

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра САУ**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе № 2**  
**по дисциплине «Нелинейное и адаптивное управление в технических**  
**системах»**  
**ТЕМА: ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ**  
**АДАПТАЦИЕЙ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ВТОРОГО ПОРЯДКА**

Вариант 1

Студент гр. 9492

\_\_\_\_\_

Викторов А.Д.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Нгуен Зуи Хань

Санкт-Петербург  
2024

**Цель работы:** овладение навыками исследования адаптивной системы, исследование эффективности адаптивного управления при изменении параметров уравнений его настроек и исследование возможностей адаптивного управления по стабилизации объекта управления.

### Вариант задания

Таблица 1 – Параметры системы

Устойчивый объект
$\mathbf{A}_0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -4 \end{bmatrix}, \mathbf{b}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \mathbf{A}_M = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -10 & -16 \end{bmatrix}, \mathbf{b}_M = \begin{bmatrix} 0 \\ 16 \end{bmatrix}, \mathbf{P} = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{\Gamma}_A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \gamma_B = 1$
Неустойчивый объект
$\mathbf{A}_0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}, \mathbf{b}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \mathbf{A}_M = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -10 & -16 \end{bmatrix}, \mathbf{b}_M = \begin{bmatrix} 0 \\ 16 \end{bmatrix}, \mathbf{P} = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{\Gamma}_A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \gamma_B = 1$

### Ход работы

Построим и исследуем моделированием систему, сравним ее динамику с эталонной моделью. Схема объекта представлена на рисунке 1.

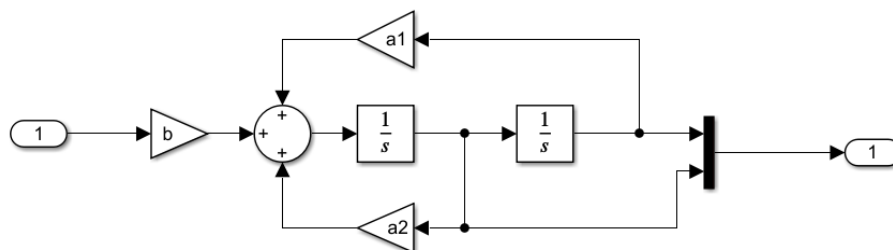


Рисунок 1 - Схема системы

Для выполнения данной лабораторной работы будем использовать систему, приведенную на рисунке 2. Каждая подсистема данной модели скрывает в себе объект управления или эталонную модель, структурная схема которых представлена на рисунке 1. Так же в работе будем использовать скрипт, приведенный в листинге 1.

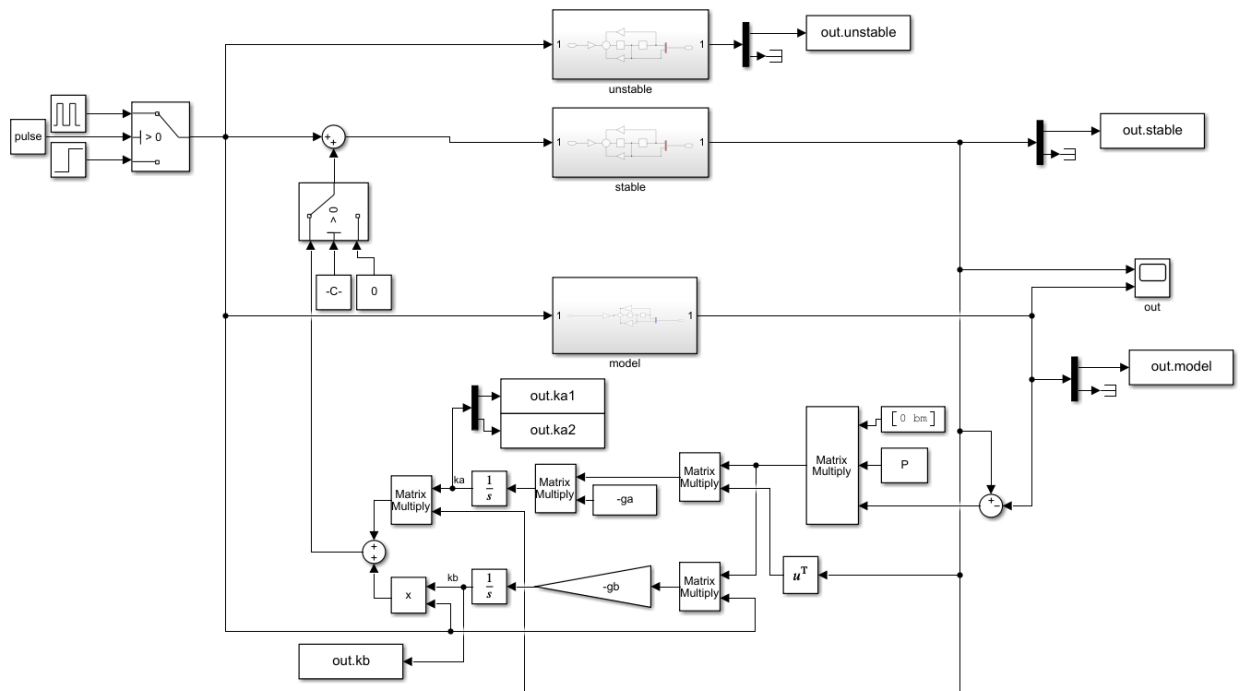


Рисунок 2 - Структурная схема системы для проведения исследования

### Листинг 1 – Скрипт для проведения исследования

```

clc, clear, close all
%% env
t = 10;
pulse = 0;
adapt_control=0;

am1 = -10;
am2 = -16;
Am = [0 1; am1 am2];
bm = 16;
Bm = [0;bm];

a1 = 2; % stable -2; unstable 2
a2 = 4; % stable -4; unstable 4
A = [0 1; a1 a2];
b = 1;
B = [0;b];

au1 = 2;
au2 = 4;
bu = 1;

P = [2 1; 1 1];
ga = [1 0; 0 1];
gb = 1;

b0 = (b'*b)^-1 * b';
ka = b0*(Am-A);
kb = b0*(Bm-B);

%% compare

```

```

result=sim('lab_2.slx');

figure(1)
hold on
time = result.stable.Time;
plot(time, result.stable.Data, DisplayName="stable system")
plot(time, result.model.Data, DisplayName="model")
plot(time, result.unstable.Data, DisplayName="unstable system")
ylim([0 2])
xlabel("t, s")
grid
legend
hold off

%% adaptive control
adapt_control=1;
for k = [1 10 10]
    ga = ga.*k;
    gb = gb*k;

    result=sim('lab_2.slx');

    figure(2)
    hold on
    plot(result.stable.Time, result.stable.Data)
end

plot(result.stable.Time, result.model.Data)
legend( ...
    "g_a_1 = g_a_2 = g_b = 1", ...
    "g_a_1 = g_a_2 = g_b = 10", ...
    "g_a_1 = g_a_2 = g_b = 100", ...
    "model" ...
)
ylim([0 2])
hold off
grid
xlabel("t, s")

%% ka kb
ga = [1 0; 0 1];
gb = 1;
t = 100;
pulse = 1;

result=sim('lab_2.slx');
figure(3)
hold on
time = result.stable.Time;
plot(time, result.ka1.Data(1,:))
plot(time, ka(2,1)*ones(size(time)))

plot(time, result.ka2.Data(1,:))
plot(time, ka(2,2)*ones(size(time)))

plot(time, result.kb.Data)
plot(time, kb(2,1)*ones(size(time)))
grid
ylim([-25 20])
xlabel("t, s")

```

```

legend( ...
    "k_a_1 measured", ...
    "k_a_1 calculated", ...
    "k_a_2 measured", ...
    "k_a_2 calculated", ...
    "k_b measured", ...
    "k_b calculated" ...
)

```

Осуществим сравнение динамики устойчивого и неустойчивого объектов и эталонной модели путем сравнения графиков их переходных процессов (см. рис. 3).

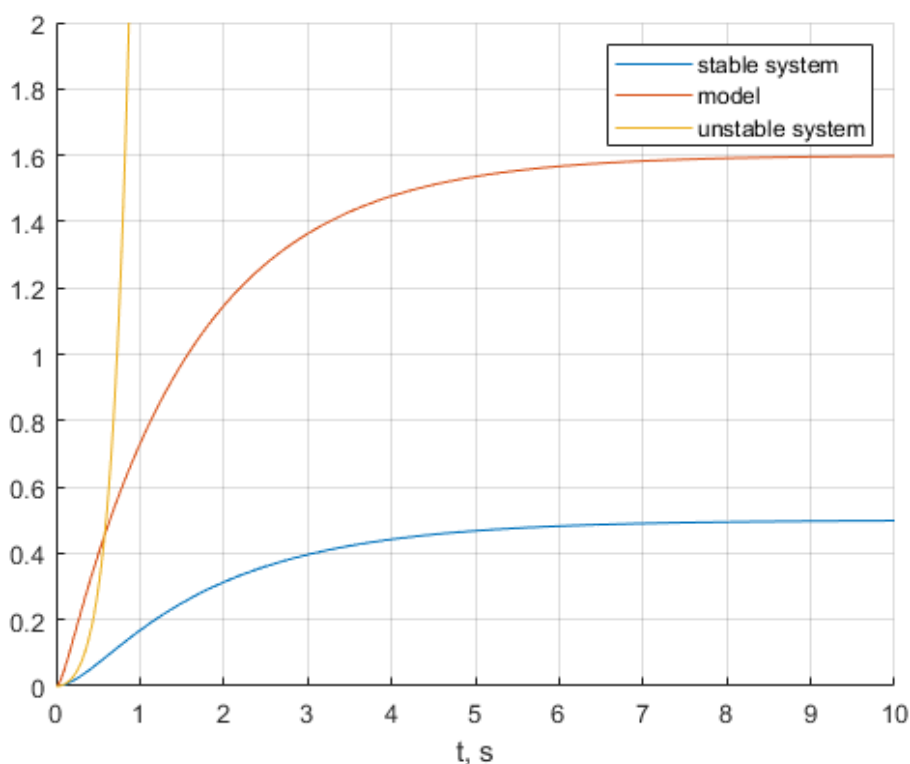


Рисунок 3 - График переходных процессов систем

Рассчитаем эталонные значения коэффициентов адаптации:

$$kA^* = b_0 - 1(a_M - a_0),$$

$$k_B^* = b_0^{-1}(b_M - b_0)$$

$$K_{A1} = -8; k_{A2} = -12; k_B = 15;$$

Построим адаптивное управление с настройками согласно варианту. Структурная схема приведена на рисунке 2. Для сравнения влияния коэффициента  $\gamma$  на качество управления проведем серию экспериментов. На

рисунке 4 можно увидеть графики переходных процессов модели и объекта управления при разных коэффициентах  $\gamma$ . Отчетливо видно, что при  $\gamma > 10$  переходный процесс практически неотличим от эталонного, а при  $\gamma = 1$  близок к нему.

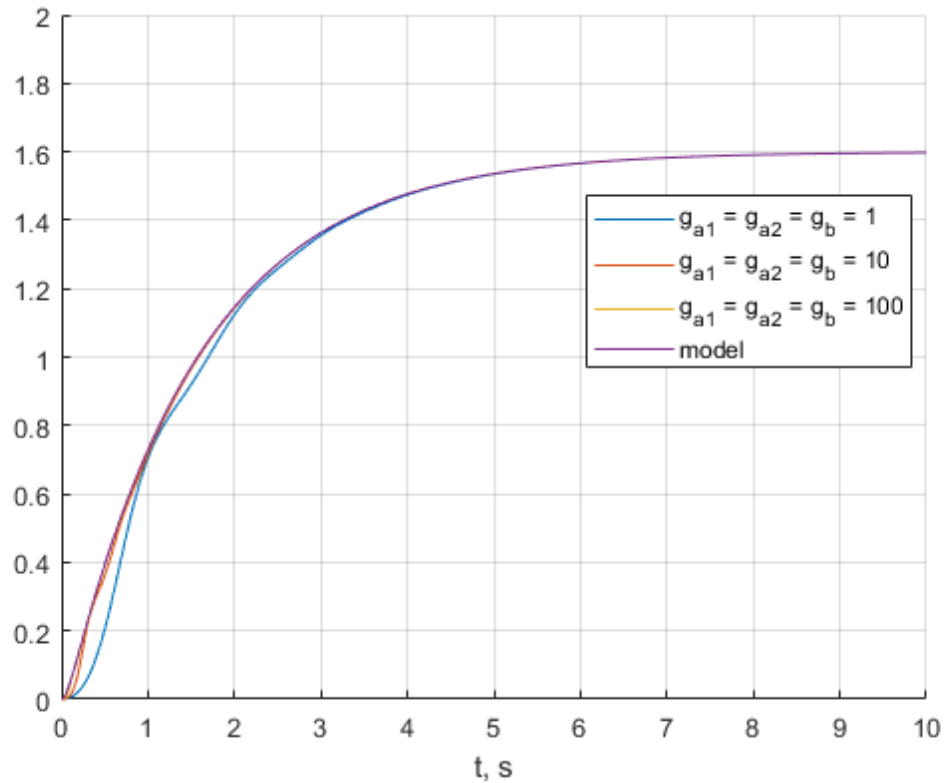


Рисунок 4 - Графики переходных процессов системы с адаптивным управлением

На рисунке 5 можно увидеть процесс схождения коэффициентов адаптации к рассчитанному ранее значению. Для того, чтобы этот процесс завершился необходимо на вход системы подавать импульсное воздействие с максимальным спектром гармоник – т.е. меандр. В нашем случае меандр с периодом 0.5 секунды и 50% заполнением. Для полной адаптации понадобилось около 100 секунд.

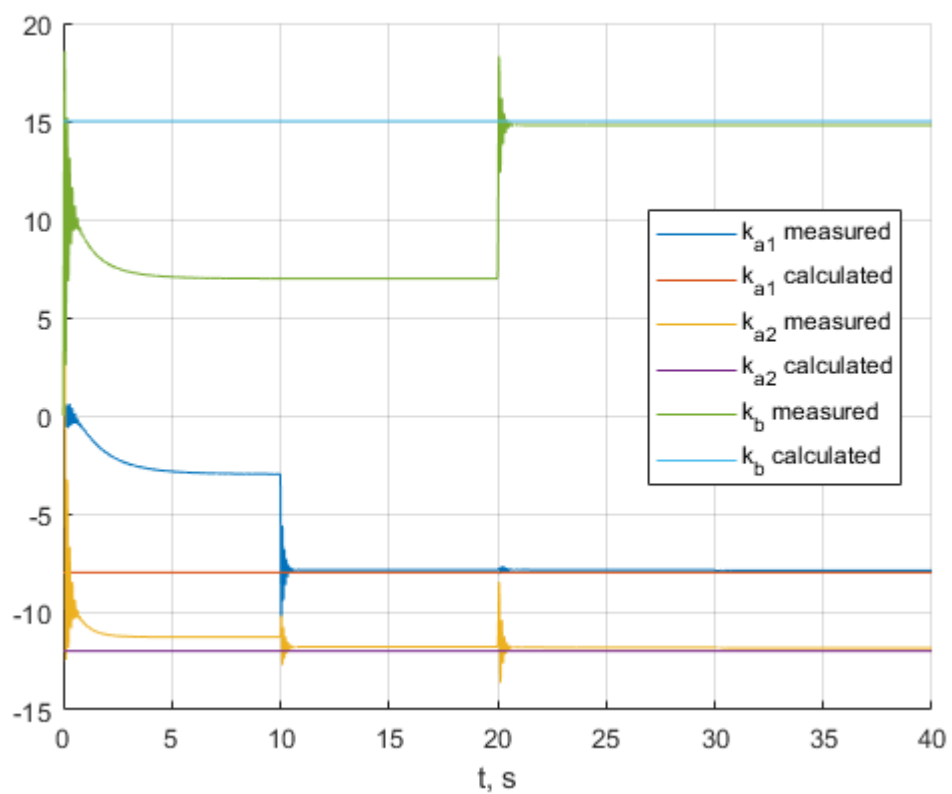


Рисунок 5 – Графики изменения коэффициентов адаптации

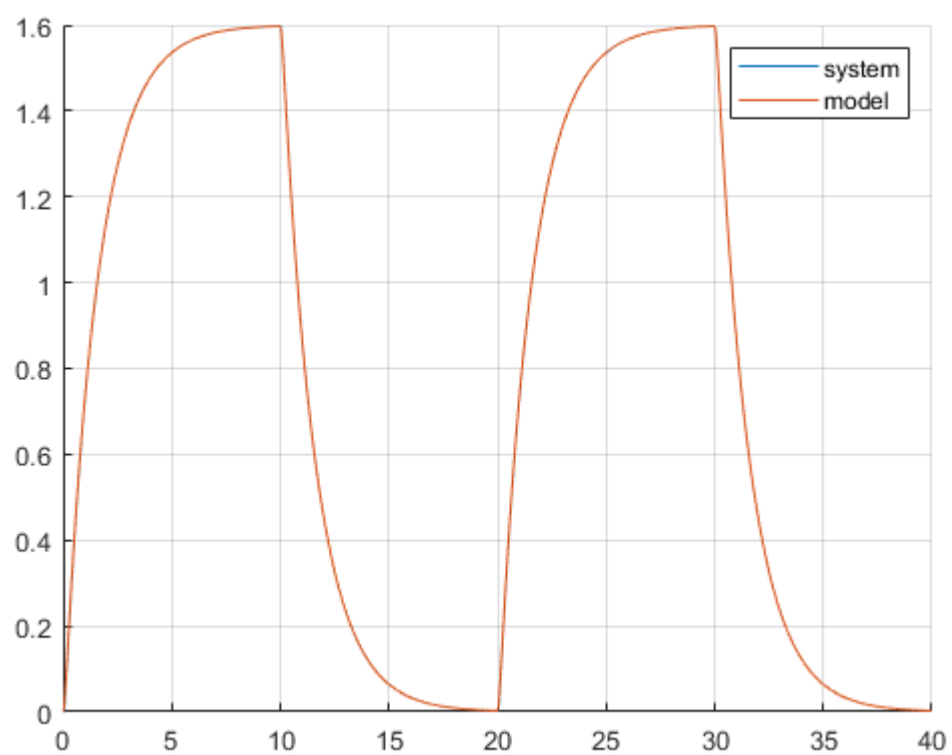


Рисунок 6 - График переходного процесса при входном сигнале типа меандр

Повторим эксперимент, но с неустойчивым объектом в качестве объекта управления. На рисунке 6 можно увидеть сравнение графиков переходных процессов неустойчивого объекта с адаптивным управлением с разными коэффициентами  $\gamma$ . Зависимость от  $\gamma$  примерно такая же, как и у устойчивого объекта, но при  $\gamma = 1$  больше колебательность.

Рассчитаем эталонные значения коэффициентов адаптации:

$$K_{A1} = -12; k_{A2} = -20; k_B = 15;$$

На рисунке 7 можно увидеть процесс адаптации системы с адаптивным управлением с неустойчивым объектом в качестве объекта управления. Видно, что коэффициенты стали больше по модулю, однако скорость адаптации при этом не изменилась и составляет около 100 секунд.

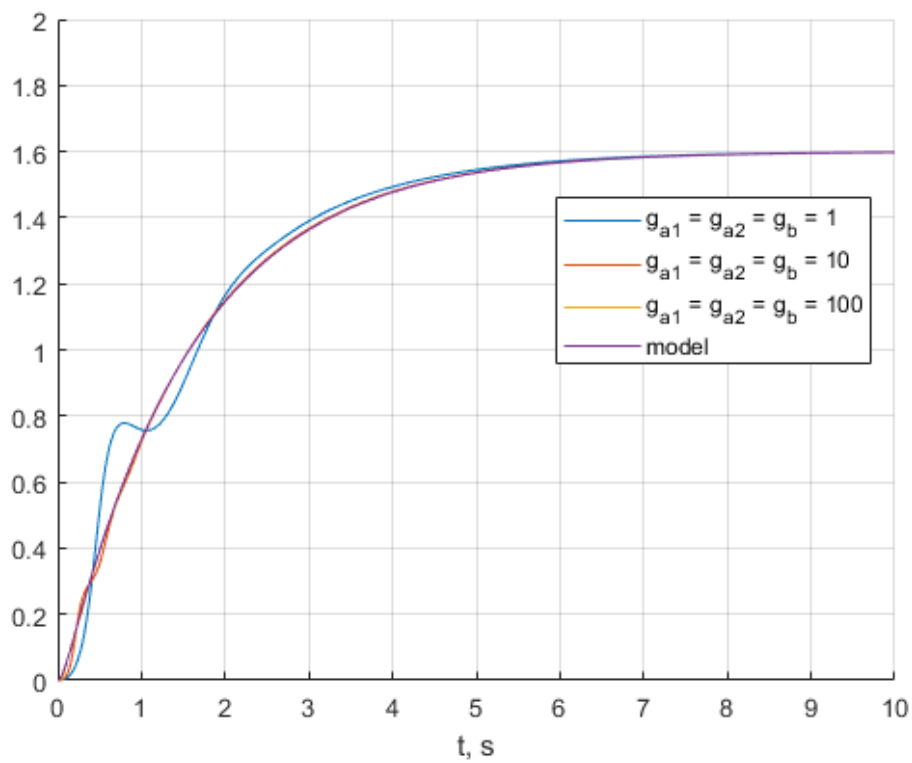


Рисунок 7 - Переходный процесс системы с адаптивным управлением



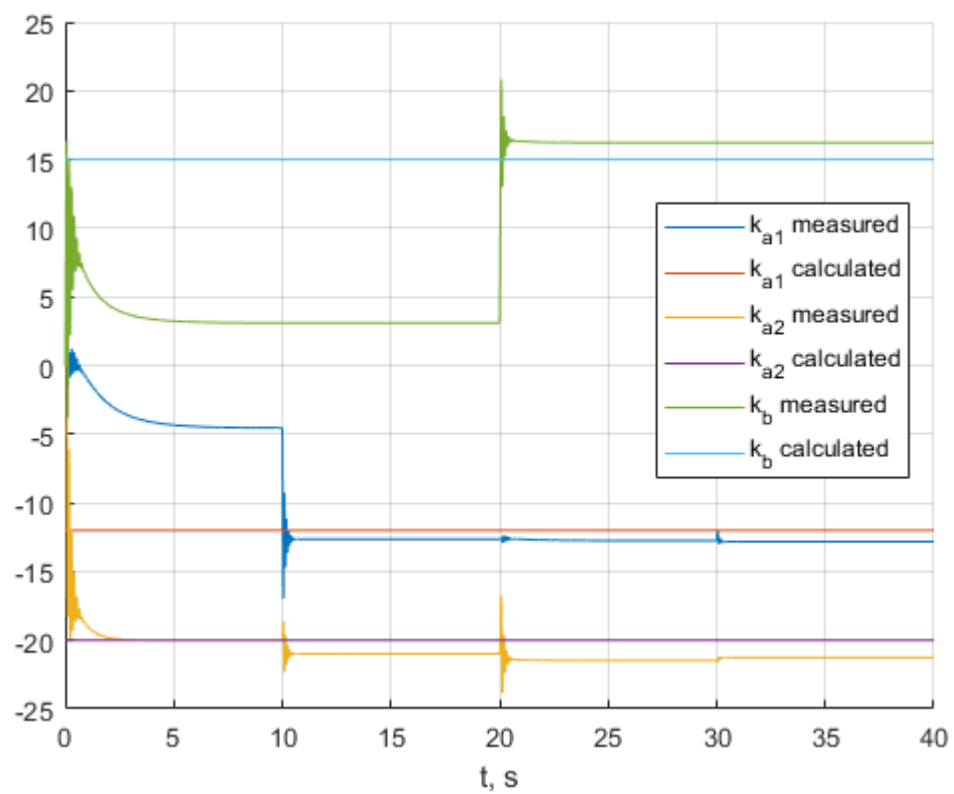


Рисунок 8 - Сравнение переходных процессов

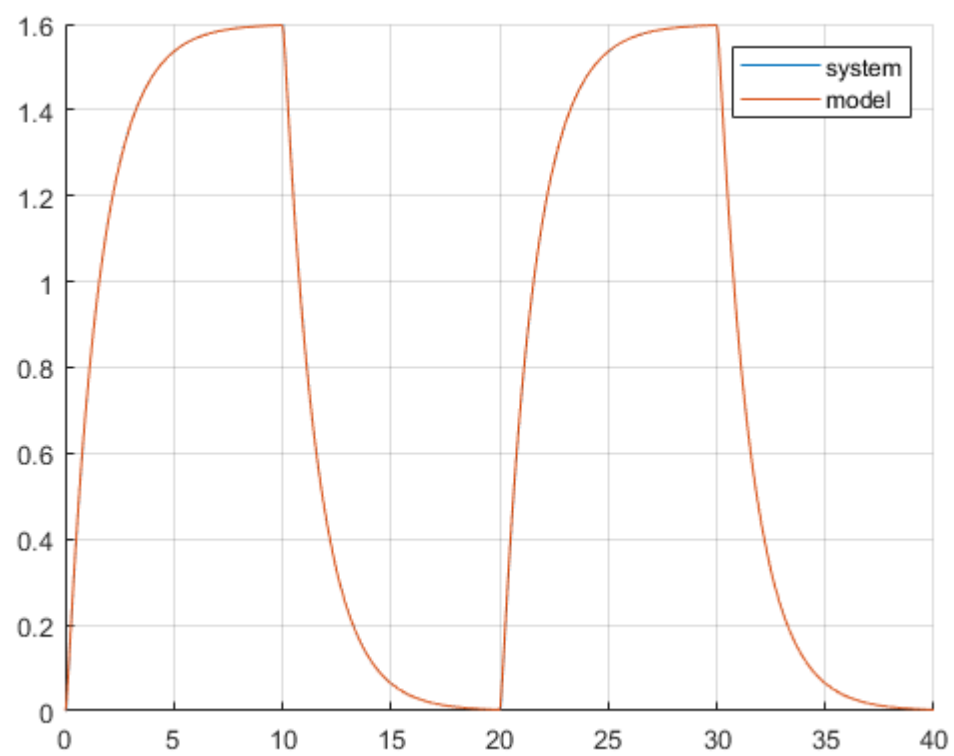


Рисунок 9 - График переходного процесса при входном сигнале типа меандр

## **Вывод**

В данной лабораторной работе путем моделирования были изучены устойчивая и неустойчивая системы второго порядка с одинаковыми коэффициентами. Было проведено сравнение их переходных процессов с переходным процессом эталонной модели.

С целью приближения динамики изучаемых систем к динамике эталонной модели было построено адаптивное управление и изучено влияние коэффициентов  $\gamma$  на скорость адаптации.

Было доказано, что посредством адаптивного управления с эталонной моделью можно приблизиться к желаемой динамике достаточно близко и с устойчивой и с неустойчивой системой в качестве объекта управления, что говорит о том, что применение данного метода управления оправдано при наличии неопределенности параметров объекта управления.