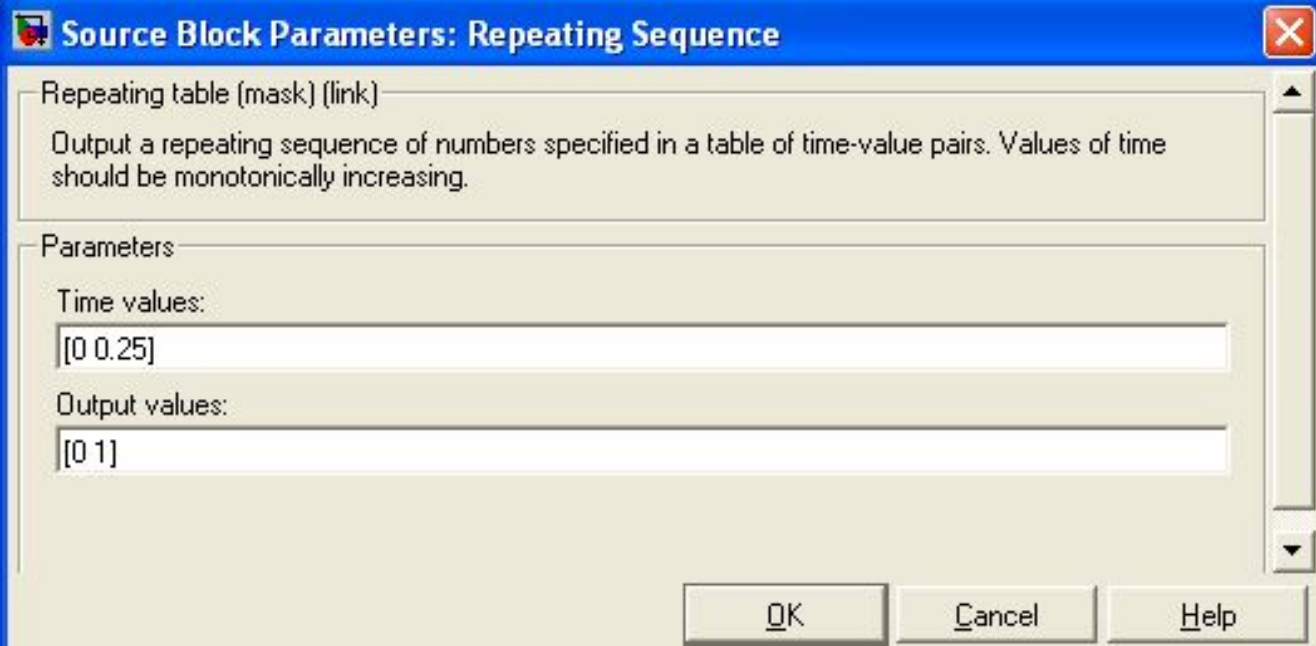
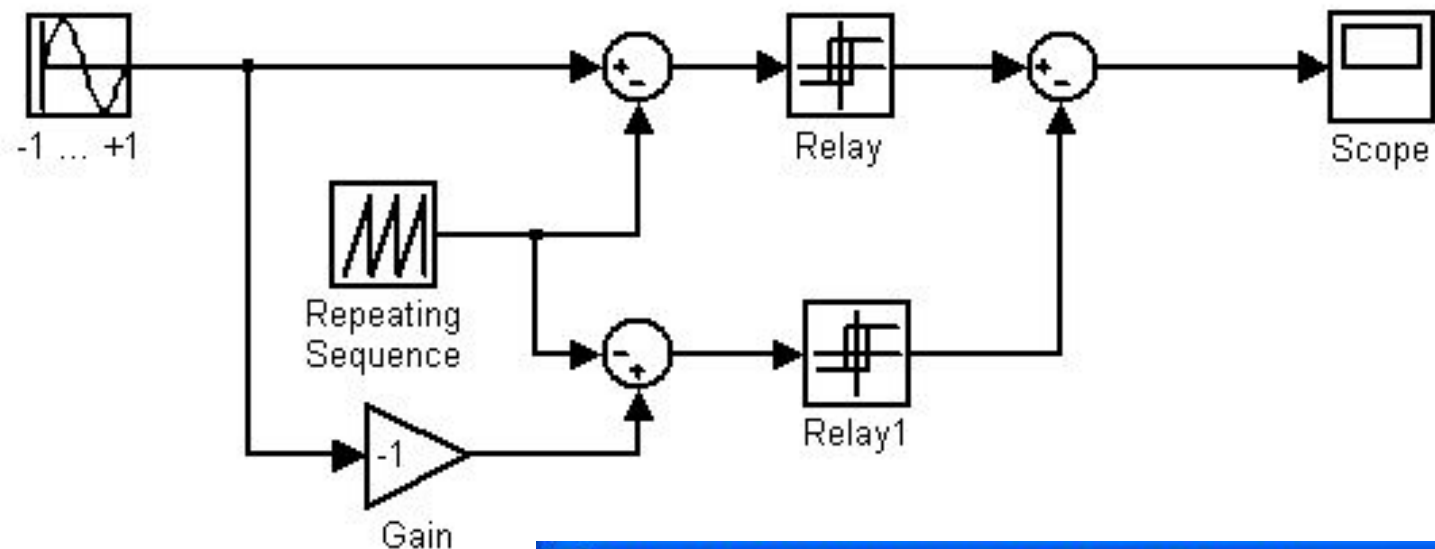
2. Подавление ступенчатого возмущения



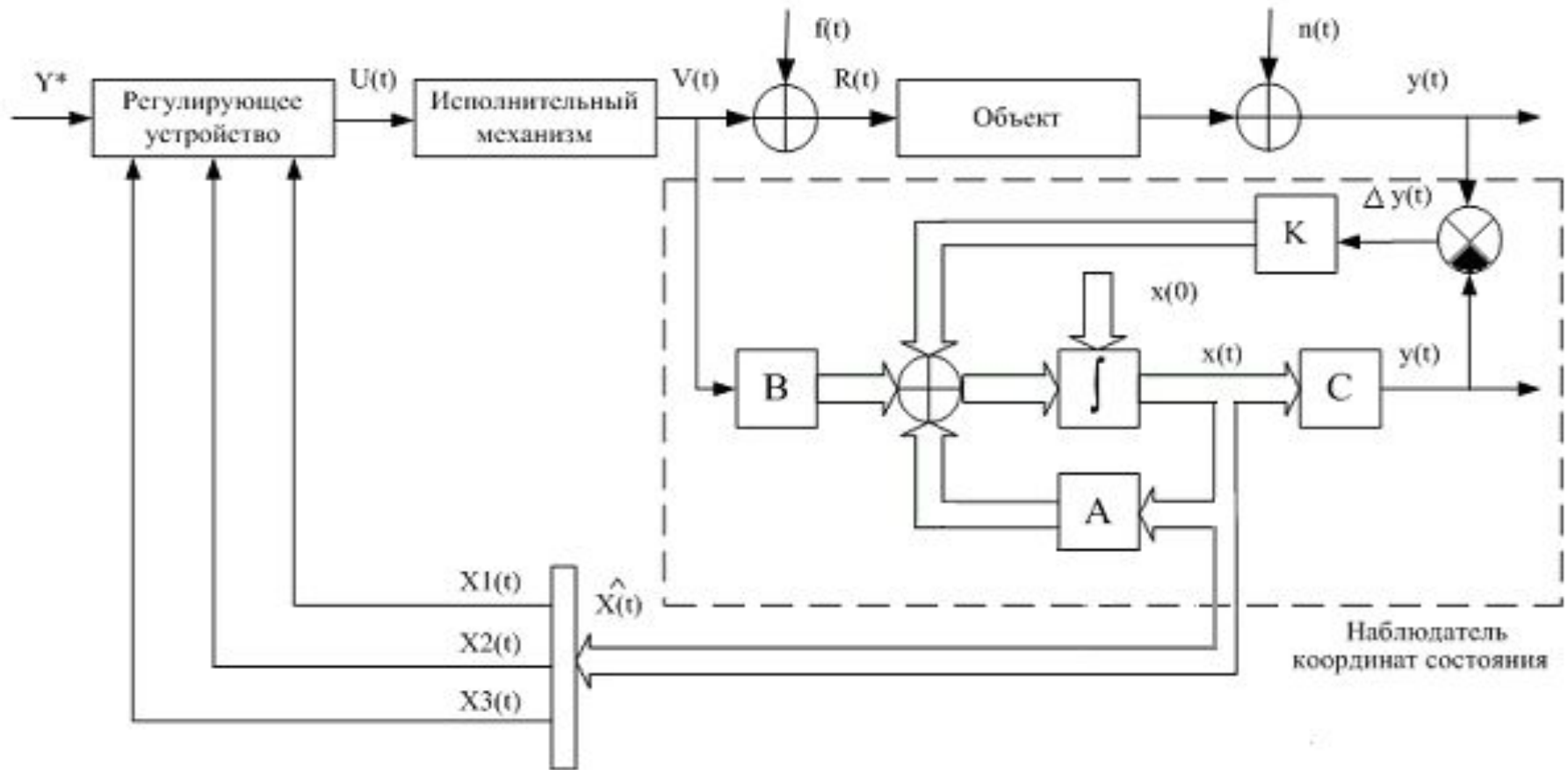
# САР С ШИМ-регулятором



## РЕГУЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИМ

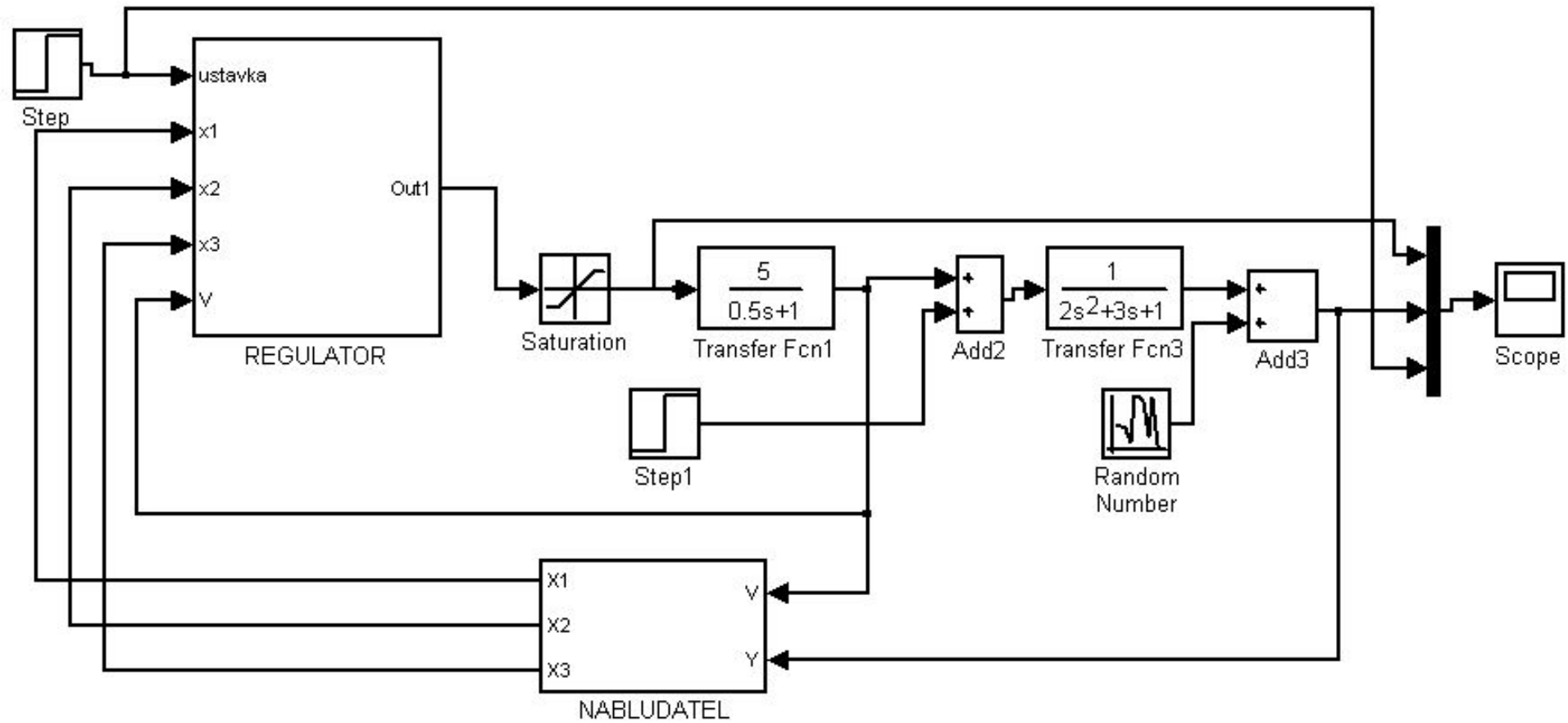


# СТРУКТУРА САР С РЕГУЛЯТОРОМ СОСТОЯНИЯ И НАБЛЮДАТЕЛЕМ



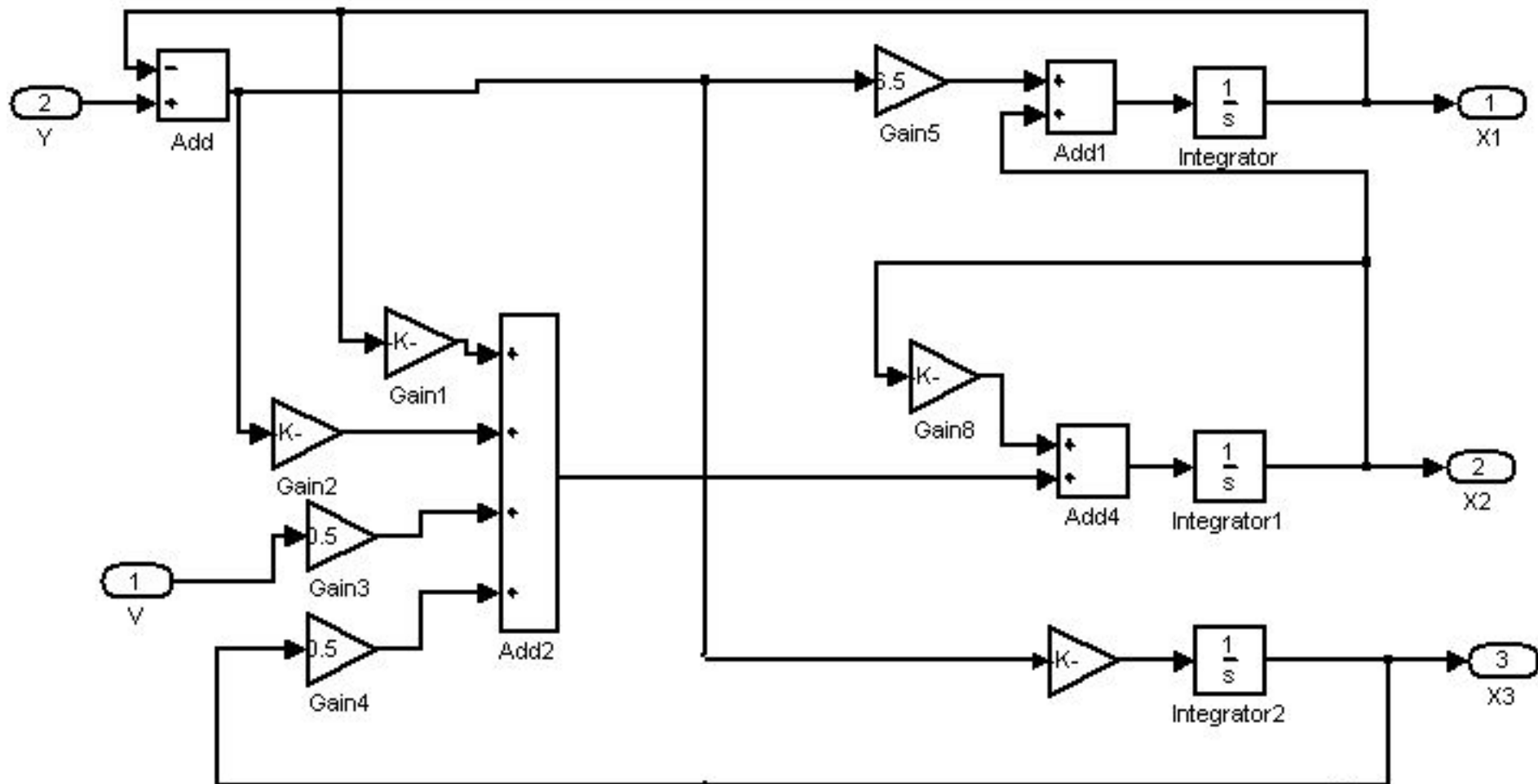
$$U(t) = U_n(t) + \sum_{i=1}^2 R_i \cdot (X_i^* - X_i)$$

# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА САР С НАБЛЮДАТЕЛЕМ В МАТЛАВ

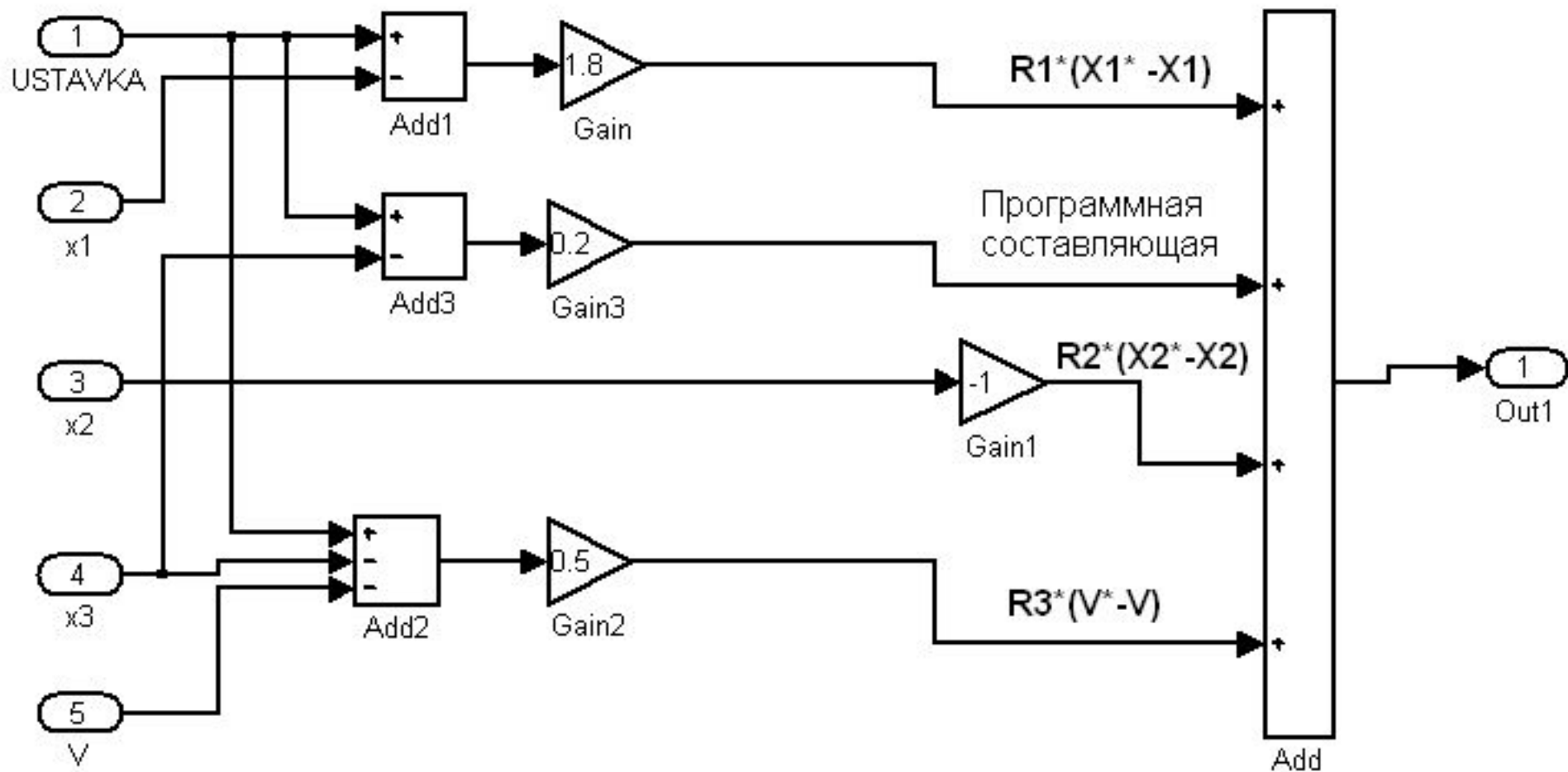




# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА НАБЛЮДАТЕЛЯ

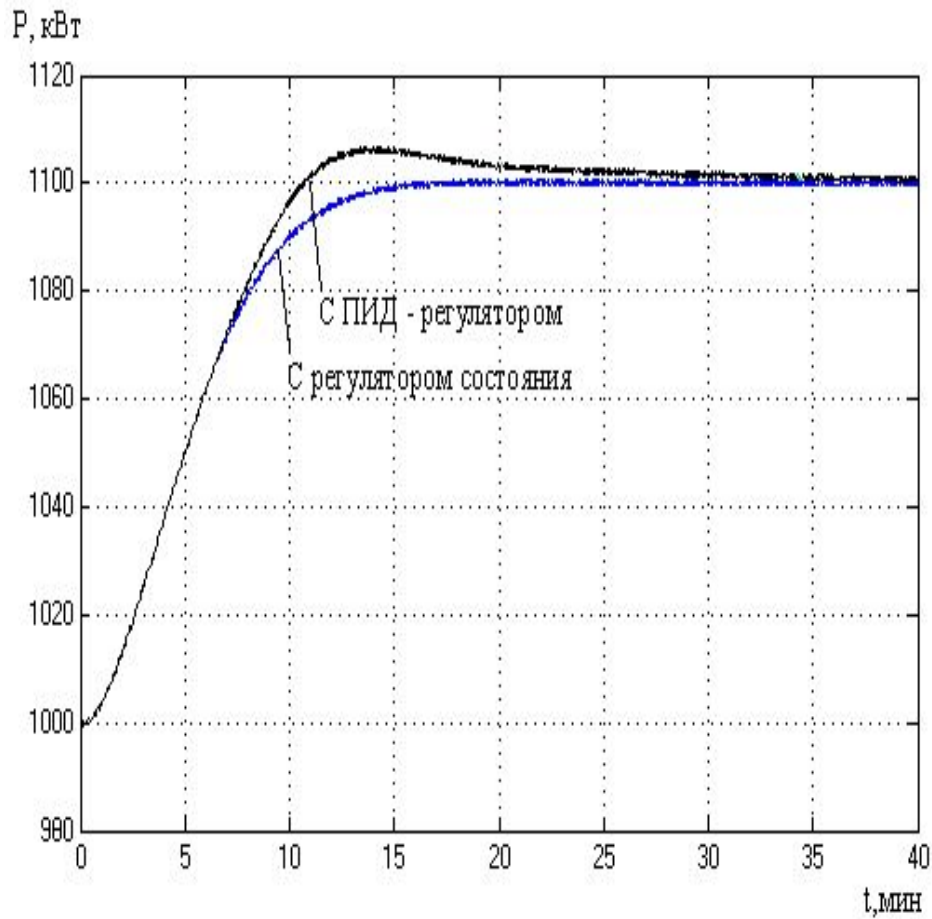


# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЕГУЛЯТОРА СОСТОЯНИЯ



# ПЕРЕХОДНЫЕ ФУНКЦИИ ПО ЗАДАНИЮ И ПО ВОЗМУЩЕНИЮ

## 1. ПО ЗАДАНИЮ



## 2. ПО ВОЗМУЩЕНИЮ

