

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 28.01.2022 10:51:41  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d55e31c11eabb175e945d14246511a56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра теоретической механики и мехатроники

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –  
проректор по учебной работе  
Е.А. Кудряшов



« 14 » *сентября* 2012 г.

### Лабораторная работа № 8

#### ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА НЕЛИНЕЙНОЙ САУ С ПИД-РЕГУЛЯТОРОМ

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Теория автоматического управления» для студентов специальности 220401.65 Мехатроника; направлений 220200.62 Автоматизация и управление и 221000.62 Мехатроника и робототехника

УДК 621.(076.1)

Составители: Лушников Б.В., Яцун С.Ф.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *В.Я.Мищенко*

**Исследование устойчивости и качества нелинейной САУ с ПИД-регулятором:** методические указания к выполнению лабораторной работы / Юго-Зап. гос. ун-т.; сост.: Б.В. Лушников, С.Ф.Яцун; Курск, 2011. 13 с., ил. 10, табл.1. Библиогр.: с.13.

Методические указания содержат краткие теоретические сведения из курса теории автоматического управления, необходимые для выполнения лабораторной работы, а также иллюстрированные примеры выполнения, варианты заданий и контрольные вопросы для самопроверки.

Предназначены для студентов направлений 220200.62 Автоматизация и управление, 221000.62 Мехатроника и робототехника и для студентов специальности 220401.65 Мехатроника всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16 .Усл.печ.л. .

Уч.-изд.л. .Тираж 20 экз. Заказ .Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Лабораторная работа №8

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА НЕЛИНЕЙНОЙ САУ С ПИД-РЕГУЛЯТОРОМ

#### **Цель работы:**

1. Исследование влияния параметров нелинейности на устойчивость и качество САУ;
2. Выбор значений параметров регулятора, обеспечивающих желаемые динамические свойства нелинейной САУ;
3. Подтверждение (путем моделирования) того, что в результате введения корректирующего устройства (регулятора) САУ приобрела желаемые свойства.

**Объект исследования:** нелинейная система автоматического управления.

**Аппаратные средства:** виртуальная лаборатория на ЭВМ IBM PC, программный пакет «MATLAB».

#### **Краткие теоретические сведения**

Нелинейной системой автоматического управления называется такая система, которая содержит хотя бы одно звено, описываемое нелинейным уравнением.

Нелинейными могут быть системы с переменными параметрами, с распределёнными параметрами, с запаздыванием, импульсные и цифровые системы, если в них где-либо нарушается линейность уравнений динамики.

В данной лабораторной работе проводится исследование нелинейности (рис.1), реализуемой с помощью двух звеньев: звена с зоной насыщения (ограничителя) и звена с зоной нечувствительности.

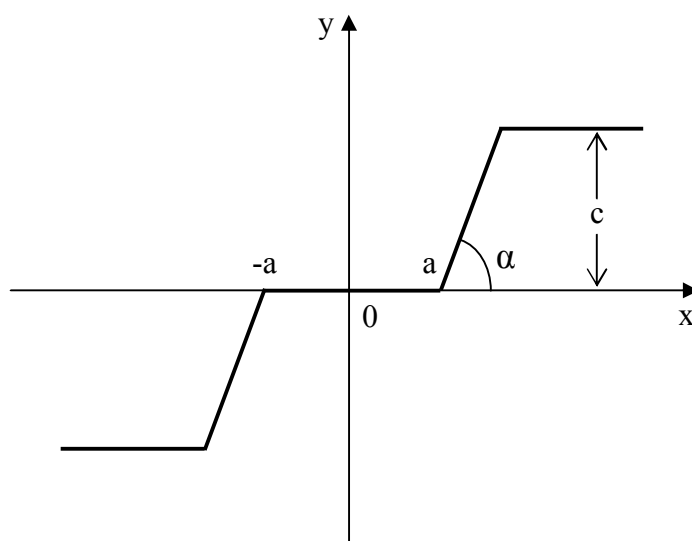


Рис.1 Характеристика нелинейности, исследуемой в работе

Нелинейность, изображённая на рис.1, может быть приближенно заменена кусочно-линейными характеристиками (рис.2, рис.3).

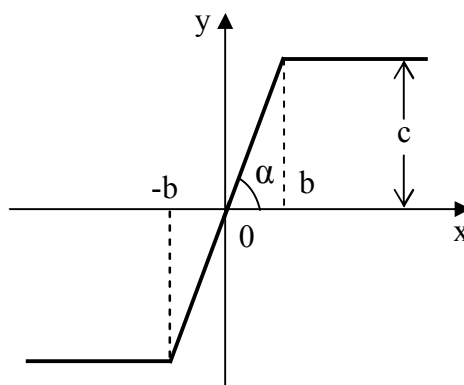


Рис.2 Кусочно-линейная характеристика ограничителя (зоны насыщения)

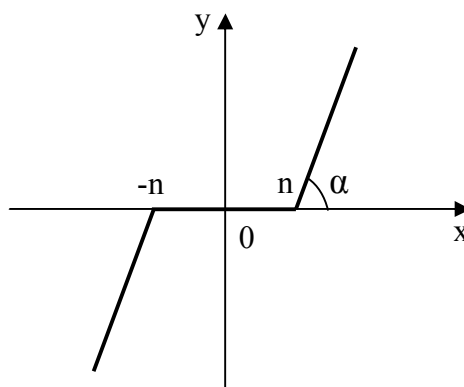


Рис.3 Кусочно-линейная характеристика зоны нечувствительности

Зона нечувствительности  $n$  (на примере электродвигателя) выражается в том, что электрический двигатель имеет определённый минимальный ток трогания ( $i=n$ ), до достижения которого вал двигателя будет неподвижен. В гидравлическом же двигателе золотник имеет так называемую зону перекрытия (его поршеньёк немного шире отверстия, им закрываемого), вследствие чего он откроет путь рабочей жидкости в цилиндр двигателя, только переместившись на некоторую величину  $x=n$ . Аналогично и в случае пневмодвигателя, где роль золотника играет заслонка.

Зона насыщения обнаруживается в том, что при увеличении тока в приводе управляющего органа сверх некоторого значения  $i=b$  скорость перемещения управляющего органа остаётся постоянной; также и для гидравлического двигателя, когда окна золотника полностью открыты.

В программном пакете MATLAB нелинейные зависимости реализуются соответствующими блоками библиотеки Discontinuities (блоки нелинейных элементов). Рассмотрим некоторые из них.

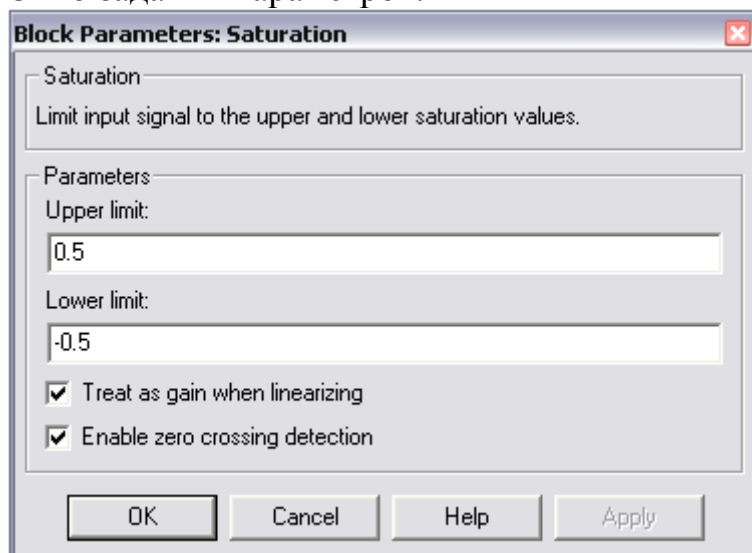
Ограничитель.

Пиктограмма:



Назначение: выполняет ограничение величины сигнала.

Окно задания параметров:



Параметры блока:

*Upper limit* – верхний порог ограничения;*Lower limit* – нижний порог ограничения;

*Treat as gain when linearizing* – трактовать как усилитель при линеаризации. При выполнении линеаризации блок заменяется усилителем с коэффициентом передачи, равным единице.

*Enable zero crossing detection* – фиксировать прохождение сигнала через нулевой уровень.

Выходной сигнал блока равен входному, если его величина не выходит за порог ограничения. По достижении входным сигналом уровня ограничения выходной сигнал блока перестаёт изменяться и остаётся равным порогу.

Рисунок 4 демонстрирует работу блока с синусоидальным сигналом.

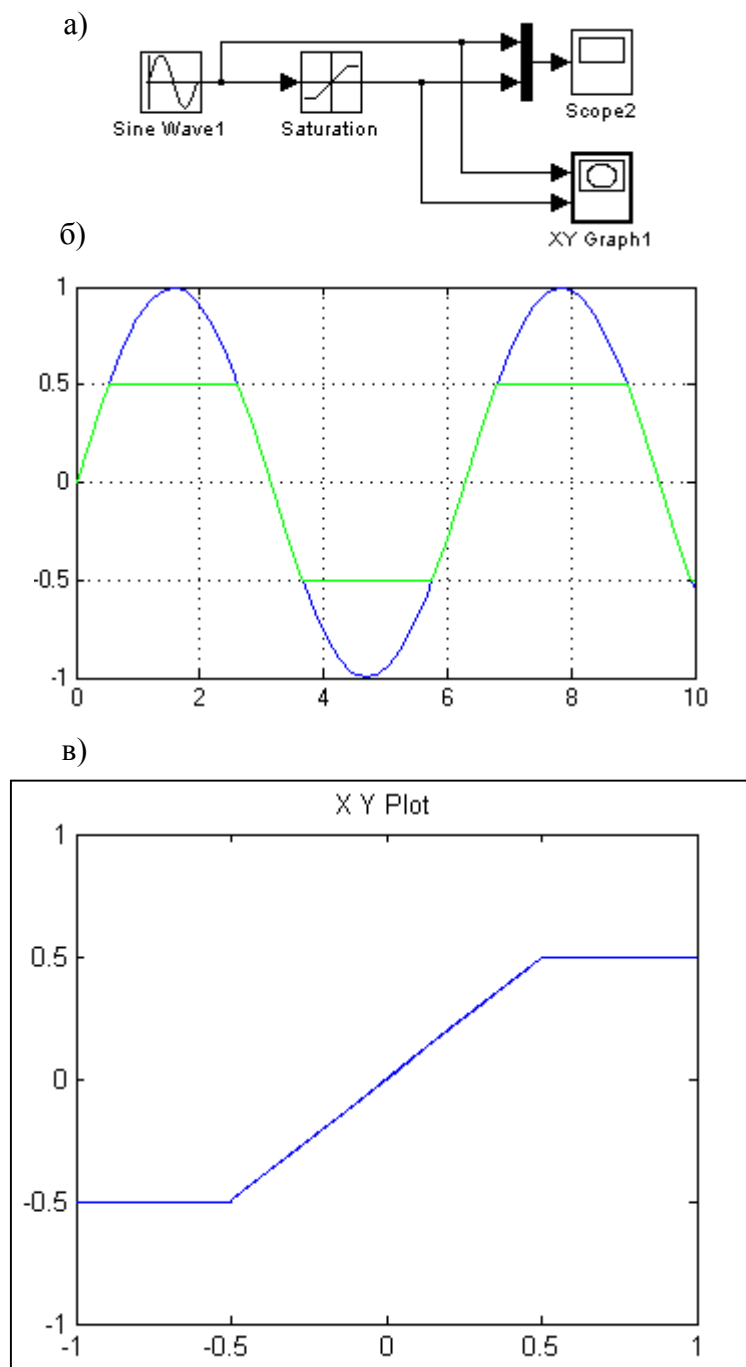


Рис.4 Работа блока Saturation (ограничитель):  
а – схема реализации нелинейности типа «зона насыщения»;  
б – временные диаграммы сигналов;  
в – зависимость выходного сигнала блока от входного

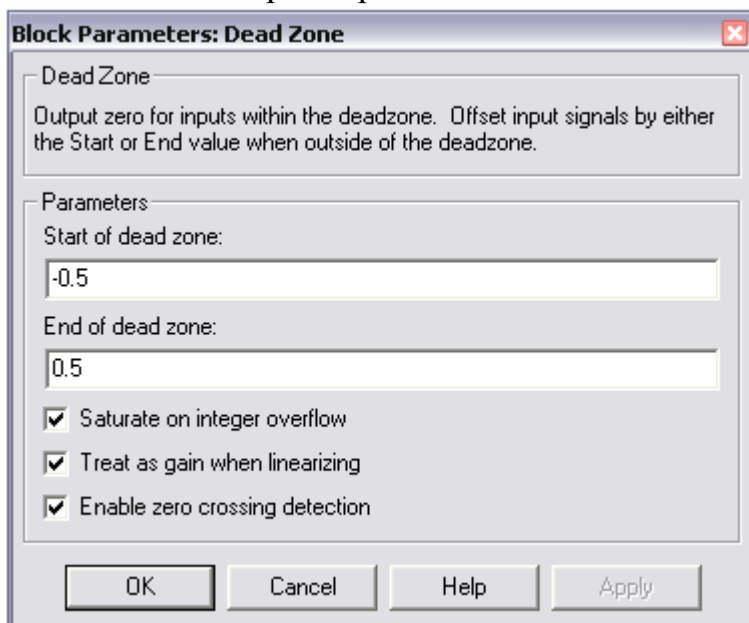
### Зона нечувствительности.

Пиктограмма:



Назначение: реализует нелинейную зависимость типа «зона нечувствительности».

Окно задания параметров:



Параметры блока:

*Start of dead zone* – начало зоны нечувствительности (нижний порог);

*End of dead zone* – конец зоны нечувствительности (верхний порог);

*Saturate on integer overflow* – подавлять переполнение целого. При выставленном флажке ограничение сигналов целого типа выполняется корректно.

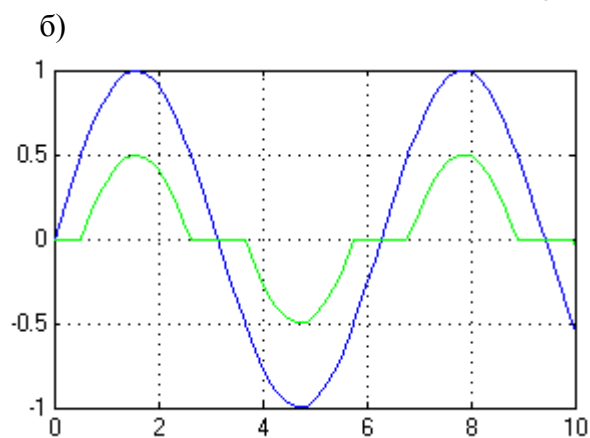
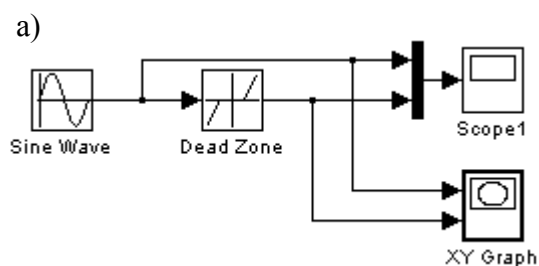
*Treat as gain when linearizing* – трактовать как усилитель при линеаризации. При выполнении линеаризации блок заменяется усилителем с коэффициентом передачи, равным единице.

*Enable zero crossing detection* – фиксировать прохождение сигнала через нулевой уровень.

Выходной сигнал блока вычисляется в соответствии со следующим алгоритмом:

- если величина входного сигнала находится в пределах зоны нечувствительности, то выходной сигнал блока равен нулю;
- если входной сигнал больше или равен верхнему входному порогу зоны нечувствительности, то выходной сигнал равен входному минус величина порога;
- если входной сигнал меньше или равен нижнему входному порогу зоны нечувствительности, то выходной сигнал равен входному плюс величина порога.

Рисунок 5 демонстрирует работу блока с синусоидальным сигналом.



в)

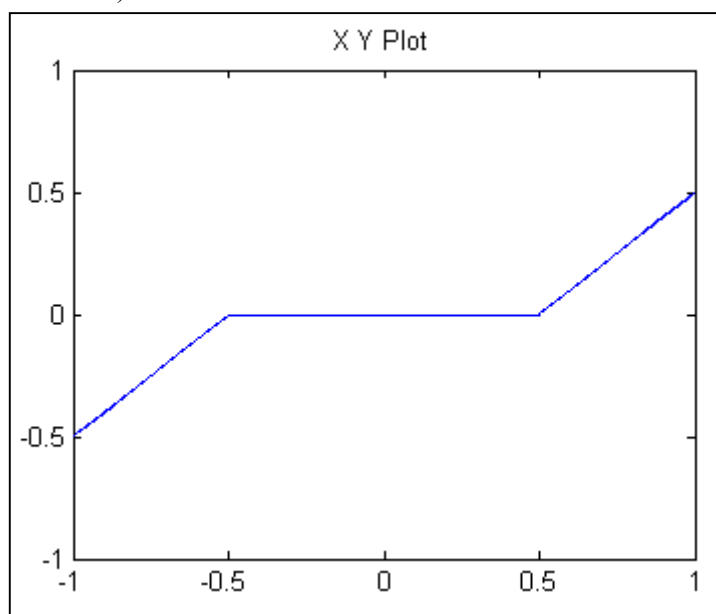


Рис.5 Работа блока Dead Zone (зона нечувствительности):  
 а – схема реализации нелинейности типа «зона нечувствительности»;  
 б – временные диаграммы сигналов;  
 в – зависимость выходного сигнала блока от входного

Последовательное соединение двух блоков даст результат, изображённый на рисунке 6.



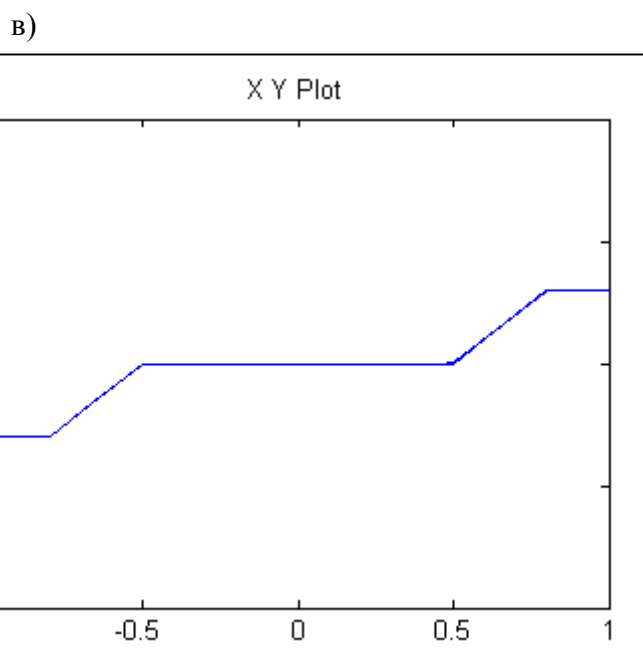
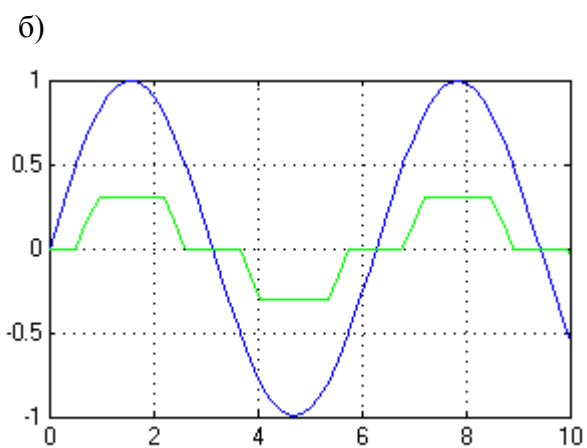
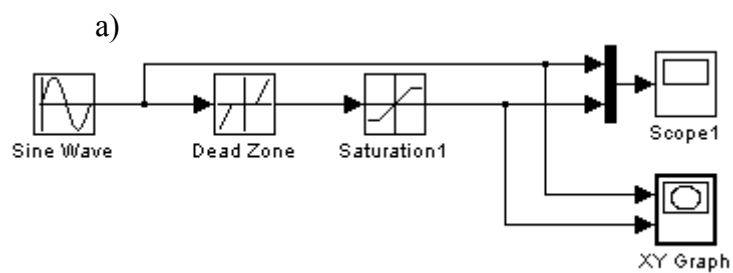


Рис.6 Работа блоков Dead Zone и Saturation, соединённых последовательно:

а – схема соединения;

б – временные диаграммы сигналов;

в – зависимость выходного сигнала блока от входного

## Порядок выполнения лабораторной работы

Исходные данные:

<i>Параметры</i>	
$k_0$	2
$T$	0,4
$\xi$	0,7
$t_{рег} c \leq$	1,5
$\sigma, \% \leq$	10

Передаточная функция исследуемой системы имеет вид:

$$W(p) = \frac{k_0}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1}$$

### 1. Изучение влияния параметров нелинейности на САУ

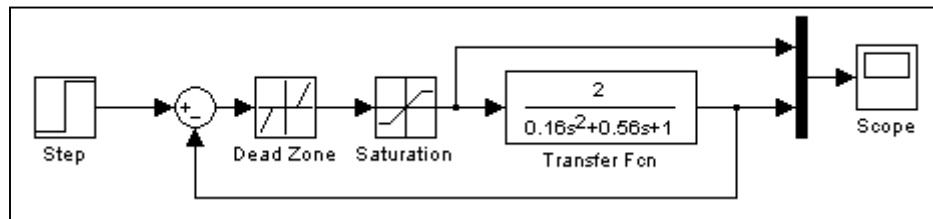


Рис.7 Математическая модель САУ с нелинейностью

При ширине зоны нечувствительности  $n=0,5$  и ограничителе  $b=0,3$  получаем следующие результаты:

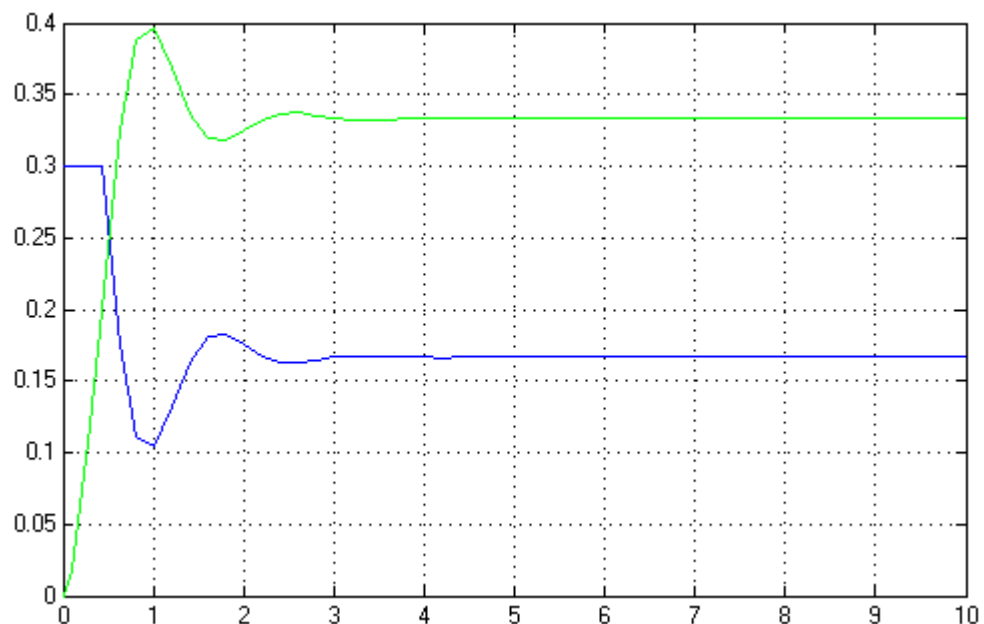
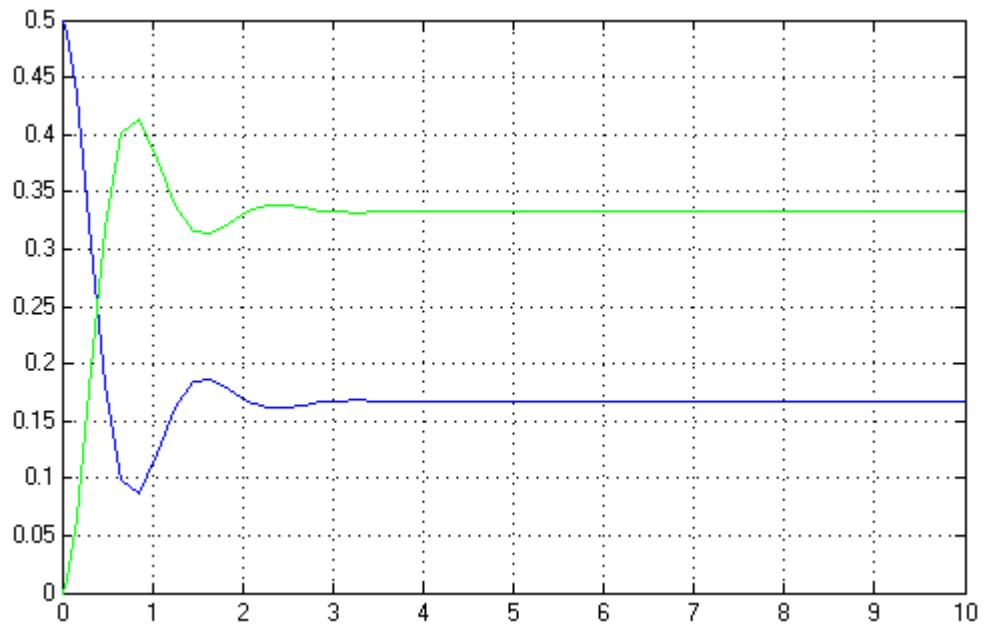


Рис.8 Характеристика переходного процесса при  $n=0,5$  и  $b=0,3$ 

При увеличении значения ограничителя  $b$  до  $0,7$  получим следующую зависимость:

Рис.9 Характеристика переходного процесса при  $n=0,5$  и  $b=0,7$ 

## 2. Подключение ПИД-регулятора и подбор оптимальных коэффициентов регулирования.

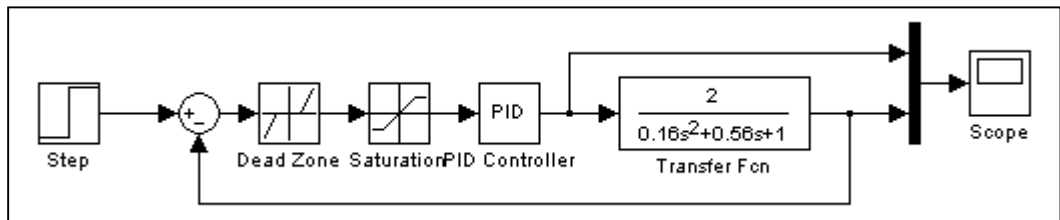


Рис.9 Модель системы с ПИД-регулятором

Подбор оптимальных коэффициентов осуществляется с помощью NCD-блока (см. методические указания к л/р №7).

Переходный процесс системы удовлетворяет заданным параметрам регулирования при  $k_P=9,1199$ ;  $k_I=1,9305$ ;  $k_D=1,6925$ .

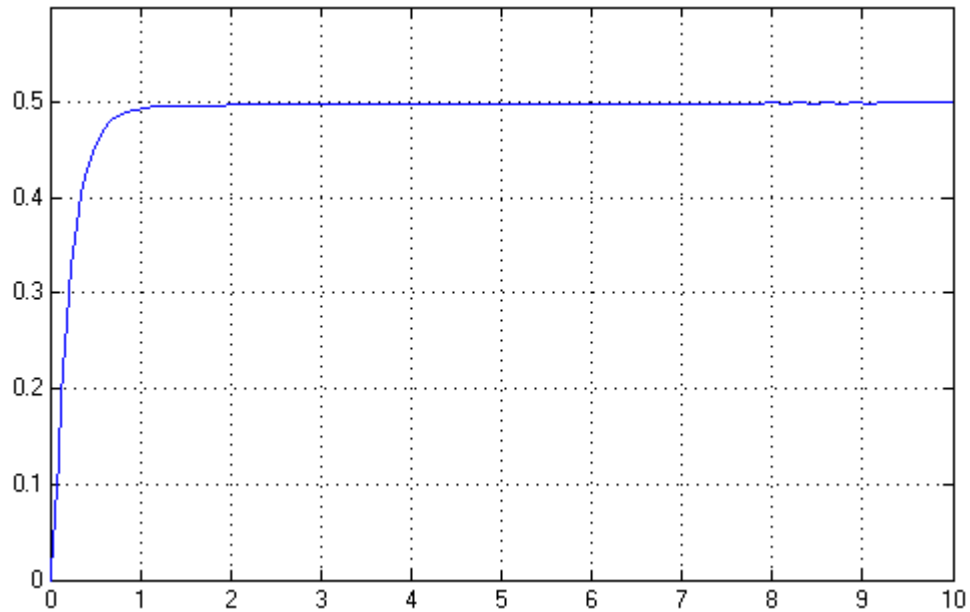


Рис.10 Характеристика САУ с подобранными коэффициентами регулирования

Таким образом, используя программные средства пакета MATLAB, были подобраны оптимальные динамические параметры передаточной характеристики нелинейной САУ, удовлетворяющие заданным условиям.

## ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. При исследовании рассмотренного *способа коррекции динамических свойств* САУ в качестве исходных данных выступают передаточная функция  $W(p)$  неизменяемой части системы вида

$$W(p) = \frac{K_0}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1}$$

Задающее воздействие  $g(t) = 1(t)$ .

2. В процессе выполнения данной части работы студенты должны:

- 1) ознакомиться с основными видами нелинейностей САУ;
- 2) исследовать влияние параметров нелинейностей на качество САУ и вид выходного сигнала;
- 3) найти с помощью NCD-блока пакета MATLAB оптимальные коэффициенты регулирования  $k_{п}$ ,  $k_{и}$ ,  $k_{д}$ ;
- 4) выполнить проверку полученных значений применительно к своей математической модели САУ.

3. Сделать вывод о проделанной работе и её результатах.

Таблица 1

<i>№ вар.</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
<i>К<sub>о</sub></i>	1	4	3	4	5	6	7	8	6	5	7
<i>T, с</i>	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,5	0,6	0,3
<i>ξ</i>	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,9	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5
<i>t<sub>уст</sub>, с ≤</i>	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,0	2,5	3	3
<i>σ, % ≤</i>	0	10	10	5	5	5	0	0	5	10	0

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Отчет должен содержать следующие разделы:

1. Цель работы.
2. Структурные схемы исследуемых систем.
3. Полученные графики и характеристики.
4. Расчётная часть.
5. Основные выводы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения / Дьяконов В. П. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 768 с. – (Серия «Полное руководство пользователя»).
2. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / Под общ. ред. к. т. н. В. Г. Потёмкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003.-496 с.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования - М.: Наука, 2008.