

**Министерство высшего и среднего специального образования
Республики Узбекистан**

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

**Кафедра
«Автоматизация и управление технологических процессов и производств»**

КУРСОВАЯ РАБОТА

по курсу:

«Алгоритмизация и управление производственными системами»

**Выполнил: Валиева Н.
Группа: 22Р - 13
Приняла: Жукова Ю. А.**

Ташкент 2016 г

Исходные данные:

№	n	m	p	t _{n1}	t _{n2}	G ₁₁	G ₁₂	G ₂₁	G ₂₂	δ %	Δ %	t _{ин}
17	5	2	2	6	5	1.5	2.5	3	1	13	2.5	2.5

Размерность вектора переменных состояния виртуального объекта управления: n=5

Число входных переменных объекта управления: m=2

Число выходных переменных объекта управления: p=2

Требования к качеству управления:

Моменты переключения сигналов задания:

По 1-му выходу t_{n1}=6 с.

По 2-му выходу t_{n2}=5 с.

Значения задающих сигналов:

По 1-му выходу: до момента переключения 1,5 после 2,5.

По 2-му выходу: до момента переключения 3, после 1.

Перерегулирование 13%

Установившаяся ошибка 2,5%

Время переходного процесса 2,5с.

Генерация объекта в пространстве переменных состояния

Генерация объекта в пространстве переменных состояния с заданным числом входных, выходных переменных и размерностью вектора переменных состояния осуществляется с помощью стандартной функции пакета Control System Toolbox, входящего в состав программного комплекса MATLAB. Синтаксис данной функции следующий:

```
sys=rss(n,p,m)
```

Каждый раз при выполнении этой функции генерируется новый, заведомо устойчивый объект. Для рассматриваемых в примере данных получим:

```
>> n=5;
```

```
>> m=2;
```

```
>> p=2;
```

```
>> sys=rss(n,p,m)
```

```
a =
```

	x1	x2	x3	x4	x5
x1	-0.9336	-0.4121	0.0424	0.05346	-0.2766
x2	-0.4121	-0.8006	-0.2359	-0.2259	0.1089
x3	0.0424	-0.2359	-0.7833	0.03114	0.2467
x4	0.05346	-0.2359	0.03114	-0.5133	0.09442
x5	-0.2766	0.1089	0.2467	0.09442	-0.5917

```
b =
```

	u1	u2
x1	-0.3999	0.6686
x2	0	1.191
x3	0	0
x4	0.7119	-0.01979
x5	0	-0.1567

```
c =
```

	x1	x2	x3	x4	x5
y1	-1.604	-1.056	-0.8051	0.2193	0
y2	0.2573	1.415	0.5287	-0.9219	-0.05919

$$d = \begin{matrix} & u1 & u2 \\ y1 & -1.011 & 0 \\ y2 & 0 & 1.692 \end{matrix}$$

Continuous-time model. (Непрерывная модель).
 Здесь sys – название (идентификатор полученной модели объекта),
 a – матрица состояния; c- матрица выхода; b- - матрица входа; d- матрица обхода.

Получение модели в виде матрицы передаточных функций

Во многих практических приложениях для целей анализа и синтеза системы управления удобнее использовать модель в виде матрицы передаточной функции. Для перехода к данному виду модели воспользуемся следующей функцией:

```
>> W=tf(sys)
```

В результате получим

Transfer function from input 1 to output...

$$-1.011 s^5 - 2.863 s^4 - 2.666 s^3 - 0.8954 s^2 - 0.09711 s - 0.002486$$

$$\#1: \frac{-1.011 s^5 - 2.863 s^4 - 2.666 s^3 - 0.8954 s^2 - 0.09711 s - 0.002486}{s^5 + 3.623 s^4 + 4.751 s^3 + 2.745 s^2 + 0.684 s + 0.05892}$$

$$-0.7592 s^4 - 2.29 s^3 - 2.332 s^2 - 0.8925 s - 0.1085$$

$$\#2: \frac{-0.7592 s^4 - 2.29 s^3 - 2.332 s^2 - 0.8925 s - 0.1085}{s^5 + 3.623 s^4 + 4.751 s^3 + 2.745 s^2 + 0.684 s + 0.05892}$$

Transfer function from input 2 to output...

$$-2.335 s^4 - 5.243 s^3 - 3.778 s^2 - 1.025 s - 0.08644$$

$$\#1: \frac{-2.335 s^4 - 5.243 s^3 - 3.778 s^2 - 1.025 s - 0.08644}{s^5 + 3.623 s^4 + 4.751 s^3 + 2.745 s^2 + 0.684 s + 0.05892}$$

$$1.692 s^5 + 8.016 s^4 + 12.9 s^3 + 8.992 s^2 + 2.777 s + 0.3074$$

$$\#2: \frac{1.692 s^5 + 8.016 s^4 + 12.9 s^3 + 8.992 s^2 + 2.777 s + 0.3074}{s^5 + 3.623 s^4 + 4.751 s^3 + 2.745 s^2 + 0.684 s + 0.05892}$$

Построим для полученной матрицы передаточных функций структурную схему. Модель объекта, представленная с помощью полученной матрицы передаточных функций, изображена на рис.1. Проверим правильность полученной модели. Для этого оформим построенную модель в виде подсистемы, дополним блоками подачи входных воздействий (Step), блоками регистрации реакций (Scop), блоком линейной стационарной системы (LTI-system), в окно параметров которого внесем наименование исследуемой сгенерированной системы. Так как объект sys имеет 2 входа, а блок LTI системы – только один, на входе LTI системы установим блок создания шины – Bus creator. На входы обоих объектов подадим одинаковые входные воздействия и сравним реакции систем. Диаграмма для сравнения реакций моделей приведена на рис.2. Реакции обеих моделей представлены на рис.3. Из их сравнения видно, что они одинаковы, что свидетельствует о правильности построения модели в виде передаточной матрицы.

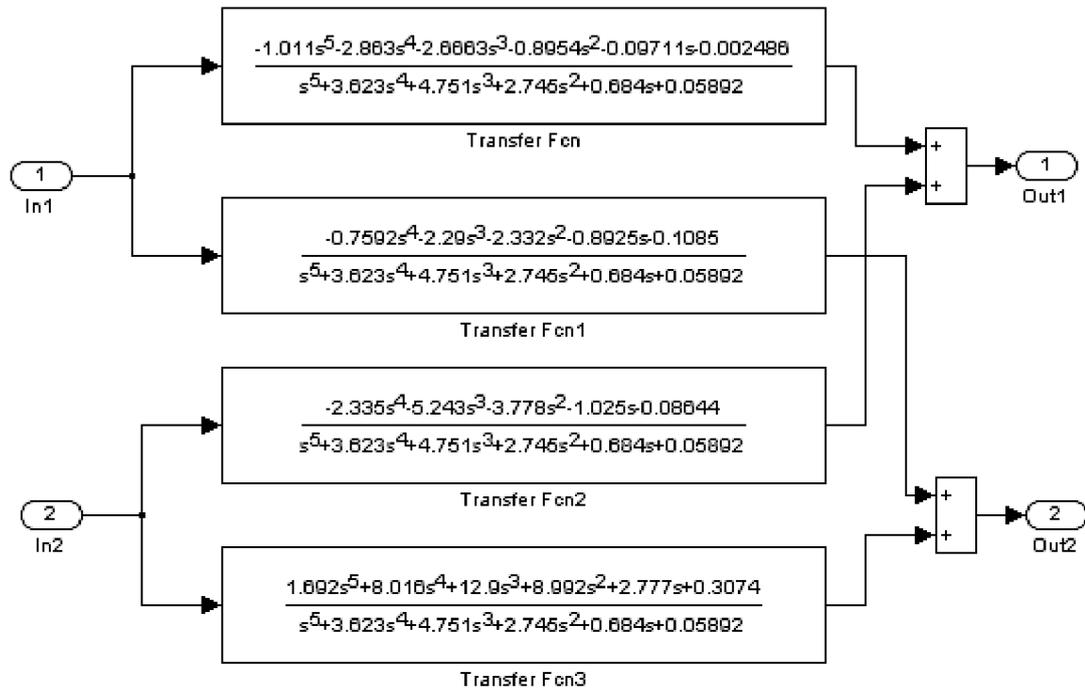


Рис.1. Модель объекта управления в виде передаточной матрицы

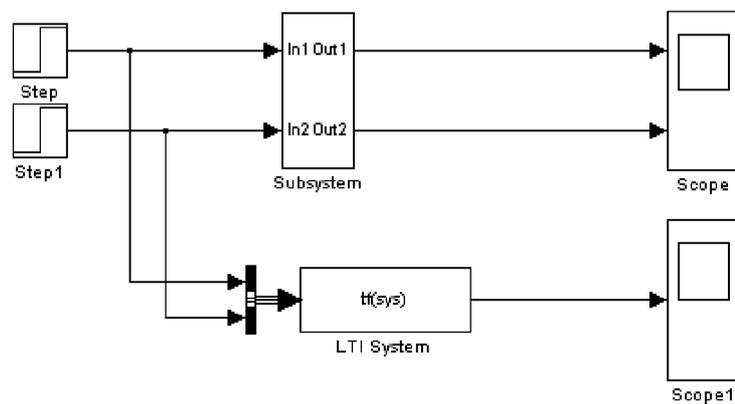


Рис.2. Simulink диаграмма для сравнения моделей объекта различного вида

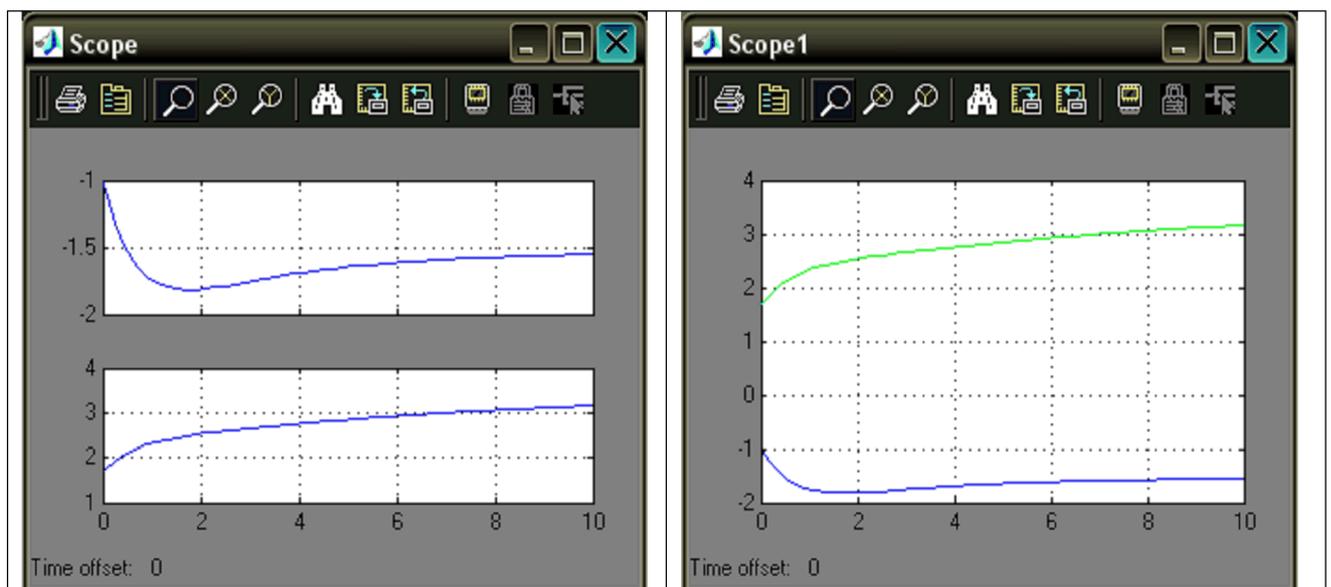


Рис.3. Графики реакций моделей различного вида

Анализ управляемости и наблюдаемости объекта управления

Одним из фундаментальных понятий в теории автоматического управления является управляемость.

Определение Управляемая система (объект) называется управляемой или вполне управляемой, если, каковы бы ни были точки x^0 и x^f в фазовом пространстве R^n , существует допустимое управление, определенное на конечном интервале $[t_0, t_f]$ и переводящее систему из начальной точки $x(t_0) = x^0$ в конечную точку $x(t_f) = x^f$

Другими словами, если объект вполне управляем, то он может быть переведен допустимым управлением из произвольного начального состояния в любое другое состояние за конечное время.

Пусть уравнение $\dot{x} = Ax + Bu$, $x \in R^n$, $u \in R^r$, описывает стационарную систему, т.е. матрицы A и B являются постоянными. Введем в рассмотрение матрицу $Y = [B \ AB \ A^2B \ \dots \ A^{n-1}B]$, столбцы которой представляют собой столбцы матрицы B и произведений матриц $AB, A^2B, \dots, A^{n-1}B$. Эту матрицу называют матрицей управляемости.

Линейный стационарный объект вполне управляем тогда и только тогда, когда матрица управляемости имеет максимальный ранг, т.е. когда ее ранг равен n .

Напомним, что ранг матрицы равен числу независимых строк, числу независимых столбцов и порядку отличного от нуля минора максимальной размерности. Построим матрицу управляемости в командной строке MATLABa.

```
>>mu=ctrb(sys.A,sys.B)
```

```
mu =
```

```
Columns 1 through 7
```

-0.3999	0.6686	0.4114	-1.0727	-0.4553	1.4782	0.5375
0	1.1908	0.0040	-1.2416	-0.0673	1.5626	0.1500
0	0	0.0052	-0.2919	0.0442	0.4774	-0.0933
0.7119	-0.0198	-0.3868	-0.2379	0.2366	0.3395	-0.1532
0	-0.1567	0.1778	0.0357	-0.2538	0.0459	0.3020

```
Columns 8 through 10
```

-1.9984	-0.6593	2.6896
-2.0447	-0.2521	2.7002
-0.6580	0.1303	0.8711
-0.4290	0.0991	0.5438
-0.1160	-0.3486	0.1958

Определим ранг этой матрицы:

```
>>r=rank(mu)
```

```
r=5
```

Так как ранг матрицы управляемости получился равным размерности вектора переменных состояния, то следовательно объект является вполне управляемым.

Аналогично построим матрицу наблюдаемости:

```
>>mn=obsv(sys.A,sys.C)
```

```
mn =
```

-1.6041	-1.0565	-0.8051	0.2193	0
0.2573	1.4151	0.5287	-0.9219	-0.0592
1.9106	1.6474	0.8187	0.0152	0.1507

```

-0.8340 -1.1620 -0.7804 0.1782 0.1614
-2.4688 -2.2865 -0.9112 -0.2381 -0.2347
1.1893 1.4355 0.8954 0.1174 -0.1671
3.2607 3.0914 1.0832 0.4562 0.3253
-1.6115 -1.8954 -1.0271 -0.3088 0.1583
-4.3379 -4.1421 -1.3450 -0.6936 -0.4473
2.1818 2.5110 1.2128 0.4835 -0.1370

```

Ранг этой матрицы:

```

>> rn=rank(mn)
rn=5

```

Так как ранг матрицы наблюдаемости получился равным размерности вектора переменных состояния, то следовательно объект является вполне наблюдаемым.

Построение структурной схемы с явным указанием переменных состояния

Поскольку исходная модель исследуемого объекта имеет достаточно большую размерность, то для построения структурной схемы преобразуем ее в одну из канонических форм, например, каноническую форму наблюдаемости. При таком преобразовании многие коэффициенты модели в пространстве переменных состояния станут равными нулю или будут столь малыми, что ими можно будет пренебречь без существенной потери точности. Воспользуемся стандартной функцией пакета **Control System Toolbox**, которая в нашем случае имеет следующий вид:

```

>>sc=canon(sys,'companion')

```

a =

	x1	x2	x3	x4	x5
x1	-2.442e-015	0	8.882e-016	-1.776e-015	-0.05892
x2	1	6.217e-015	-1.776e-015	-5.329e-015	-0.684
x3	-1.776e-014	1	-8.882e-015	-5.329e-015	-2.745
x4	-1.066e-014	1.332e-014	1	-7.105e-015	-4.751
x5	-2.665e-015	4.038e-015	-3.039e-015	1	-3.623

b =

	u1	u2
x1	1	-12
x2	-7.908e-015	-73.71
x3	-1.64e-014	-170.8
x4	-1.346e-014	-175.1
x5	-3.76e-015	-64.5

c =

	x1	x2	x3	x4	x5
y1	0.7976	-0.7532	0.8177	-0.9792	1.241
y2	-0.7592	0.4603	-0.392	0.4246	-0.5283

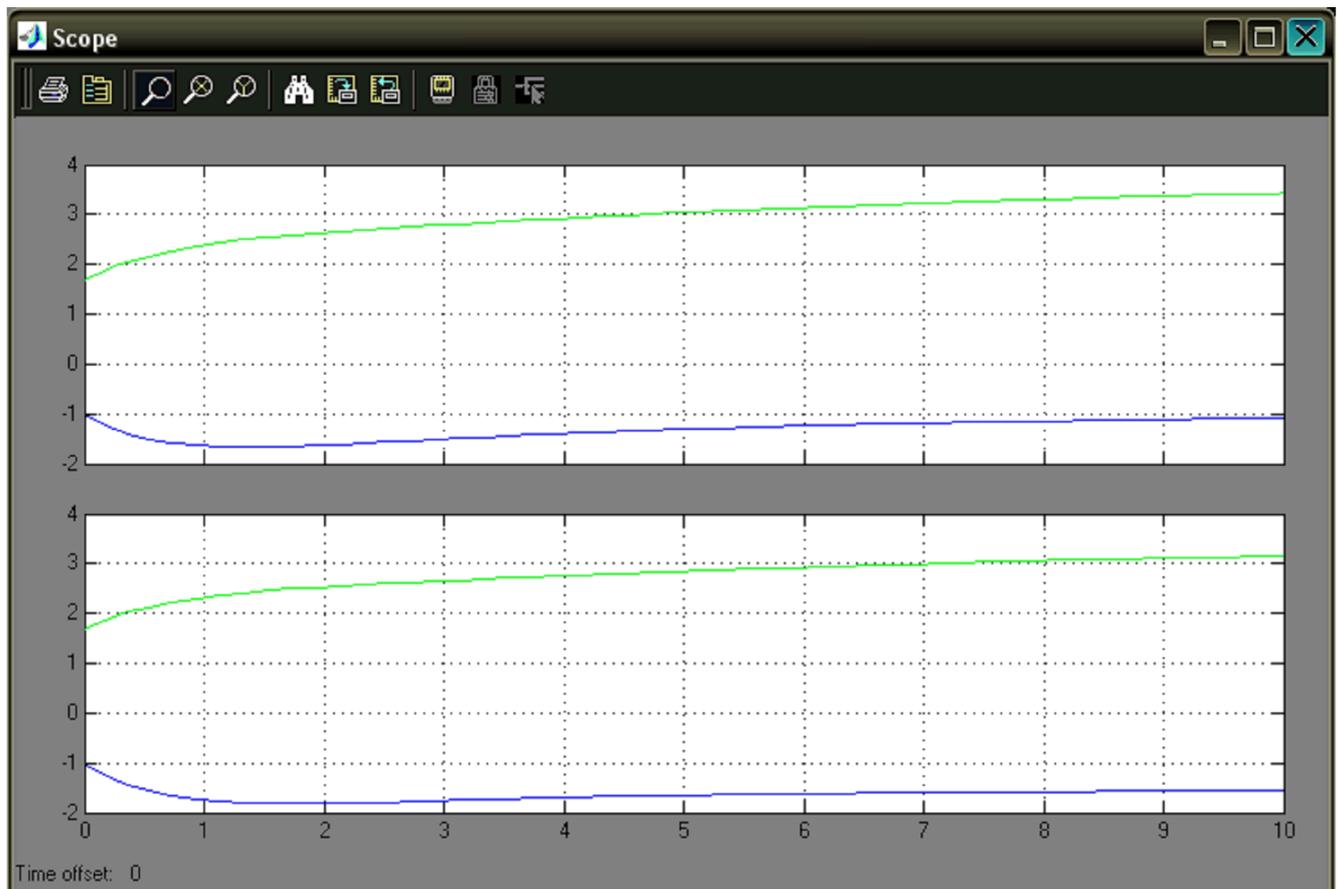
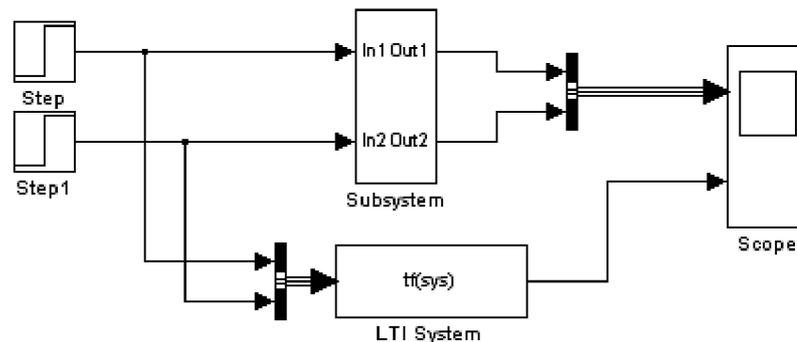
d =

	u1	u2
y1	-1.011	0
y2	0	1.692

Continuous-time model.

При построении структурной схемы учтем следующие обстоятельства. Количество интеграторов в схеме должно быть равно размерности вектора переменных состояния (в нашем случае 5). Входами каждого интегратора являются производные от переменных состояния, а выходами – сами переменные состояния. Связь между переменными состояния и их значениями характеризуется элементами матрицы a . Связь между переменными состояния и входными переменными определяется элементами матрицы b . Связь между переменными состояния и выходными переменными определяется элементами матрицы c . Связь между выходными переменными и входными переменными определяется элементами матрицы d . Величина коэффициента связи задается указанием коэффициента усиления блока Gain. Если значение какой-либо переменной определяется суммарным действием нескольких факторов, то необходимо использовать блок суммирования Sum. Входы и выходы объекта представлены в виде входных (Inport) и выходных (Outport) портов. Построенная на основе использования указанных принципов структурная схема, представлена на рис.4.

Для проверки правильности построенной схемы оформим ее в виде подсистемы и построим Simulink диаграмму для получения реакций исходного объекта и построенной модели. Данная диаграмма будет аналогична той, которая представлена на рис.2.



Реакции моделей принципиально не отличаются, что говорит о том, что структурная схема построена правильно.

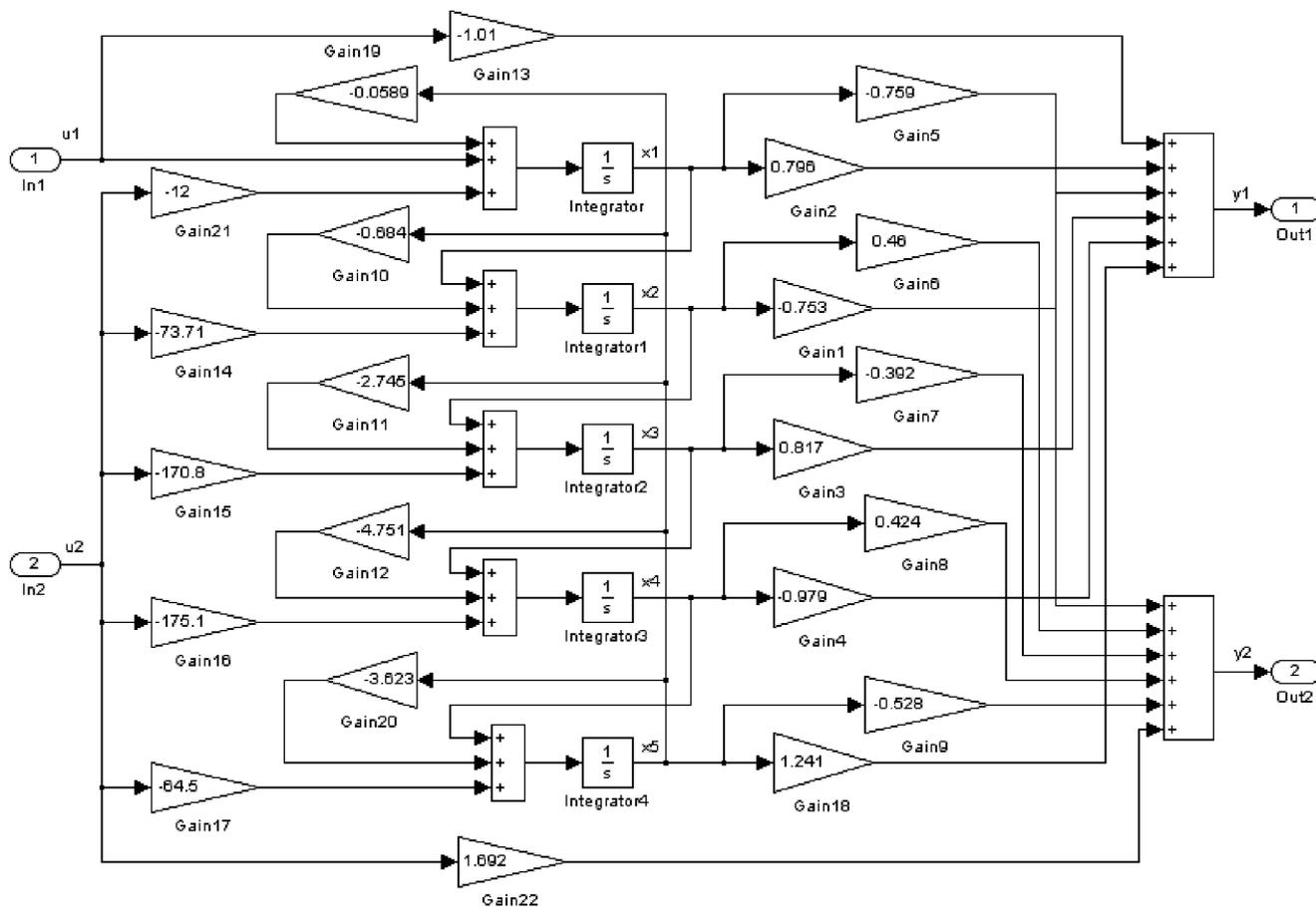


Рис.4. Структурная схема модели в пространстве переменных состояния

Синтез системы управления

В качестве структуры системы управления выберем одну из наиболее эффективных схем управления – алгоритм управления по состоянию. В этом случае управляющее воздействие определяется как линейная комбинация от значений переменных состояния и сигналов ошибки. Предварительно преобразуем ранее разработанную схему следующим образом. Каждую переменную состояния выведем на соответствующий выходной порт, который соответственно переименуем как x_1, x_2 , и т.д. Полученная диаграмма модели будет иметь вид рис.5. Указанное обозначение позволит не перепутать переменные состояния и выходные переменные при построении системы управления по состоянию. Измененную таким образом диаграмму модели оформим в виде подсистемы и перейдем к построению непосредственно системы управления.

Каждую переменную состояния выведем через пропорциональное звено (блок Gain) на соответствующий сумматор, соединенный с входом объекта. В качестве параметра каждого такого блока укажем идентификатор k_{ij} , где i – номер входа объекта, j – номер переменной состояния. Например, k_{23} – параметр блока Gain, связывающего переменную состояния 3 с сумматором, действующим на 2-ой вход объекта. Каждую выходную переменную выведем через единичную обратную связь на сумматоры, стоящие на входе и служащие для формирования сигналов ошибки. Сформированные сигналы ошибок подадим на пропорциональные регуляторы прямой связи с коэффициентами k_{f1} и k_{f2} и далее на сумматоры сигналов переменных состояния.

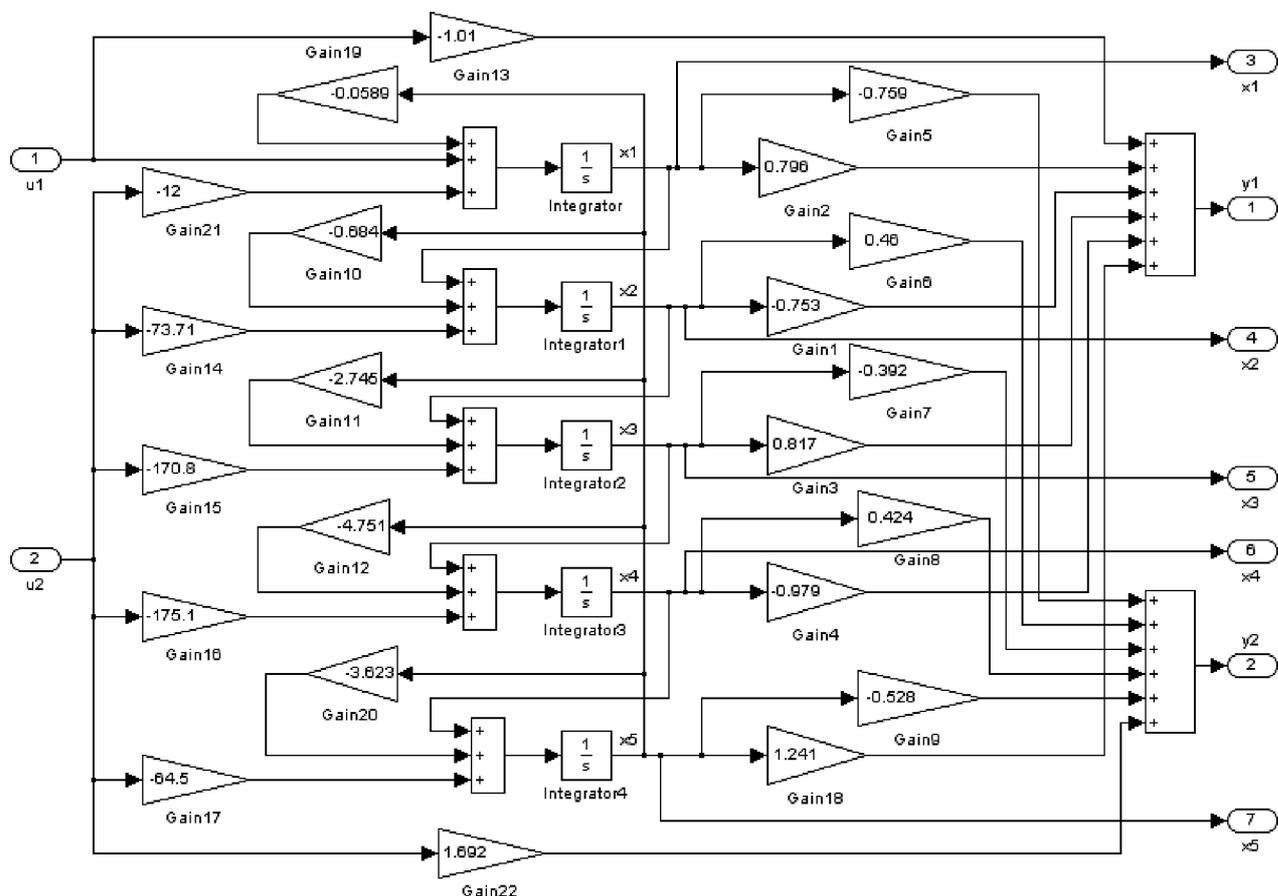
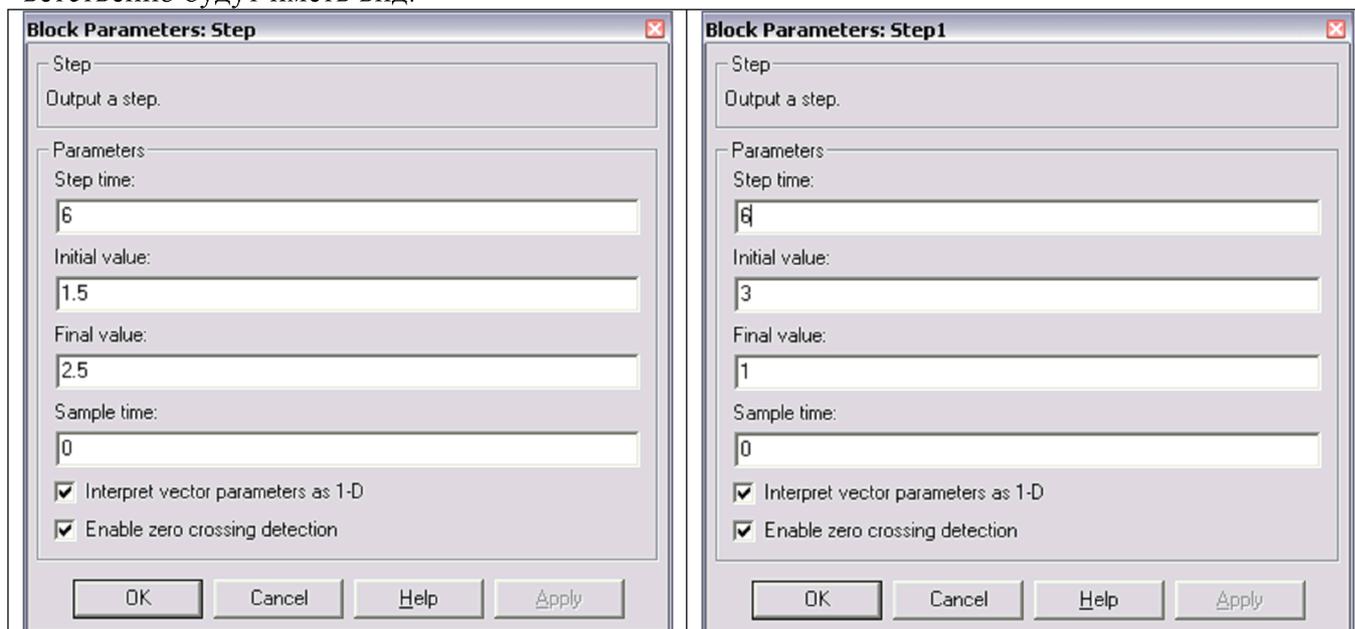


Рис. 5. Структура модели объекта с выведенными переменными состояния

Для формирования задающих сигналов используем блоки подачи ступенчатых воздействий Step. В качестве параметров этих блоков установим параметры задающих воздействий, указанные в задании. Окна установки параметров блока Step для первого и второго входов соответственно будут иметь вид:



Здесь **Step time** – момент переключения задающего сигнала по первому входу, **Initial value** – значение задающего сигнала до переключения, **Final value** - значение задающего сигнала после переключения.

Выходные переменные объекта управления подключим к блокам **NCD Output**, имеющимся в библиотеке пакета **Nonlinear Control Design** (Проектирование нелинейных систем управления).

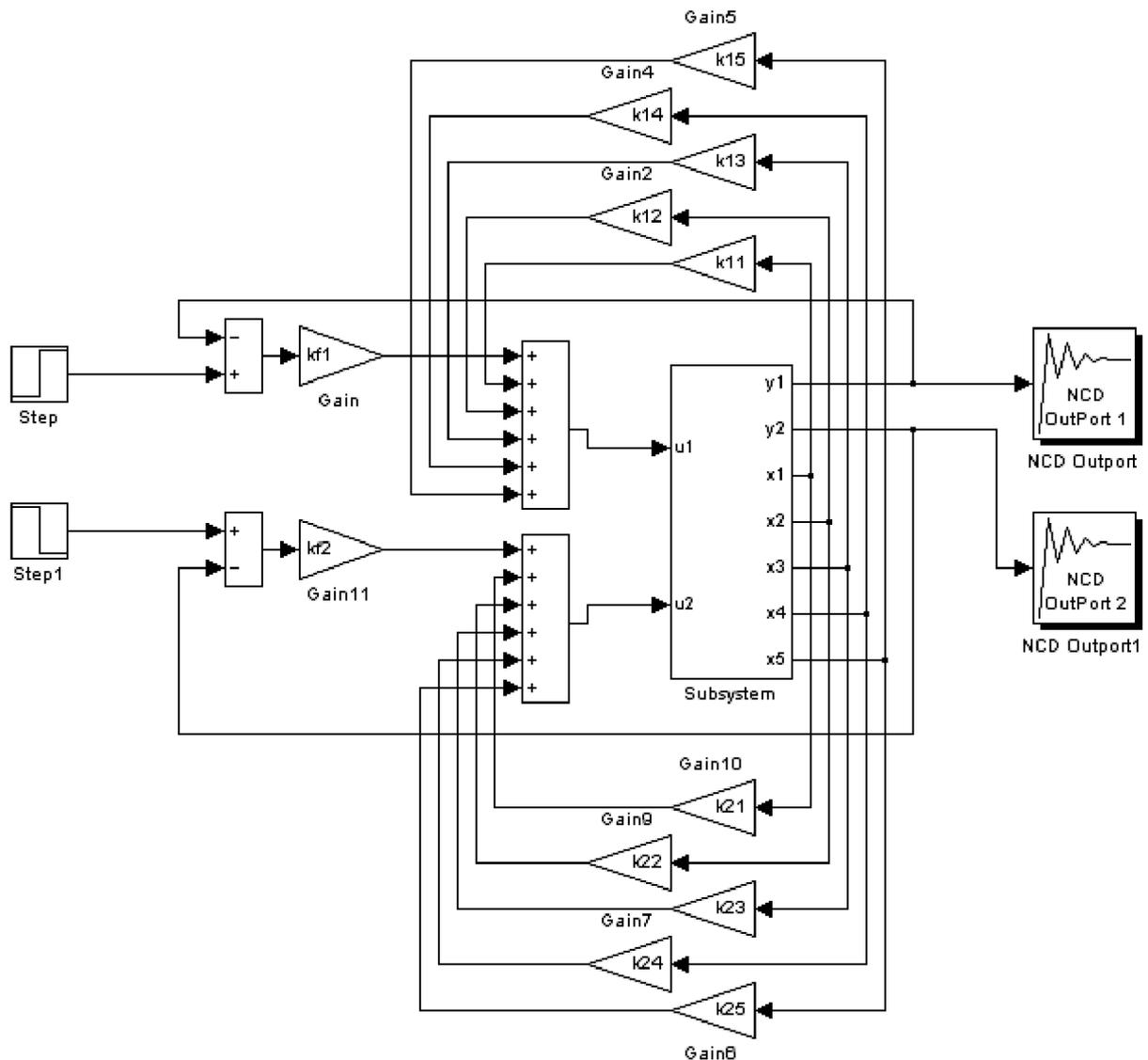


Рис.6. Структура системы управления

Двойным щелчком ЛК по диаграмме блока **NCD Output** откроем диалоговое окно настройки его параметров. Откроем выпадающее меню **Options**. Выберем опцию **Y-Axis** и изменим диапазон изменения выходной переменной по оси ординат. Например, для первой выходной переменной необходимо установить, диапазон, перекрывающий максимальное значение сигнала задания, т.е. установить [0 3.5] (Примечание: максимальное значение равно 2,63).

Аналогично, выберем опцию **Time range...** и изменим диапазон изменения по временной оси, так чтобы он примерно в полтора раза перекрывал значение максимального момента времени переключения задающих сигналов. В нашем случае момент переключения 1-го задающего сигнала равен 6с., а второго – 5с.. Максимальное значение равно 6, поэтому надо выбрать граничное значение диапазона времени моделирования, большее чем $1.5 \cdot 6 = 9$. Возьмем с запасом временной диапазон [0 13]. Также необходимо изменить максимальное значение времени моделирования. Для этого в окне модели выберем на панели основного меню опцию **Simulation**. Выпадет меню с опциями настройки параметров моделирования. Выберем опцию **Simulation parameters**. В открывшемся диалоговом окне изменим параметр **Stop time** на 13.

В каждом окне формирования ограничений сигналов сформируем коридор, ограничивающий поведение выходных переменных. При этом необходимо учесть характер изменения сигналов задания, время переходного процесса, максимальное перерегулирование и максимальное значение установившейся ошибки. При формировании коридора ограничений (коробки) можно

использовать клавишу **Split** для деления выделенной линии на две части, диалоговым окном, выпадающим после нажатия правой клавиши мыши на какой-либо линии, с целью задания координат граничных точек этой линии. Параметры ограничивающего коридора, неуказанные в задании (время разгона, амплитуда выходной переменной в момент окончания разгона) можно выбрать произвольно. Сформированные с учетом указанных правил коридоры ограничений будут иметь вид рис.7 и рис.8.

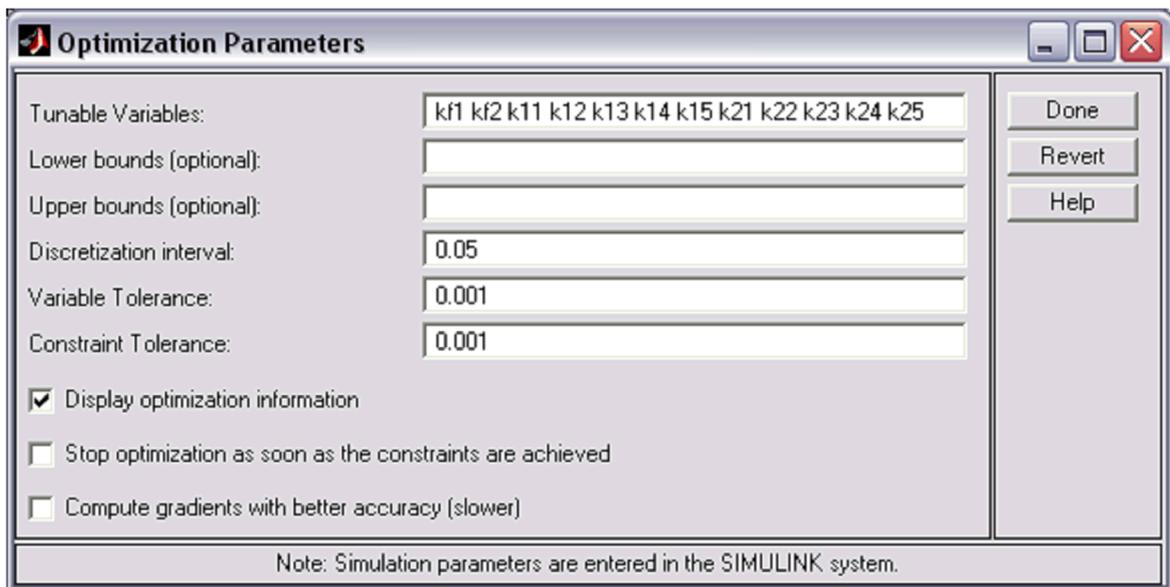


Рис.7. Коридор ограничений для 1-ой выходной переменной



Рис.8. Коридор ограничений для 2-ой выходной переменной

В командной строке MATLABa задать начальные приближения настраиваемых параметров. Их можно задать произвольным образом, но, желательно не очень большими, например, в диапазоне от -2 до 2. После этого в окне формирования ограничений на панели меню выбрать опцию **Optimization**, в выпадающем меню выбрать опцию **Parameters** и в открывшемся диалоговом окне заполнить список **Tunable Variables**, внося в него наименования всех настраиваемых параметров: $kf1$, $kf2$, $k11$, $k12$, $k13$, $k14$, $k15$, $k21$, $k22$, $k23$, $k24$, $k25$. Также необходимо изменить параметр **Discretization interval**, выбрав его в диапазоне [0.01 0.1].



После этого можно нажать клавишу **Start** и по истечении некоторого промежутка времени, убедившись, что траектория кривой переходного процесса вошла в коридор ограничений, записать значения настраиваемых коэффициентов.

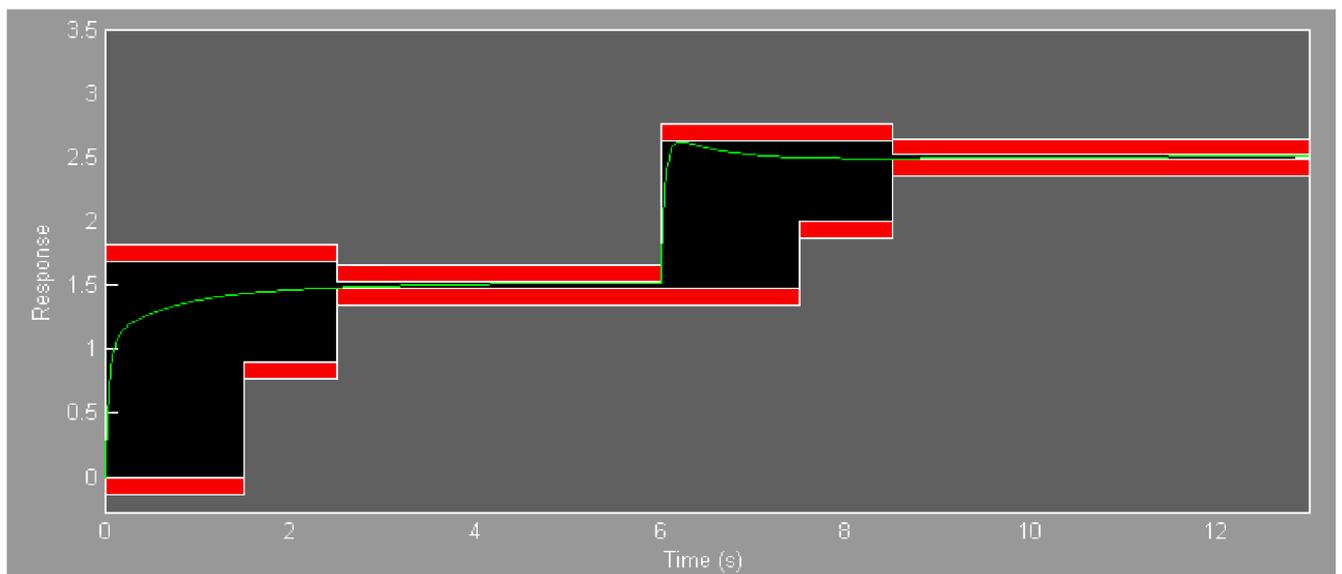


Рис.9. Кривая переходного процесса для 1-ой выходной переменной

Полученные значения настраиваемых коэффициентов:

$k_{f1} = 24.4267$
 $k_{11} = -0.1448$
 $k_{12} = 0.3061$
 $k_{13} = -0.1794$
 $k_{14} = 0.1161$
 $k_{15} = -0.2179$

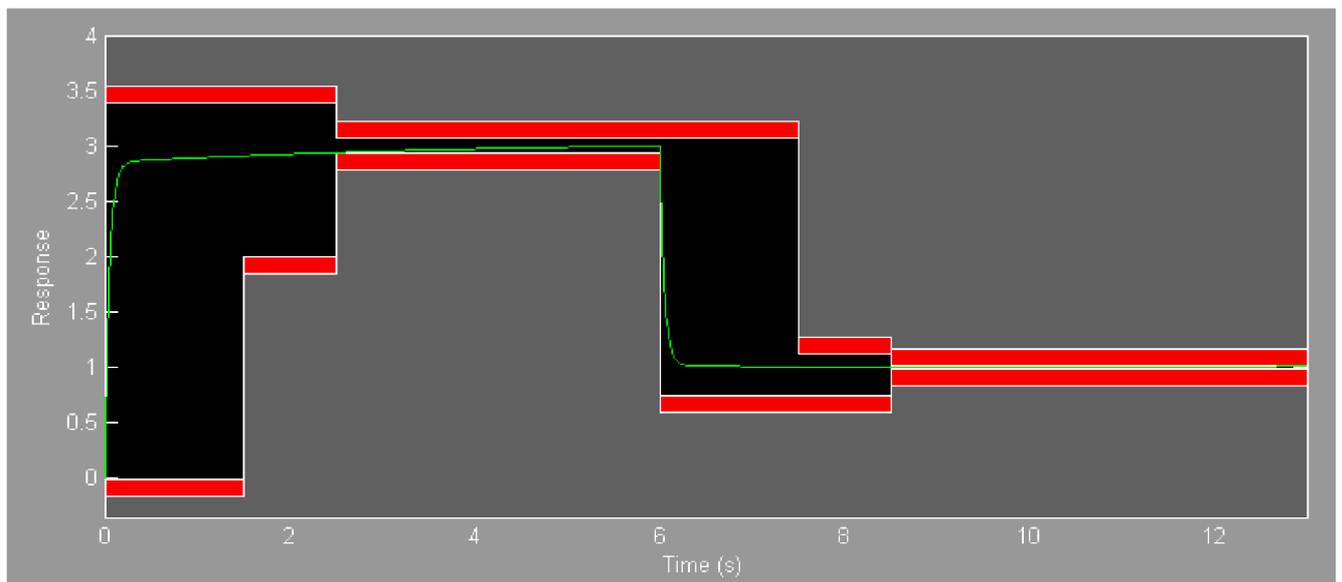


Рис.10. Кривая переходного процесса для 2-ой выходной переменной

Полученные значения настраиваемых коэффициентов

$k_{f2} = 10.0000$

$k_{21} = -0.0026$

$k_{22} = -0.0016$

$k_{23} = 0.0030$

$k_{24} = -0.0030$

$k_{25} = -0.0044$

Далее поставим полученные значения настроенных коэффициентов в соответствующие блоки.

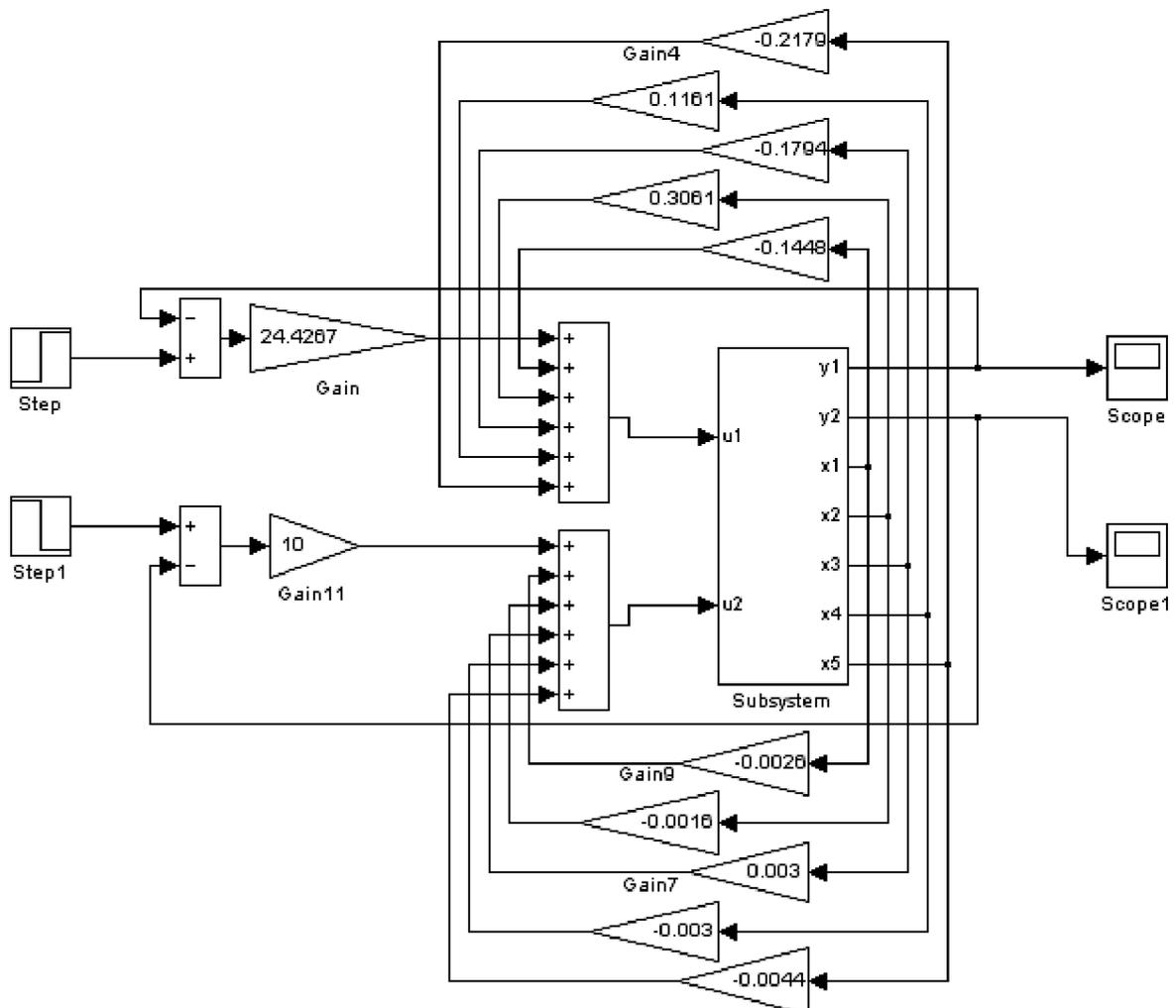


Рис.11. Преобразованная структура системы управления

На осциллографах **Scope** и **Scope1** можно наблюдать характеристики переходных процессов на обоих выходах системы.

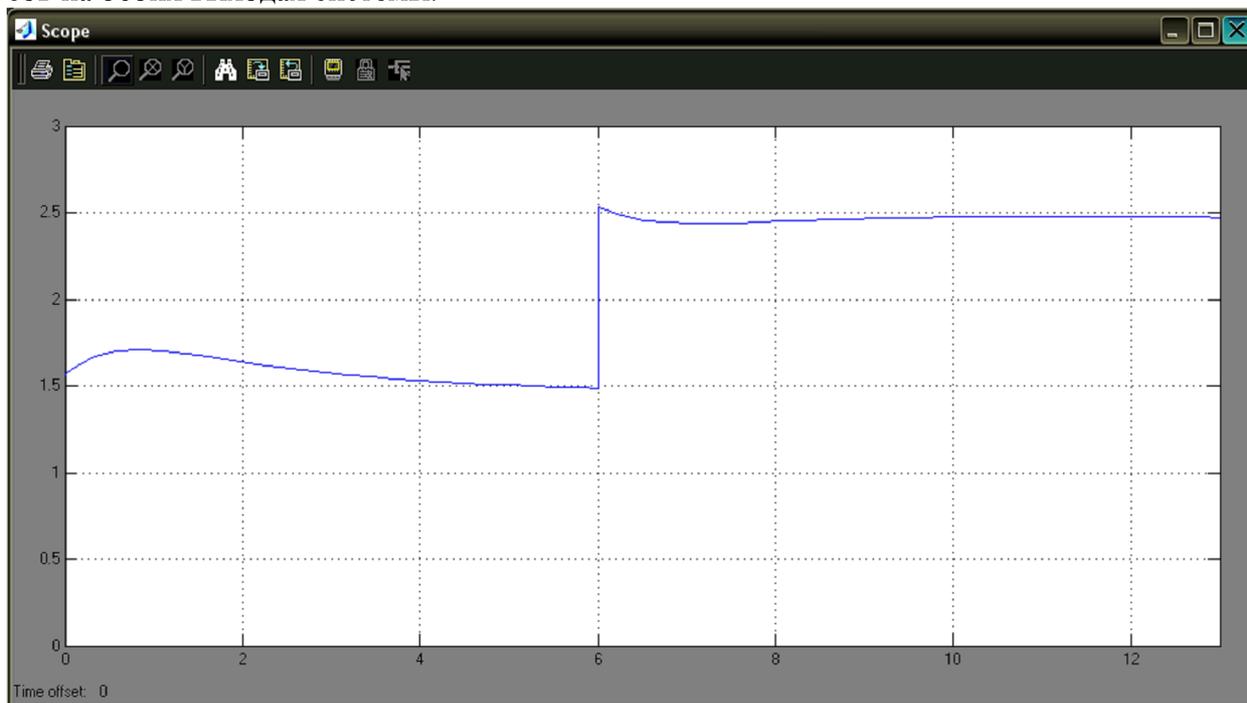


Рис. 12. Характеристика переходного процесса на 1-ом выходе

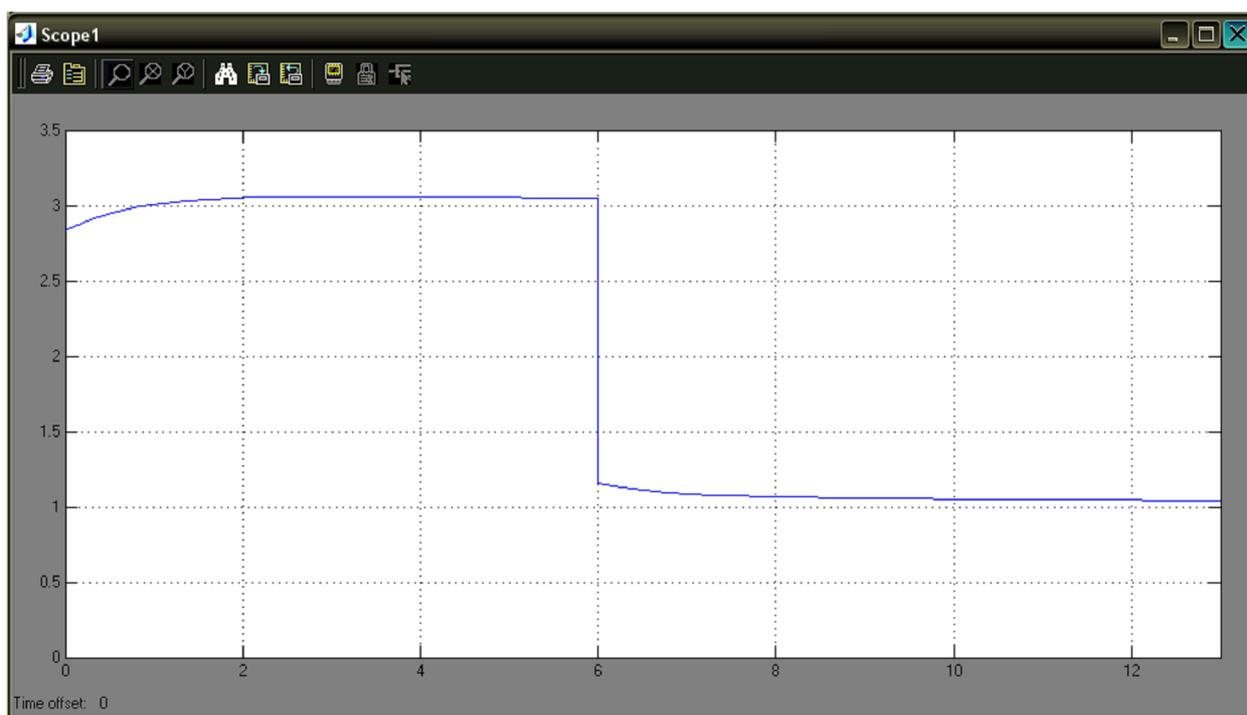


Рис. 13. Характеристика переходного процесса на 2-ом выходе

Из графиков переходного процесса видно, что получившаяся система полностью удовлетворяет заданным требованиям к качеству управления.