Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский университет ИТМО»
(Университет ИТМО)

Дисциплина: Теория автоматического управления

Отчет
по лабораторной работе №4:
«Регуляторы и астатизмы»

Вариант 12

Выполнил:
Самбрано Браво Рикардо Хосе,
студент гр. R33352

Преподаватель:
Пашенко Артем Витальевич,
фак. СУиР

Санкт-Петербург,
2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Выполнение задания №1 «Задача стабилизации с идеальным дифференцирующим звеном»

1.1 Условие задания №1 «Задача стабилизации с идеальным дифференцирующим звеном»

Придумайте такие коэффициенты a_0, a_1 и a_2 для системы вида

$$a_2\ddot{y} + a_1\dot{y} + a_0 y = u \tag{1}$$

чтобы она содержала хотя бы один неустойчивый полюс. Возьмите регулятор вида

$$u = k_0 y + k_1 \dot{y} \tag{2}$$

и задайте такие отличные от нуля значения k_0 и k_1, при которых замкнутая система будет устойчивой. Выполните моделирование с отличными от нуля начальными условиями $y(0)$, $\dot{y}(0)$ и постройте графики выхода разомкнутой и замкнутой системы

1.2 Аналитика по полученным графикам и промежуточные результаты по заданию №1 «Задача стабилизации с идеальным дифференцирующим звеном»

$$a_0 = 4, \qquad a_1 = -1, \qquad a_2 = 1$$

$$\ddot{y} - \dot{y} + 4y = u \tag{3}$$

$$u = -50y - 5\dot{y} \tag{4}$$

$$y(0) = 5, \qquad \dot{y}(0) = 8$$

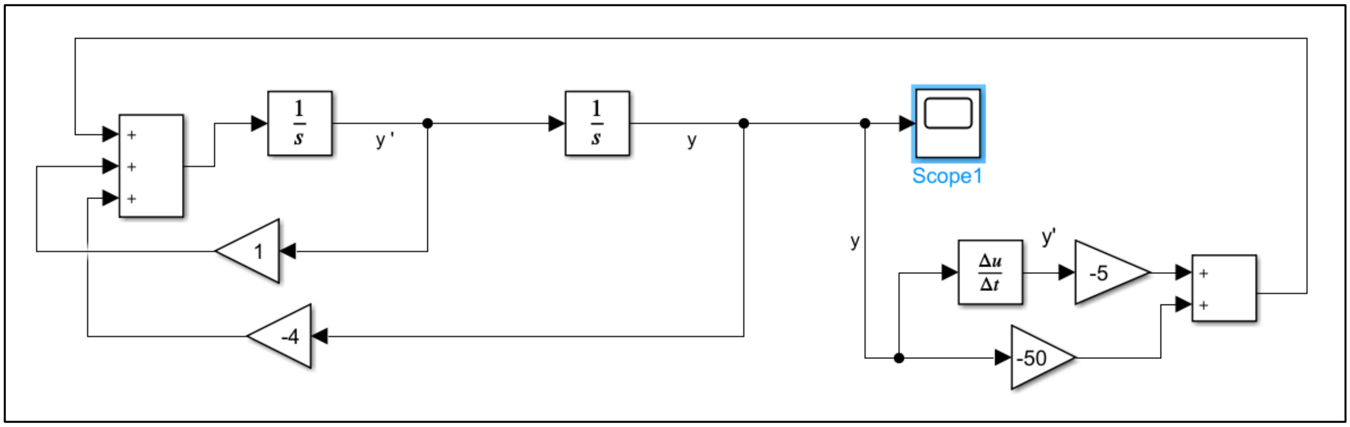

Рисунок 1 - Схема системы с регулятором

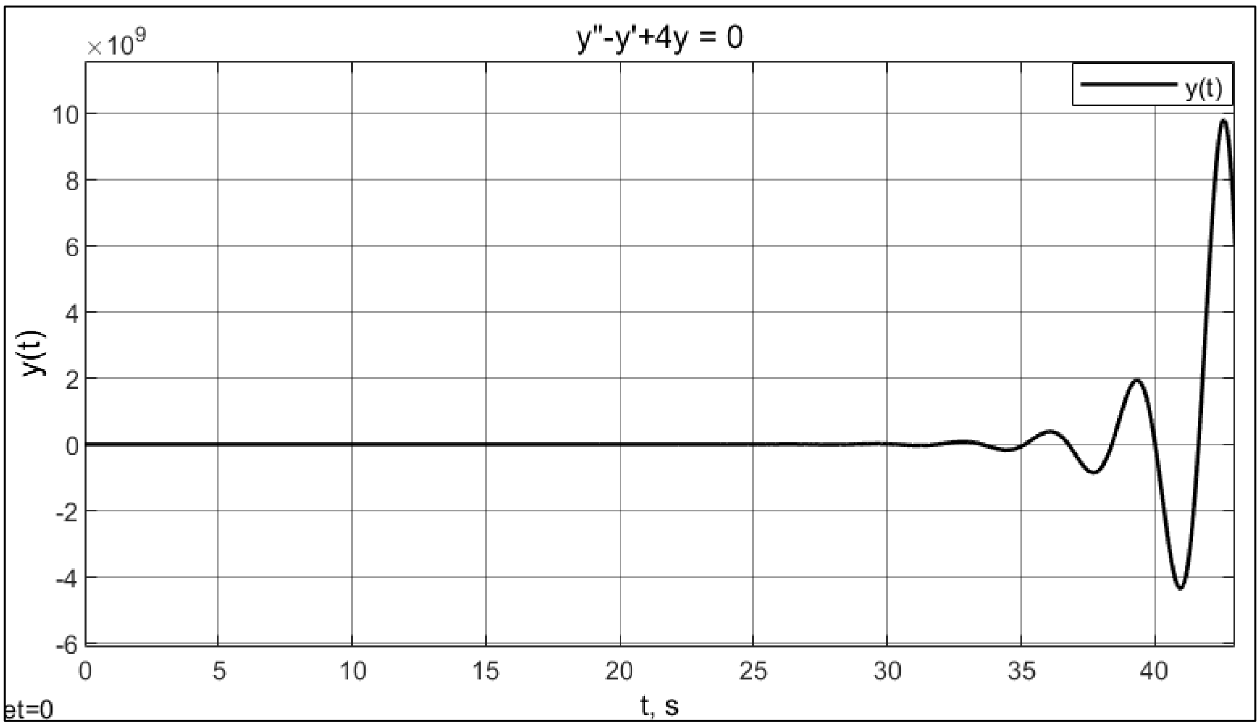

Рисунок 2 - Выход системы y(t) без регулятора

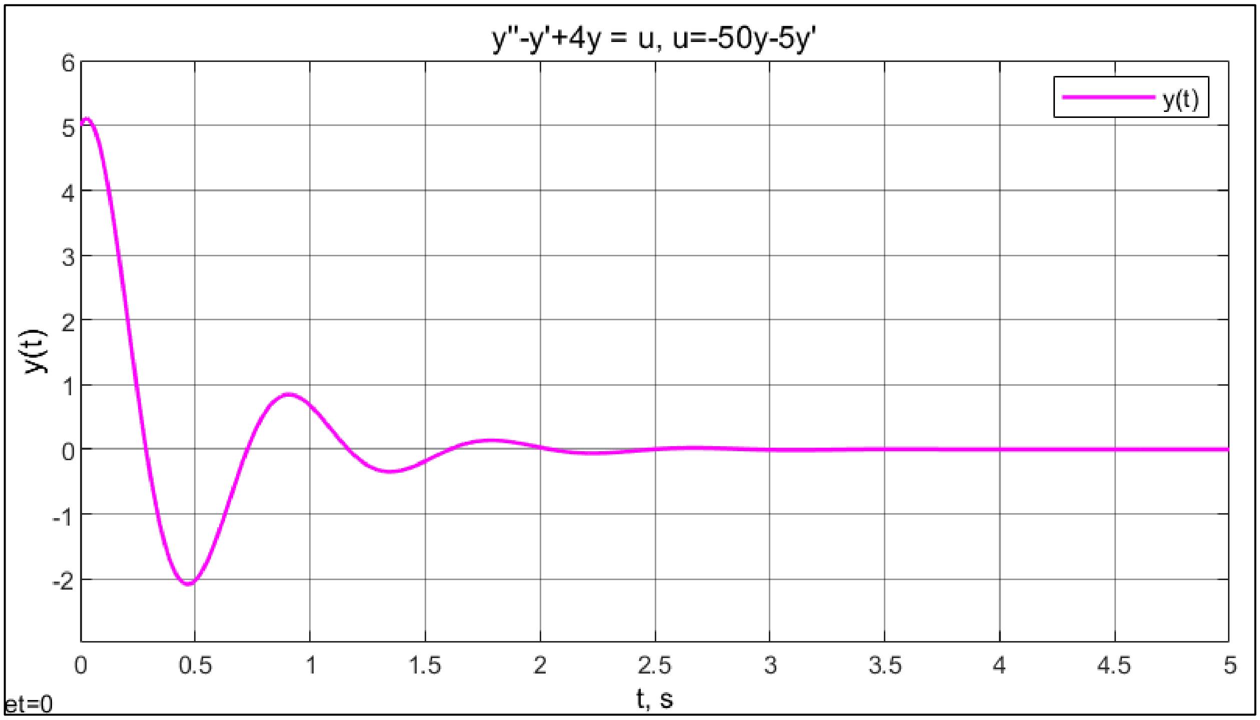

Рисунок 3 - Выход системы y(t) с регулятором

Переходим к использованию другого варианта коэффициентов:

$$a_0 = -10, a_1 = -5, a_2 = 1$$

$$\ddot{y} - 5\dot{y} - 10y = u \quad (5)$$

$$u = -25y - 6\dot{y} \quad (6)$$

$$y(0) = 15, \dot{y}(0) = 2$$

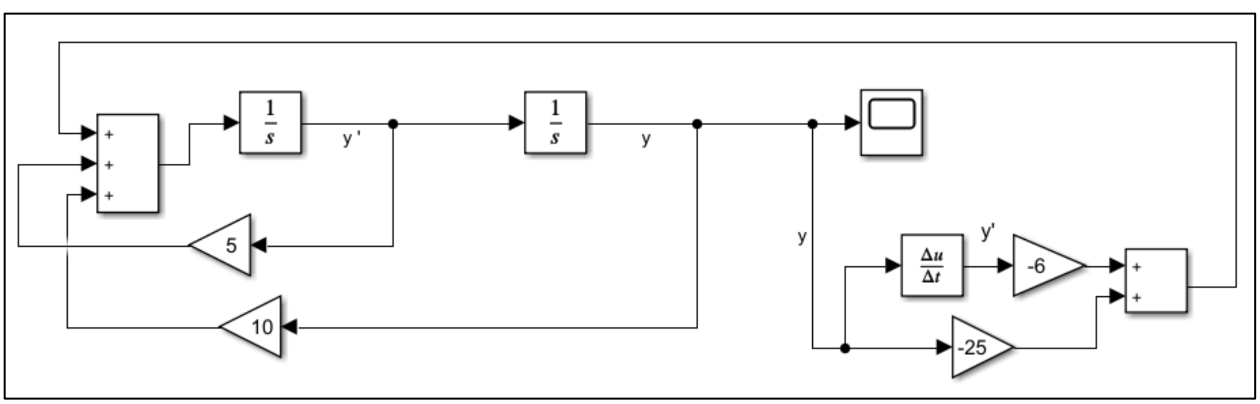

Рисунок 4 - Схема системы с регулятором

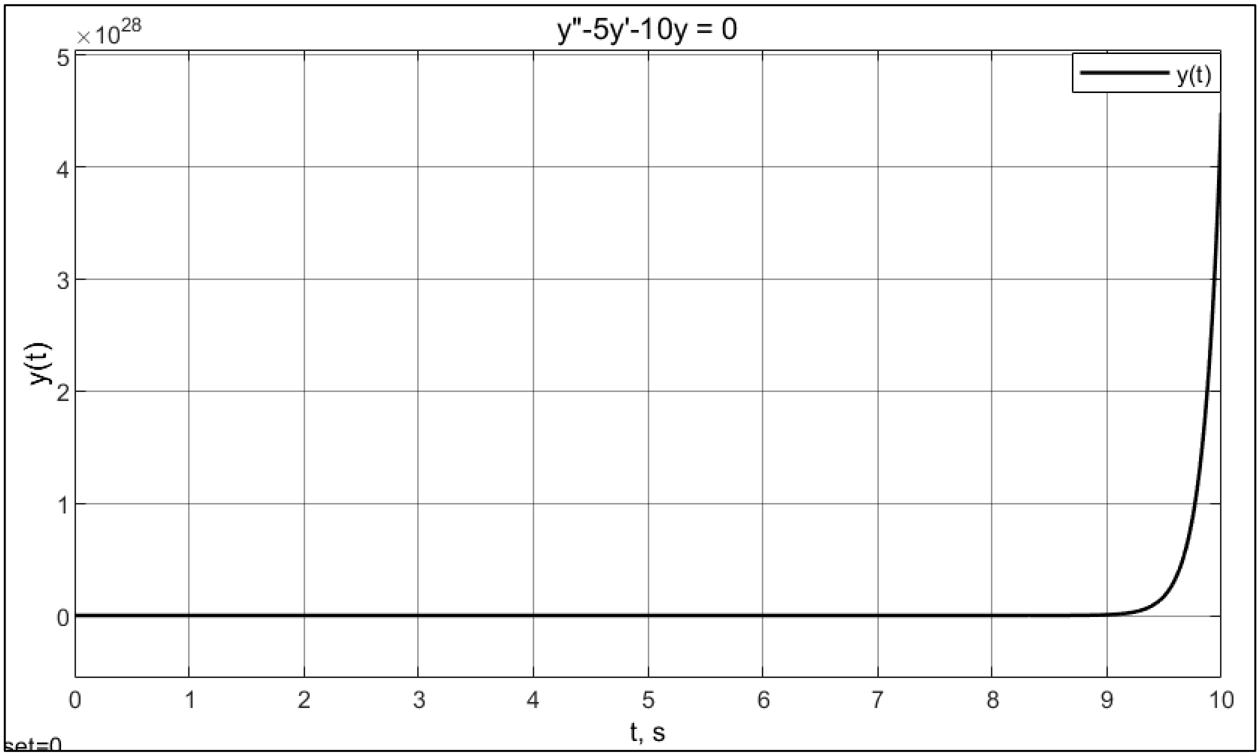

Рисунок 5 - Выход системы y(t) без регулятора

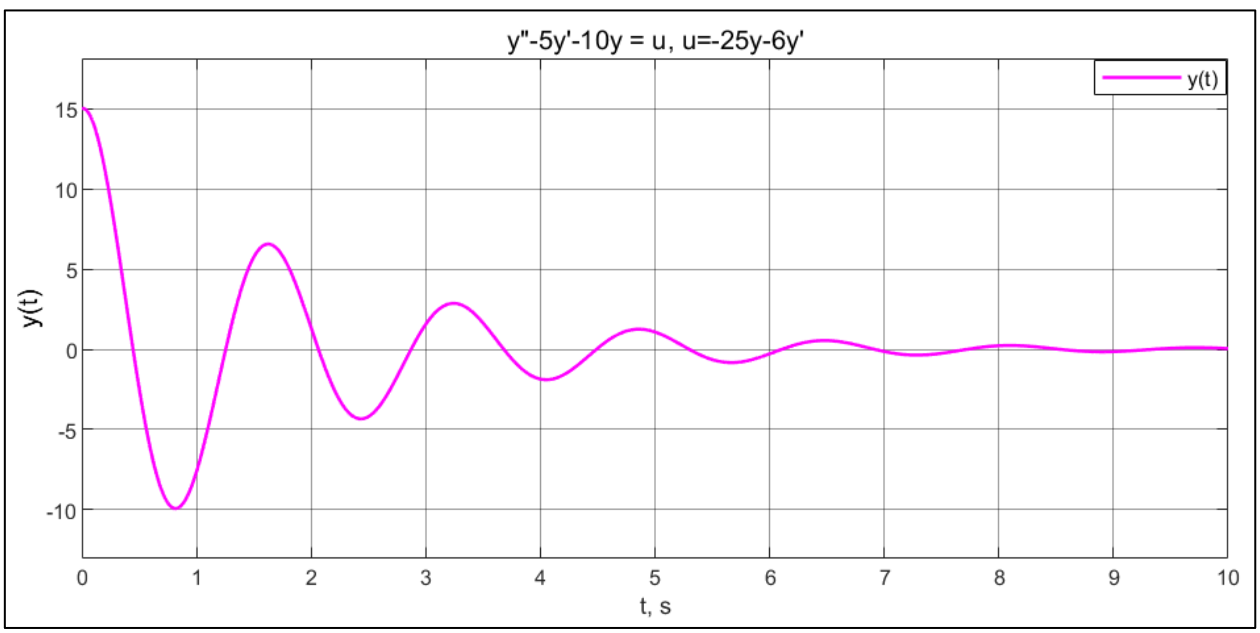

Рисунок 6 - Выход системы y(t) с регулятором

1.3 Выводы по заданию №1 «Задача стабилизации с идеальным дифференцирующим звеном»

В данной задаче были найдены коэффициенты a_0, a_1 и a_2 для системы управления второго порядка с условием наличия хотя бы одного неустойчивого полюса. Далее был введен регулятор второго порядка для стабилизации системы. Были выбраны значения k_0 и k_1 так, чтобы замкнутая система оказалась устойчивой.

После этого было проведено моделирование с различными начальными условиями для y (0) и y' (0). Графики выхода разомкнутой и замкнутой системы показали, что введенный регулятор успешно обеспечивает стабильность системы при выбранных значениях коэффициентов.

2. Выполнение задания №2 «Задача стабилизации с реальным дифференцирующим звеном»

2.1 Условие задания №2 «Задача стабилизации с реальным дифференцирующим звеном»

Измените систему из предыдущего задания, заменив блок Derivative на передаточную функцию вида

$$W_{р.дифф.}(s) = \frac{s}{Ts + 1} \qquad (7)$$

Определите аналитически критическое значение параметра T, при котором система становится неустойчивой. Проведите аналогичное первому заданию моделирование для нескольких различных значений T, соответствующих устойчивой системе. Приведите соответствующие графики выхода $y(t)$.

2.2 Аналитика по полученным графикам и промежуточные результаты по заданию №2 «Задача стабилизации с реальным дифференцирующим звеном»

Приступим к расчету области устойчивости системы:

$$k_0 + k_1 \frac{s}{Ts+1} = a_2 s^2 + a_1 s + a_0 \quad (8)$$

$$(Ts+1)k_0 + k_1 = (Ts+1)(a_2 s^2 + a_1 s + a_0) \quad (9)$$

$$a_2 T s^3 + (a_1 T + a_2)s^2 + (a_0 T + a_1 - T k_0 - k_1)s + a_0 - k_0 = 0 \quad (10)$$

$$1Ts^3 + (-5T + 1)s^2 + (-10T - 5 + 25T + 6)s - 10 + 25 = 0 \quad (11)$$

$$1Ts^3 + (-5T + 1)s^2 + (15T + 1)s + 15 = 0 \quad (12)$$

Согласно критериям Гурвица:

$$\begin{cases} 1T > 0 \\ -5T + 1 > 0 \\ 15T + 1 > 0 \\ -72T^2 + 10T + 1 > 15T \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} T > 0 \\ T < \frac{1}{5} \\ T > -\frac{1}{15} \\ T < \frac{\sqrt{313} - 5}{144} \end{cases}$$

$T < 0.087$

Можно заключить, что система устойчива, когда T имеет значение меньше 0,087. Приступаем к составлению схемы и видим результаты:

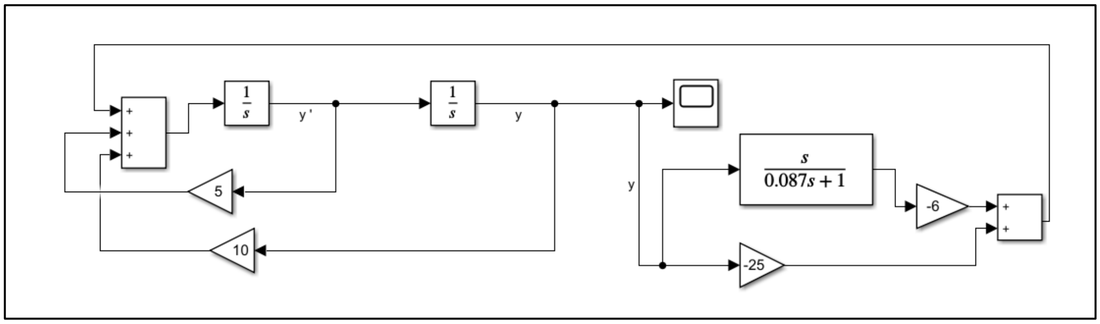

Рисунок 7 - Схема стабилизации с реальным дифференцирующим регулятором

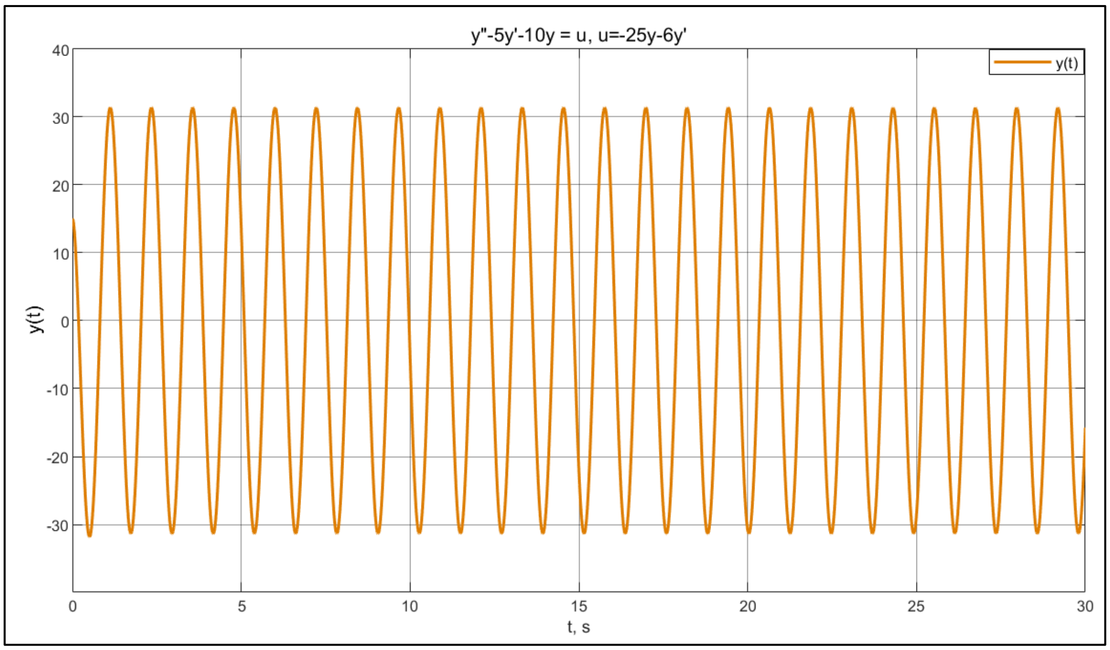

Рисунок 8 - Выход y(t) системы при T = 0,087

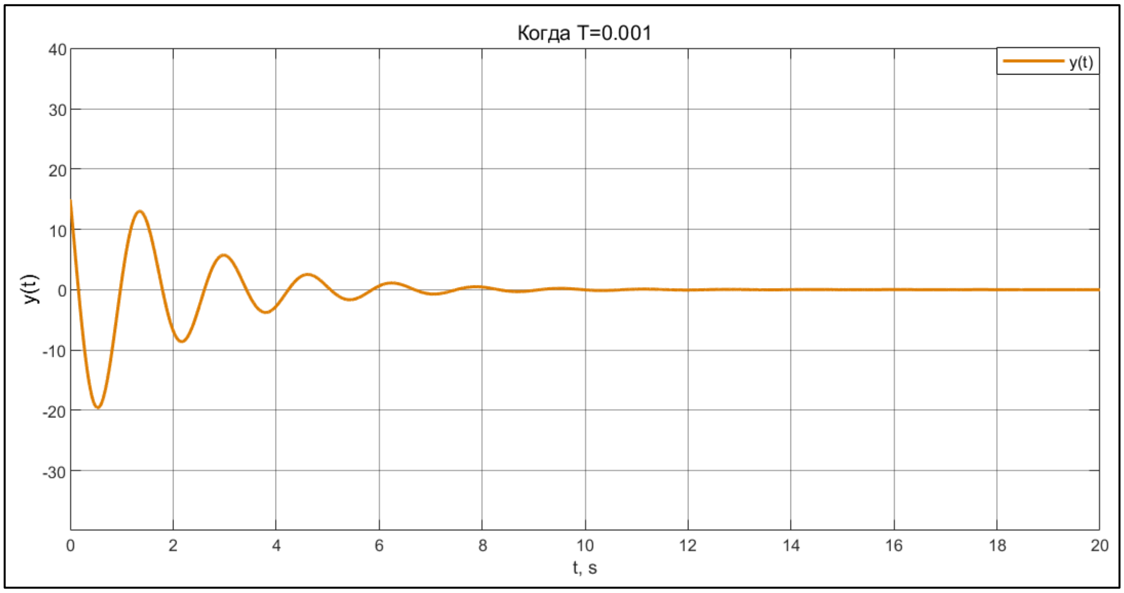

Рисунок 9 - Выход y(t) системы при T = 0,001

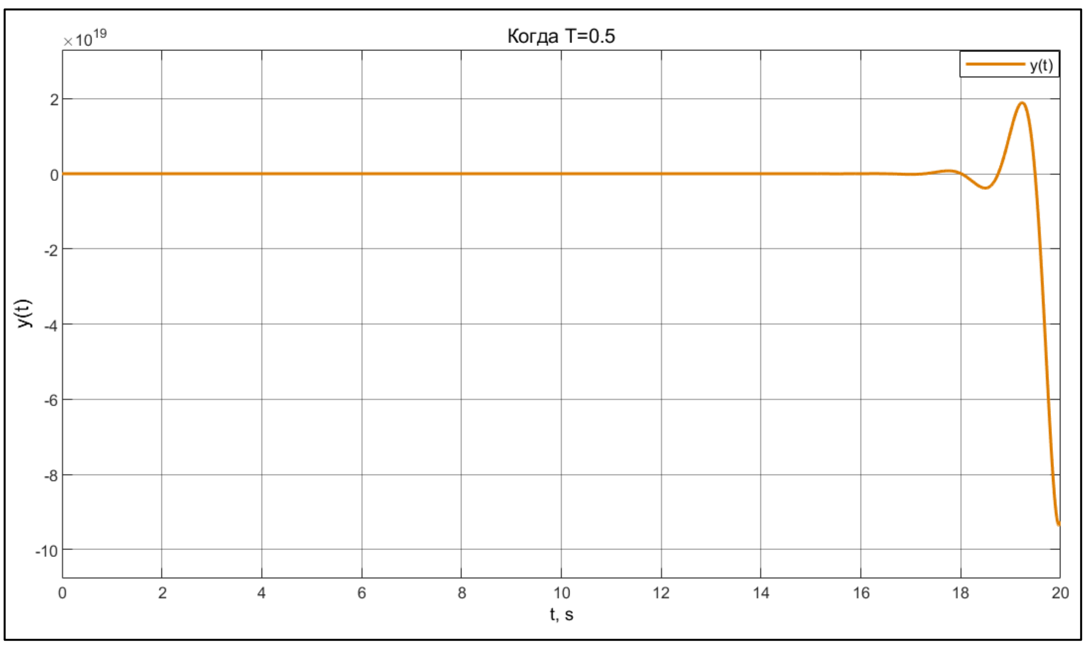

Рисунок 10 - Выход y(t) системы при T = 0,5

2.3 Выводы по заданию №2 «Задача стабилизации с реальным дифференцирующим звеном»

В данном упражнении мы производим замену блока дифференциатора на передаточную функцию вида $W_{р.дифф.}(s) = \frac{s}{Ts+1}$.

Аналитически определено критическое значение параметра T, при котором система становится неустойчивой. Далее было проведено моделирование для различных значений T, соответствующих устойчивой системе. Графики выхода y(t) показывают, что при значениях T, меньших критического, система остается устойчивой, в то время как при значениях T, больших критического, система проявляет неустойчивость.

3. Выполнение задания №3 «Исследование влияния шума»

3.1 Условие задания №3 «Исследование влияния шума»

Исследуйте влияние шума на работоспособность замкнутой системы с идеальным и реальным дифференцирующими звеньями. Для этого добавьте шум ко входам регуляторов каждой из систем предыдущих пунктов (рис. 2). Для генерации шума используйте блок *Band-Limited White Noise* со следующими параметрами: *noise power* = 0.01 и *sample time* = 0.01.

Сопоставьте выходы систем с шумом и без и сделайте вывод о поведении дифференцирующего звена при наличии шума, приведите соответствующие графики выходов y(t).

Исследуйте влияние параметра T на чувствительность системы, замкнутой реальным дифференцирующим звеном, к шуму, проведя моделирование для нескольких различных значений параметра T, соответствующих устойчивой системе. Приведите соответствующие графики выхода y(t).

3.2 Аналитика по полученным графикам и промежуточные результаты по заданию №3 «Исследование влияния шума»

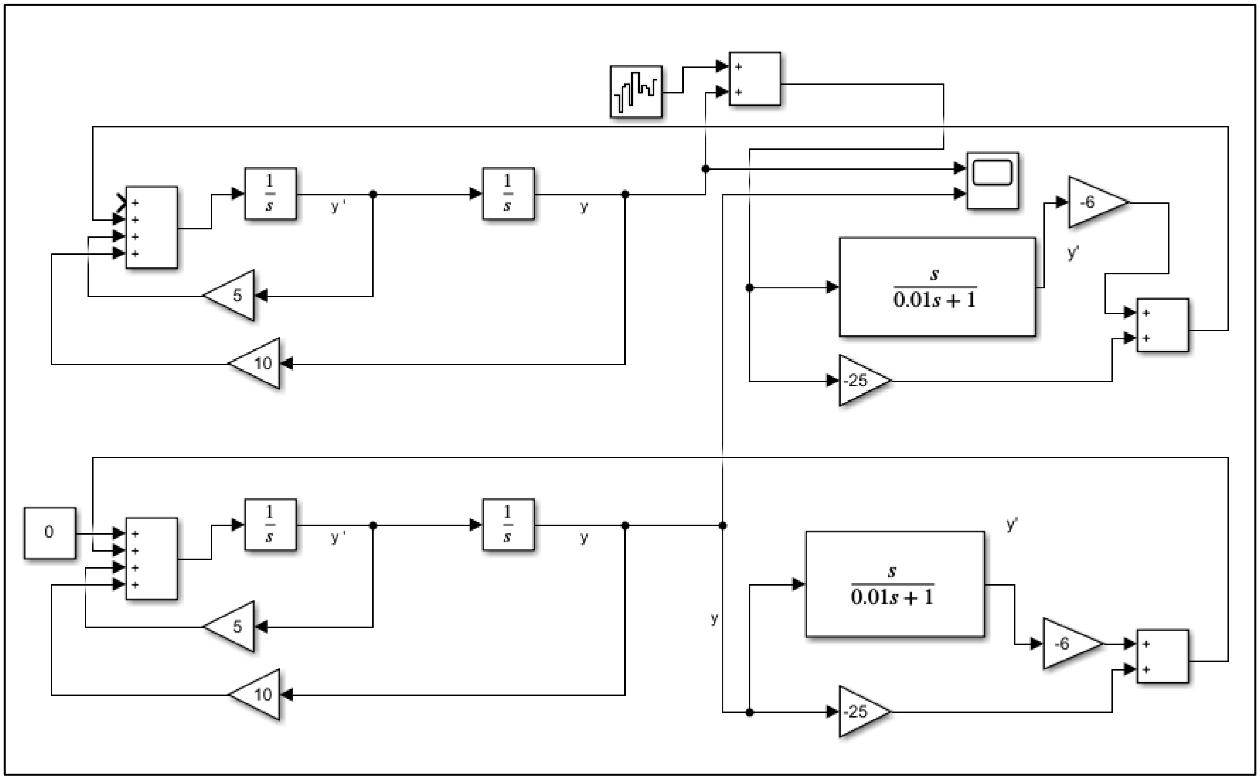

Рисунок 11 - Схема системы с шумом и без шума

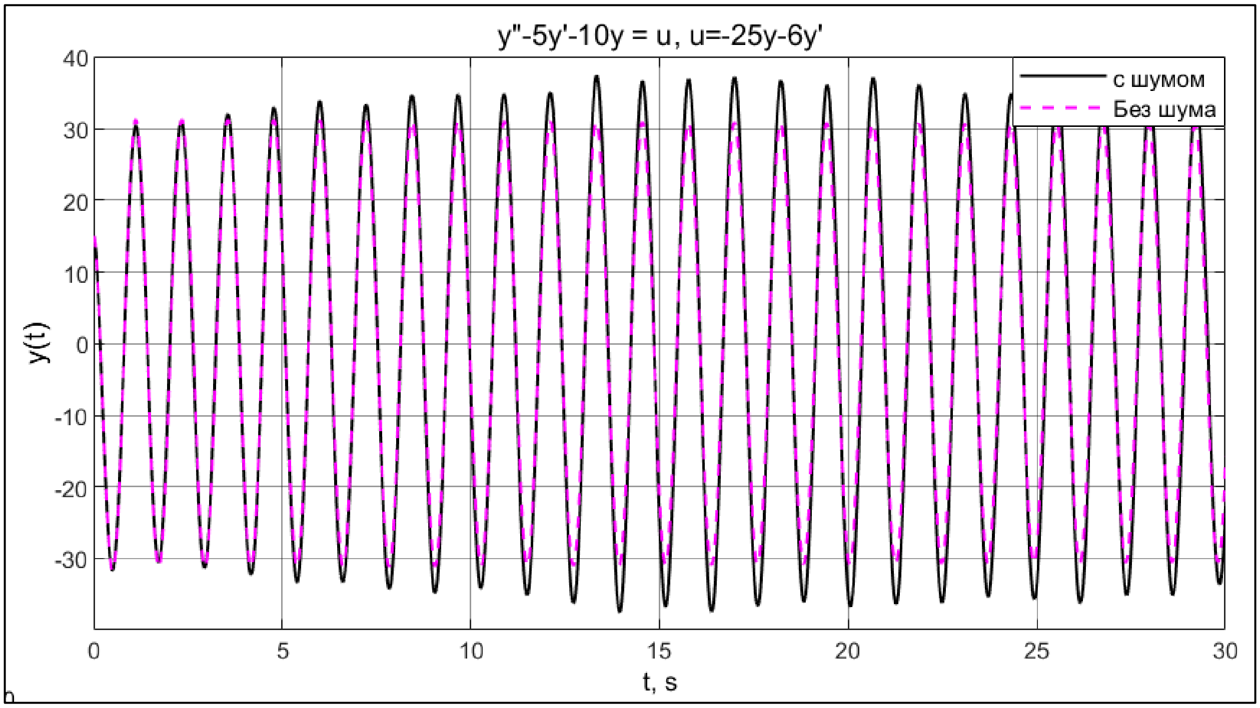

Рисунок 12 - Выход y(t) системы при T = 0,087

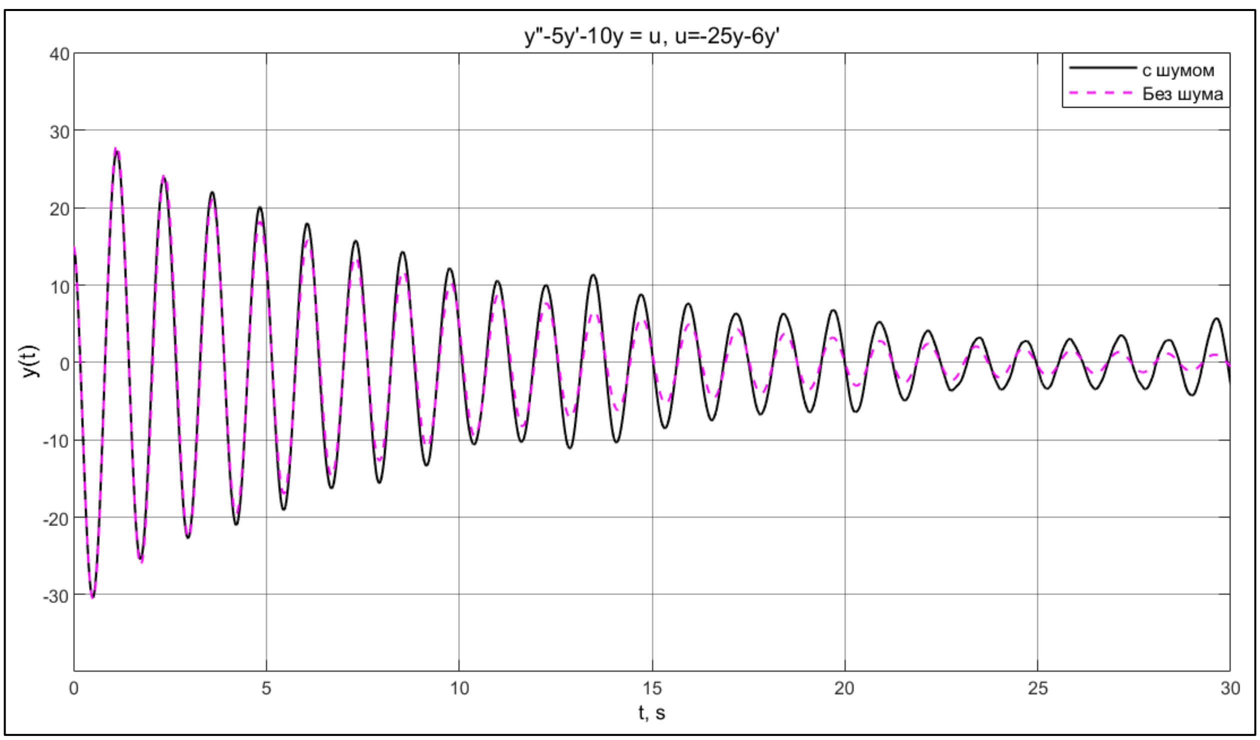

Рисунок 13 - Выход y(t) системы при T = 0,07

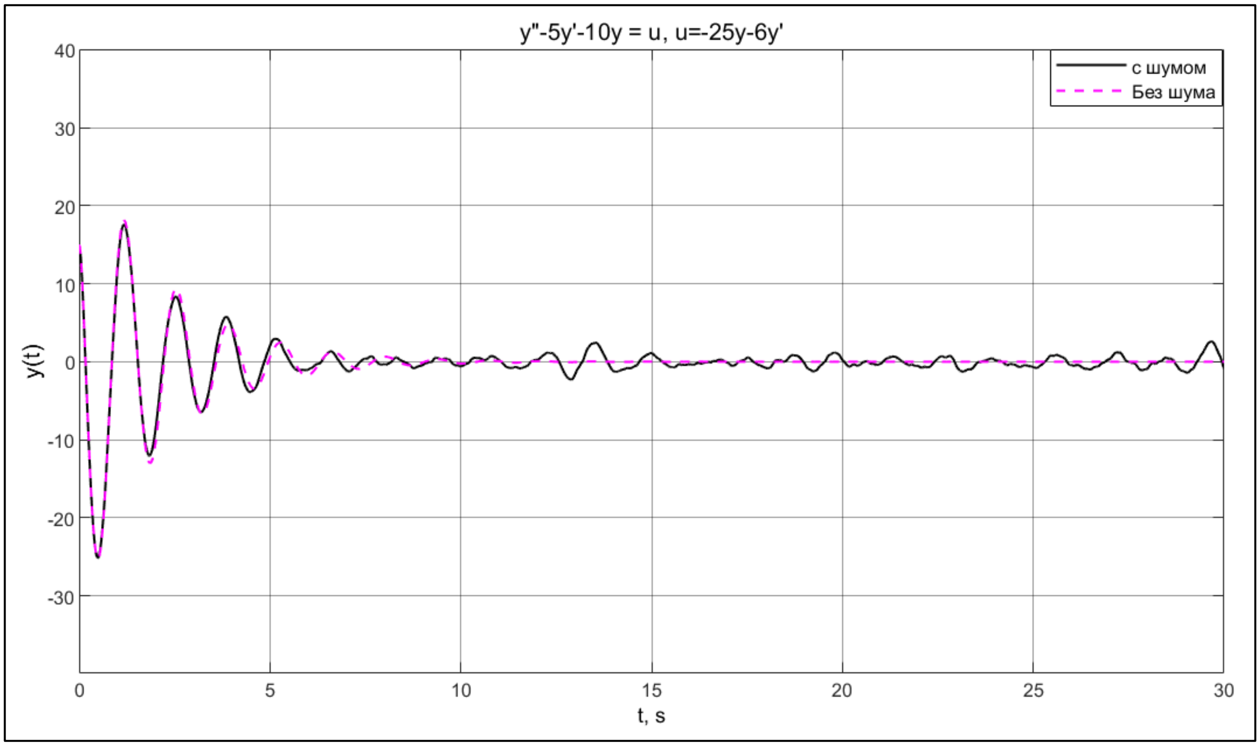

Рисунок 14 - Выход y(t) системы при T = 0,02

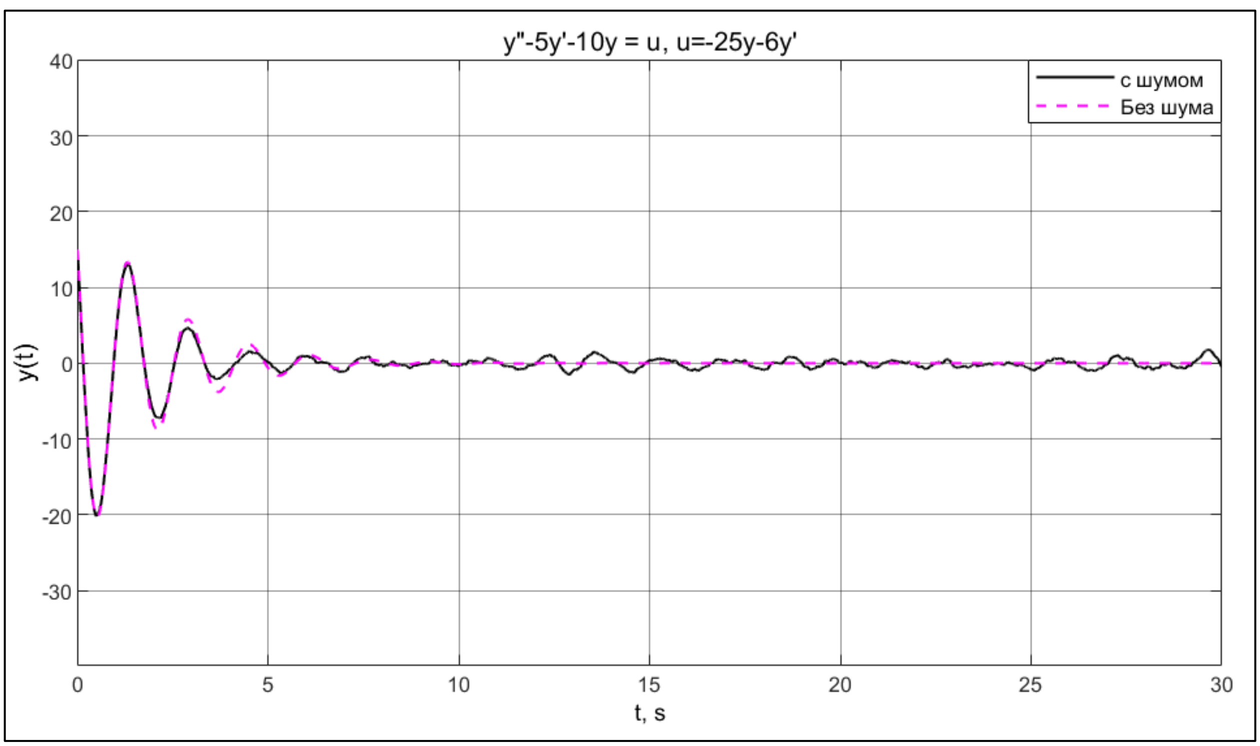

Рисунок 15 - Выход y(t) системы при T = 0,001

3.3 Выводы по заданию №3 «Исследование влияния шума»

В процессе исследования влияния шума на работу системы с идеальным и реальным дифференцирующими звеньями были получены следующие результаты:

3.3.1 Шум и идеальное дифференцирующее звено:

Добавление шума на входы регулятора оказывает заметное влияние на систему с реальным дифференциатором. Система не сходится к определенной точке, а колеблется в узкой области вокруг этой точки, что указывает на влияние шума на устойчивость системы.

3.3.2 Влияние параметра T на шумочувствительность:

При исследовании влияния параметра T на чувствительность системы с реальным дифференцирующим звеном к шуму было замечено, что система становится более чувствительной по мере приближения T к краю области устойчивости. Однако при очень малых значениях T чувствительность системы к шуму снижается.

4. Выполнение задания №4 «Задача слежения для системы с астатизмом нулевого порядка»

4.1 Условие задания №4 «Задача слежения для системы с астатизмом нулевого порядка»

Придумайте ненулевые коэффициенты a_0, a_1, b_0, b_1 для передаточной функции объекта вида

$$W(s) = \frac{b_1 s + b_0}{s^2 + a_1 s + a_0} \tag{14}$$

такие, чтобы система была устойчивой. Замкните систему П-регулятором вида

$$W_{\text{рег}}(s) = k \tag{15}$$

Исследуйте поведение системы в установившемся режиме при задающем воздействии $g(t) = \alpha = const$. Исследуйте влияние значения коэффициента k на выход системы: постройте графики переходных процессов для различных значений коэффициента регулятора k и определите значение установившейся ошибки $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$

Аналогично исследуйте режим движения с постоянной скоростью при задающем воздействии $g(t) = \beta t + \alpha$ и с синусоидальным воздействием вида $g(t) = \alpha * \sin(\omega t + \emptyset)$

4.2 Аналитика по полученным графикам и промежуточные результаты по заданию №4 «Задача слежения для системы с астатизмом нулевого порядка»

$$W(s) = \frac{5s + 4}{3s^2 + 2s + 1} \tag{16}$$

$$W_{\text{рег}}(s) = 2$$

$$g(t) = \alpha = 3$$

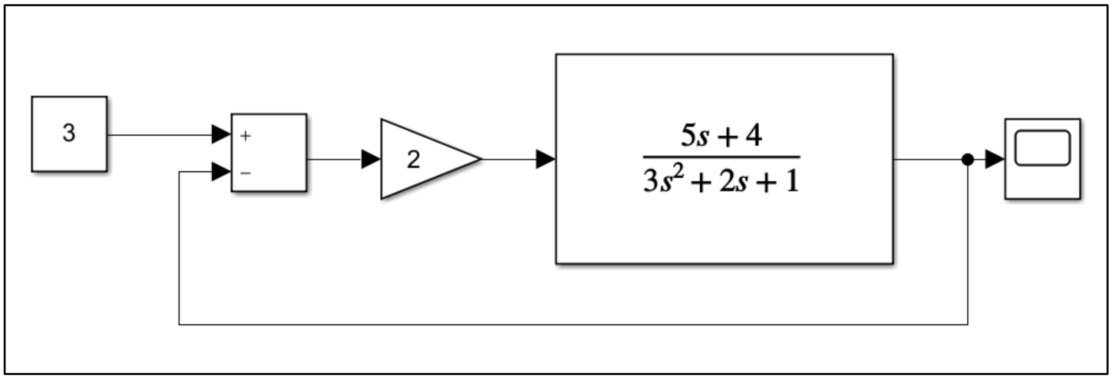

Рисунок 16 - Схема для систем с астатизмом нулевого порядка

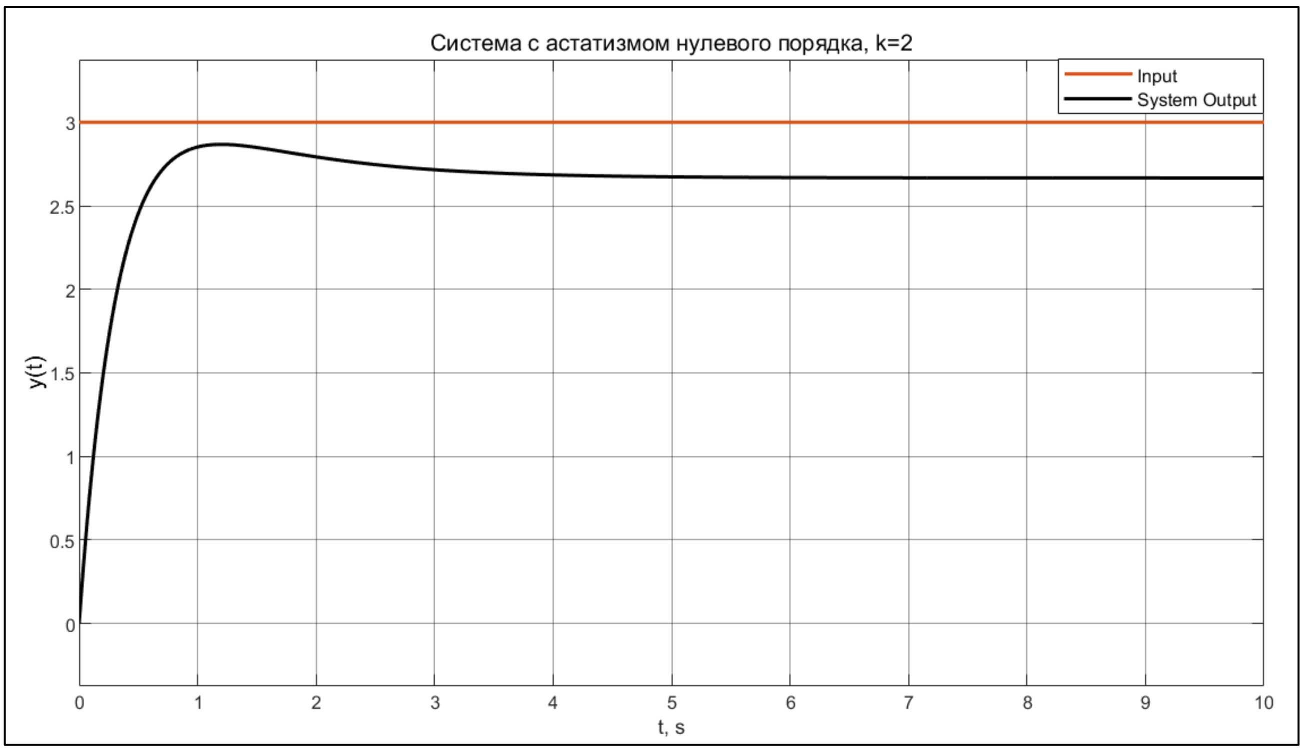

Рисунок 17 - Выход системы для схемы, показанной на рисунке 16

$$\lim_{t\to\infty} e(t) = e_{уст} \tag{17}$$

$$\lim_{t\to\infty} e(t) = e_{уст} = 3 - 2.65 = 0.35$$

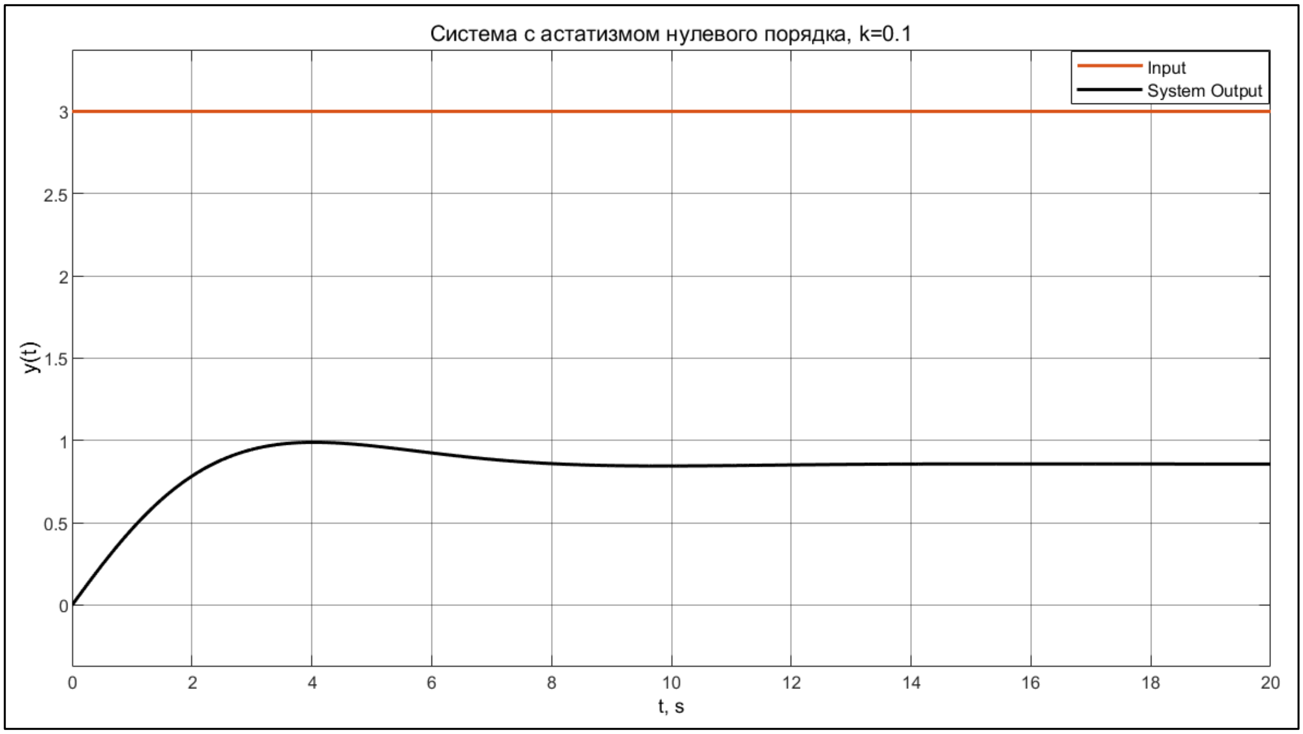

Рисунок 18 - Выход системы при k = 0.1

$$\lim_{t \to \infty} e(t) = e_{уст} = 3 - 0.86 = 2.14$$

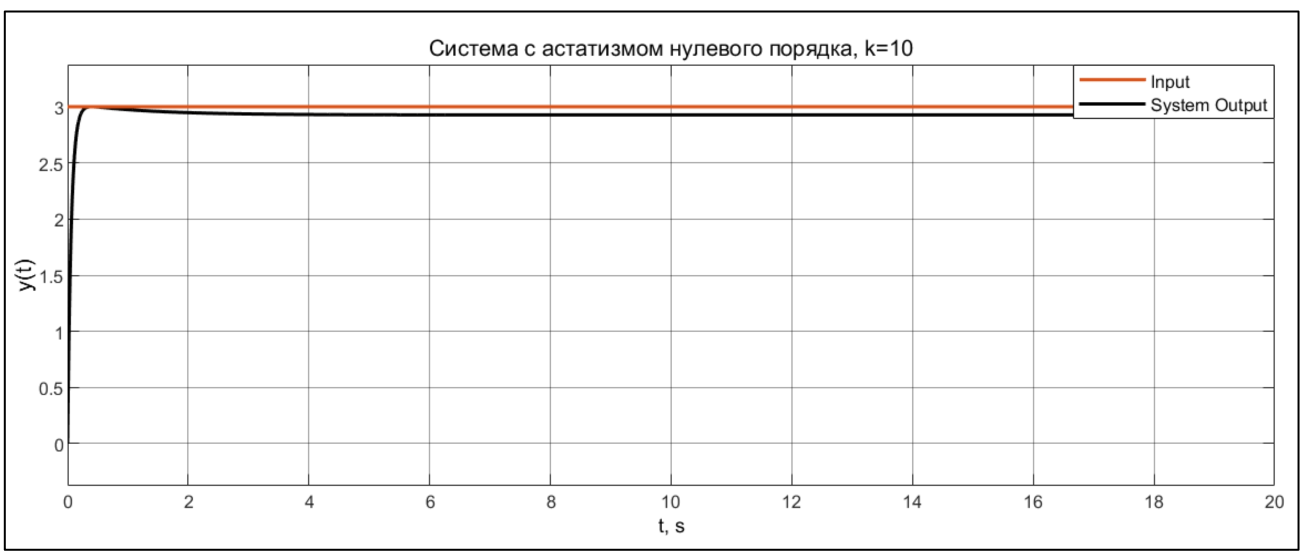

Рисунок 19 - Выход системы при k = 10

$$\lim_{t \to \infty} e(t) = e_{уст} = 3 - 2.92 = 0.08$$

Входной сигнал заменяется на линейную функцию для анализа выходного сигнала системы:

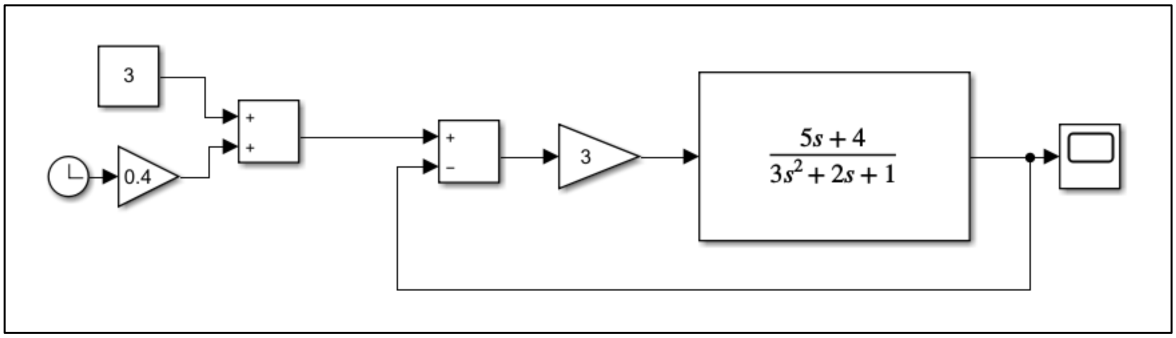

Рисунок 20 - Схема системы для линейного входа

$$g(t) = \beta t + \alpha \tag{18}$$

$$g(t) = 0.4t + 3$$

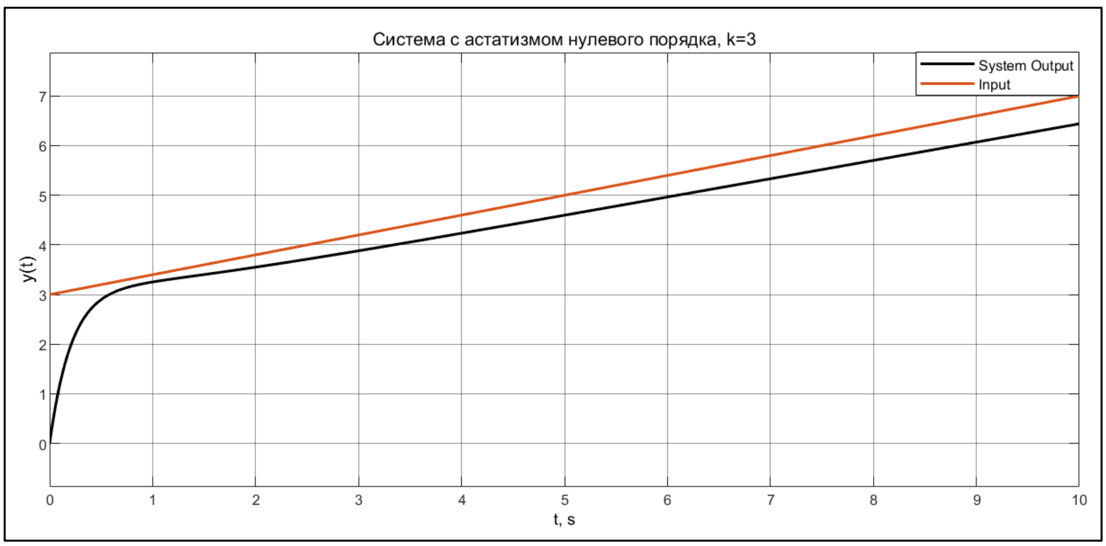

Рисунок 21 - Выход системы для схемы на рисунке 19

Входной сигнал заменяется на гармоническую функцию для анализа выходного сигнала системы:

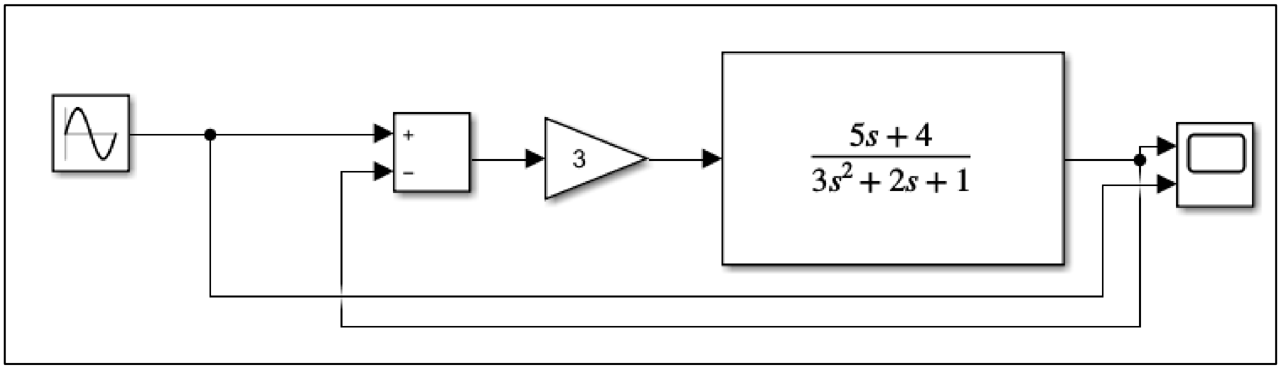

Рисунок 22 - Схема системы для гармонического входного сигнала

$$g(t) = \alpha * \sin(\omega t + \emptyset) \qquad (19)$$

$$g(t) = 8 * \sin(4t + 2)$$

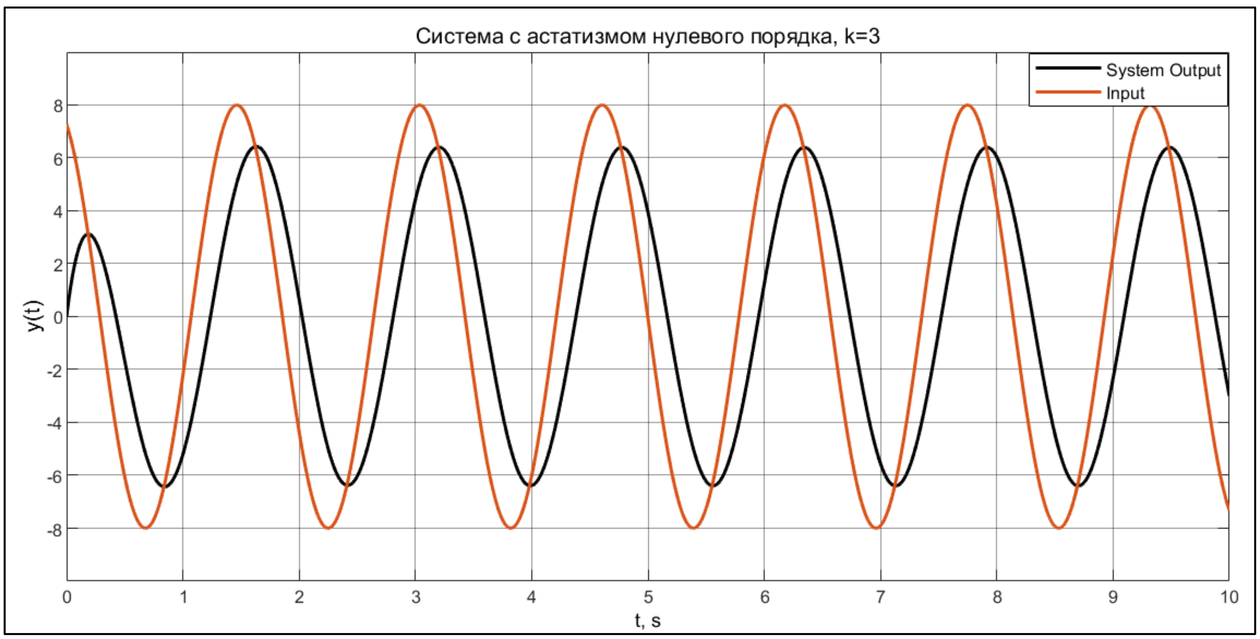

Рисунок 23 - Выход системы для схемы на рисунке 21

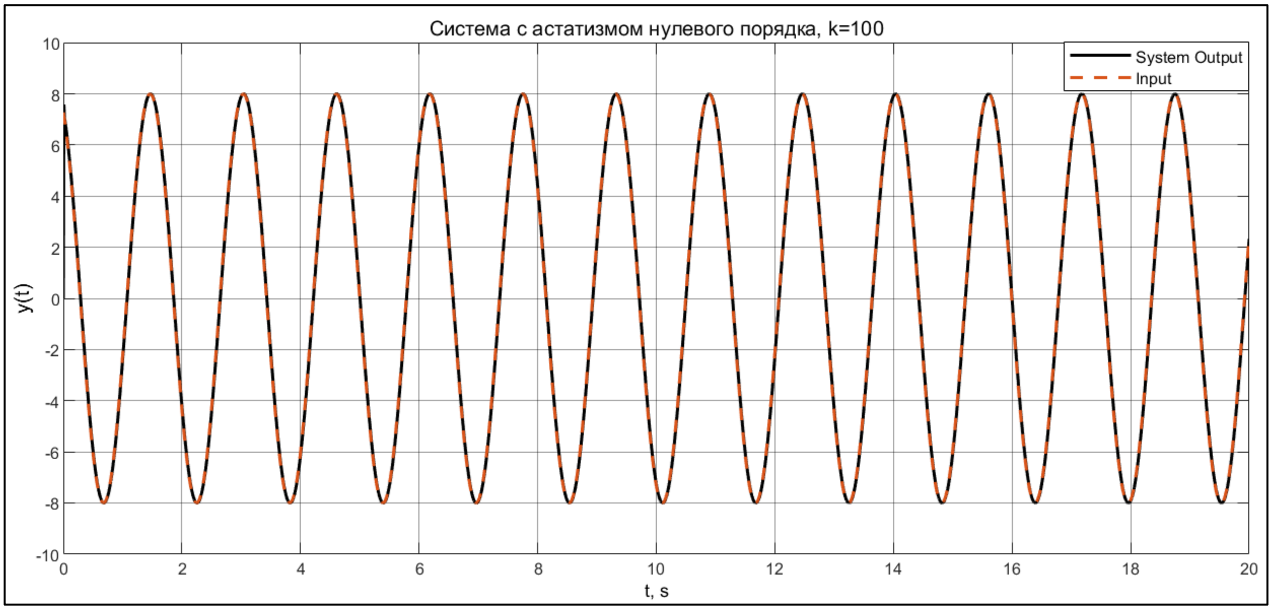

Рисунок 24 - Выход системы для схемы когда K = 100

4.3 Выводы по заданию №4 «Задача слежения для системы с астатизмом нулевого порядка»

В ходе лабораторной работы анализировалась система с астатизмом нулевого порядка, с разными значениями K и с разными входами.

Как видно на графиках, чем выше значение K, тем выход системы становится все ближе и ближе к входной функции.

С другой стороны, если мы проанализируем входные данные, когда входные данные постоянны, можно подсчитать, что ошибка с течением времени также является постоянной. Но если входные данные представляют собой линейную функцию, ошибка со временем будет стремиться к бесконечности.

5. Выполнение задания №5 «Задача слежения для системы с астатизмом первого порядка»

5.1 Условие задания №5 «Задача слежения для системы с астатизмом первого порядка»

Придумайте ненулевые коэффициенты a_0, a_1, b_0, b_1 для передаточной функции объекта вида

$$W(s) = \frac{b_1 s + b_0}{s^2 + a_1 s + a_0}$$

такие, чтобы система была устойчивой. Замкните систему П-регулятором вида

$$W_{\text{рег}}(s) = \frac{k_1}{s} + k_0 \tag{20}$$

Исследуйте поведение системы в установившемся режиме при задающем воздействии $g(t) = \alpha = const$. Постройте графики переходных процессов для различных значений коэффициентов регулятора k_0, k_1 и определите значение установившейся ошибки $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$. Исследуйте влияние значения коэффициентов k_0, k_1 на выход системы.

Аналогично исследуйте режим движения с постоянной скоростью при задающем воздействии $g(t) = \beta t + \alpha$ и с синусоидальным воздействием вида $g(t) = \alpha * \sin(\omega t + \emptyset)$

5.2 Аналитика по полученным графикам и промежуточные результаты по заданию №5 «Задача слежения для системы с астатизмом первого порядка»

$$W(s) = \frac{5s+4}{3s^2+2s+1} \tag{16}$$

$$W_{\text{рег}}(s) = \frac{5}{s} + 2$$

$$g(t) = \alpha = 3$$

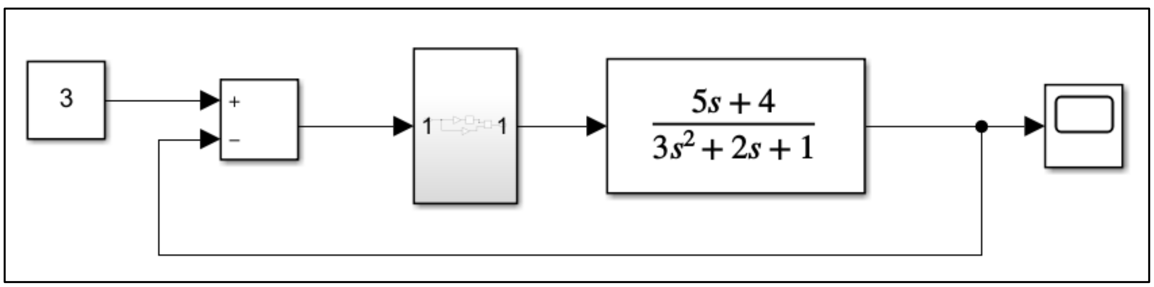

Рисунок 25 - Схема для систем с астатизмом первого порядка

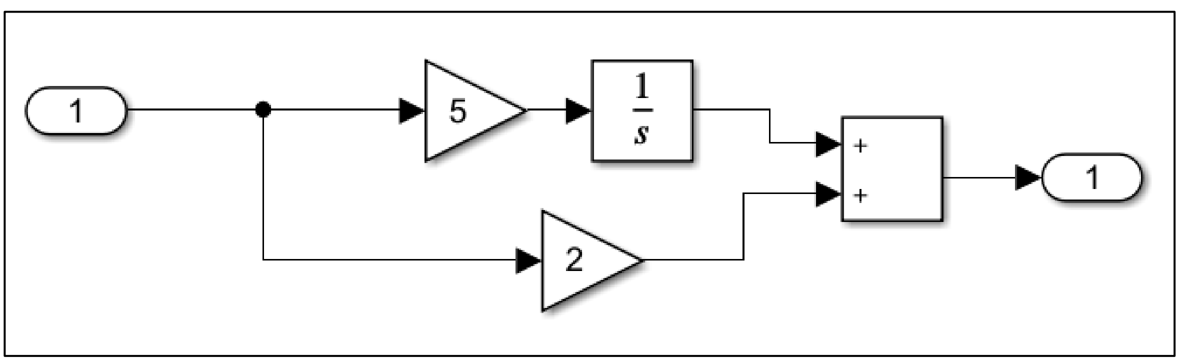

Рисунок 26 - Подсхема представлена на рисунке 24.

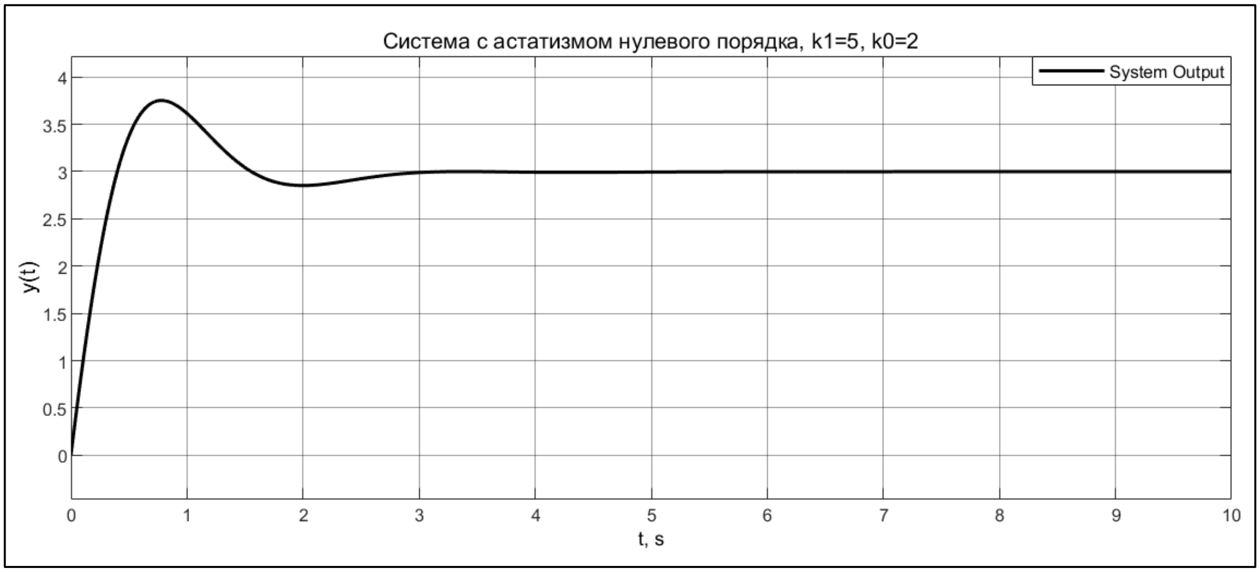

Рисунок 27 - Выход системы на рисунке 24

$$\lim_{t \to \infty} e(t) = e_{уст} \quad (17)$$

$$\lim_{t \to \infty} e(t) = e_{уст} = 0$$

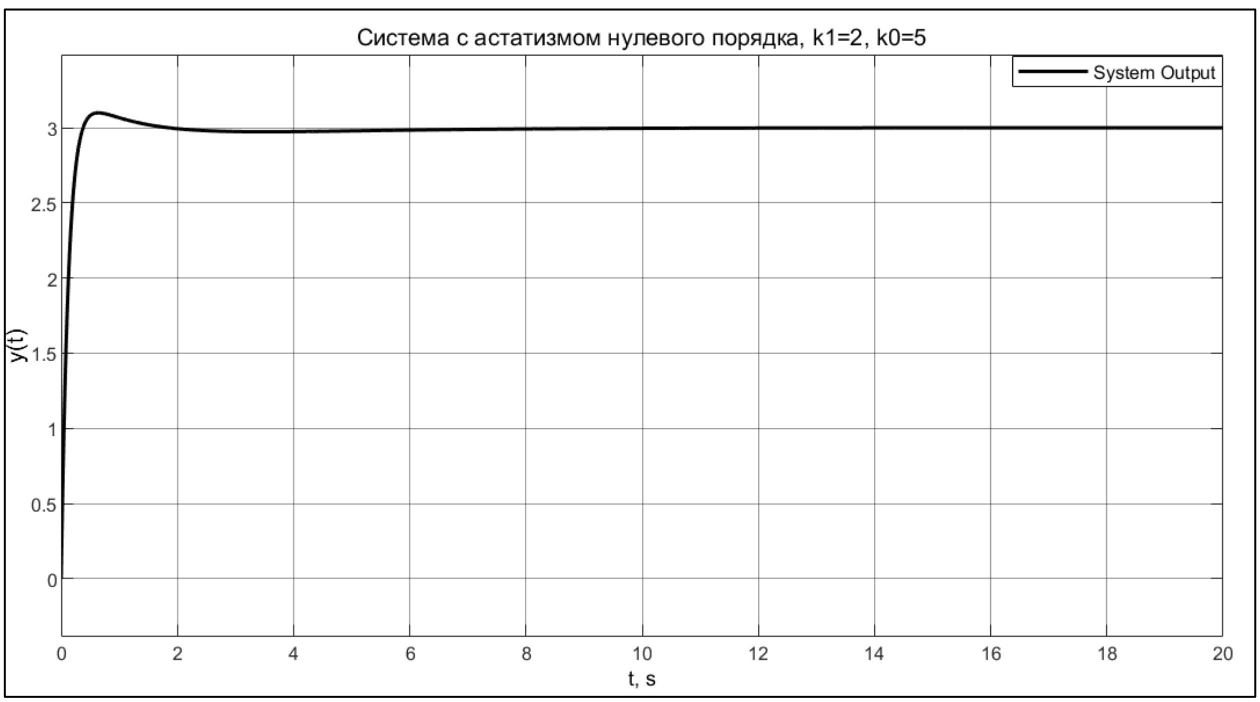

Рисунок 28 - Выход системы при k1 = 2, k0 = 5

$$\lim_{t \to \infty} e(t) = e_{уст} = 0$$

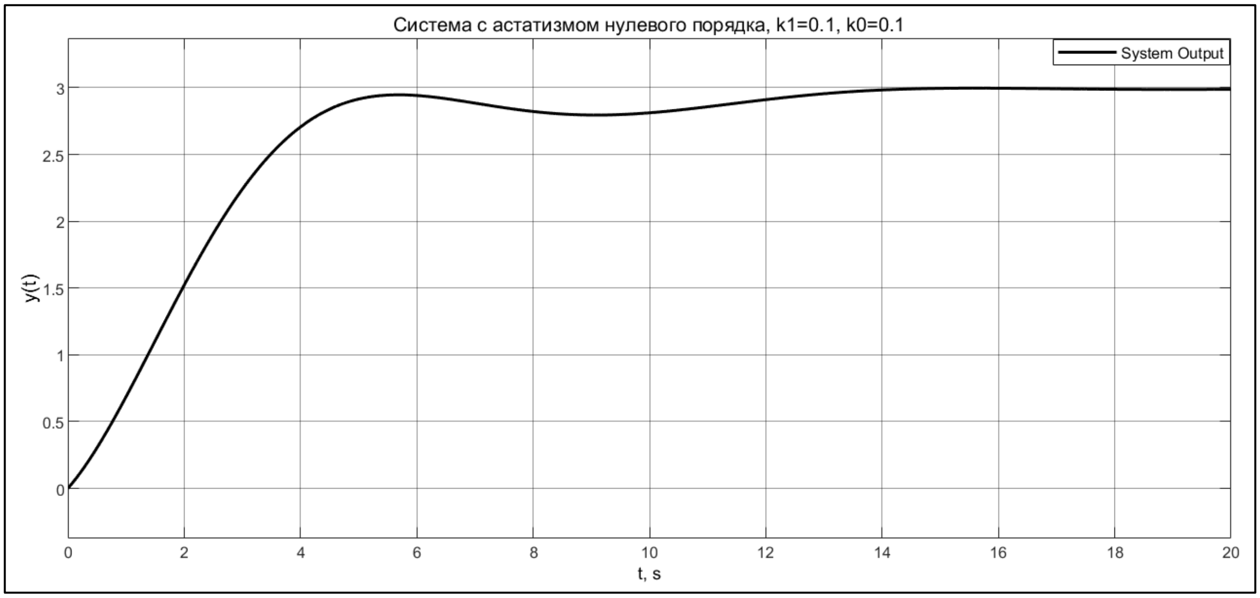

Рисунок 29 - Выход системы при k1 = 0.1, k2 = 0.1

$$\lim_{t \to \infty} e(t) = e_{уст} = 0$$

Входной сигнал заменяется на линейную функцию для анализа выходного сигнала системы:

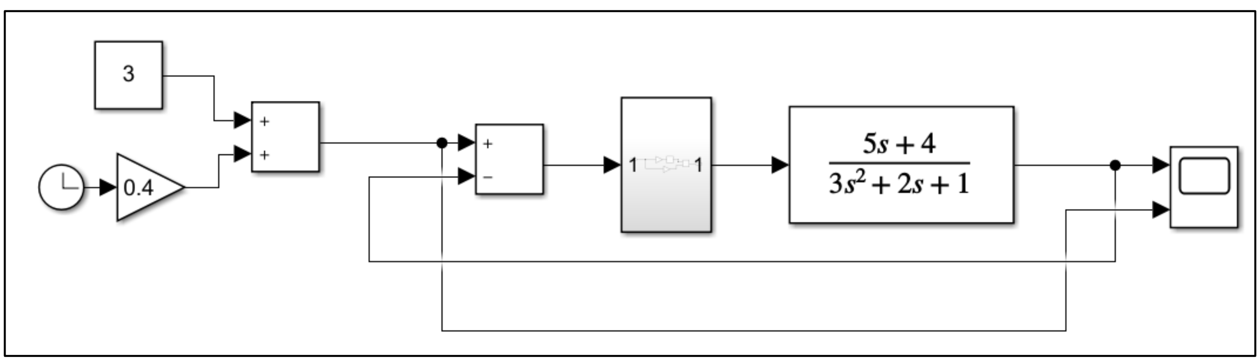

Рисунок 30 - Схема системы для линейного входа

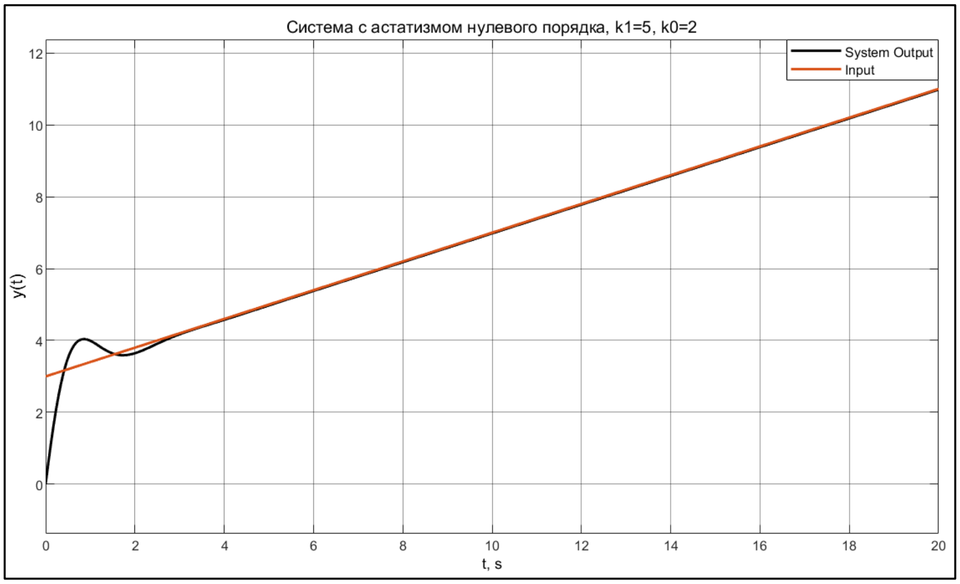

Рисунок 31 - Выход системы при k1 = 5, k0 = 2

$$\lim_{t \to \infty} e(t) = e_{уст} = 4.6 - 4.57 = 0.03$$

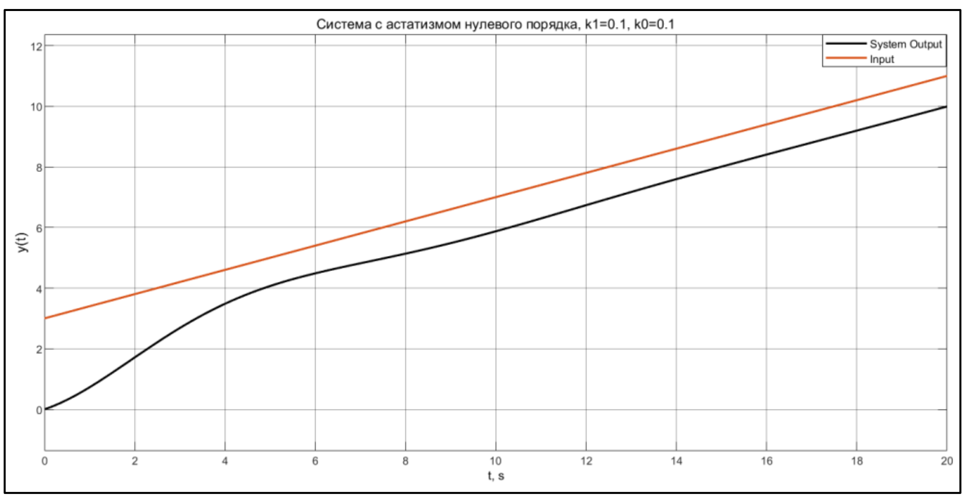

Рисунок 32 - Выход системы при k1 = 0.1, k0 = 0.1

$$\lim_{t \to \infty} e(t) = e_{уст} = 9.40 - 8.40 = 1$$

Входной сигнал заменяется на гармоническую функцию для анализа выходного сигнала системы:

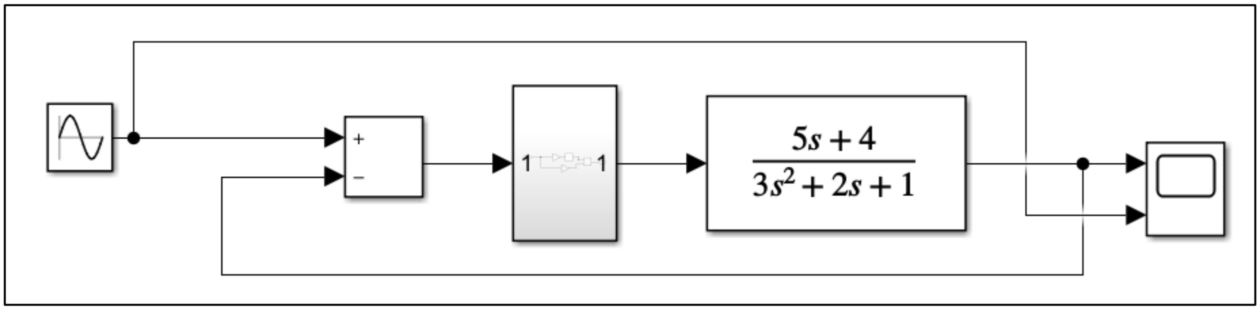

Рисунок 33 - Схема системы для гармонического входного сигнала

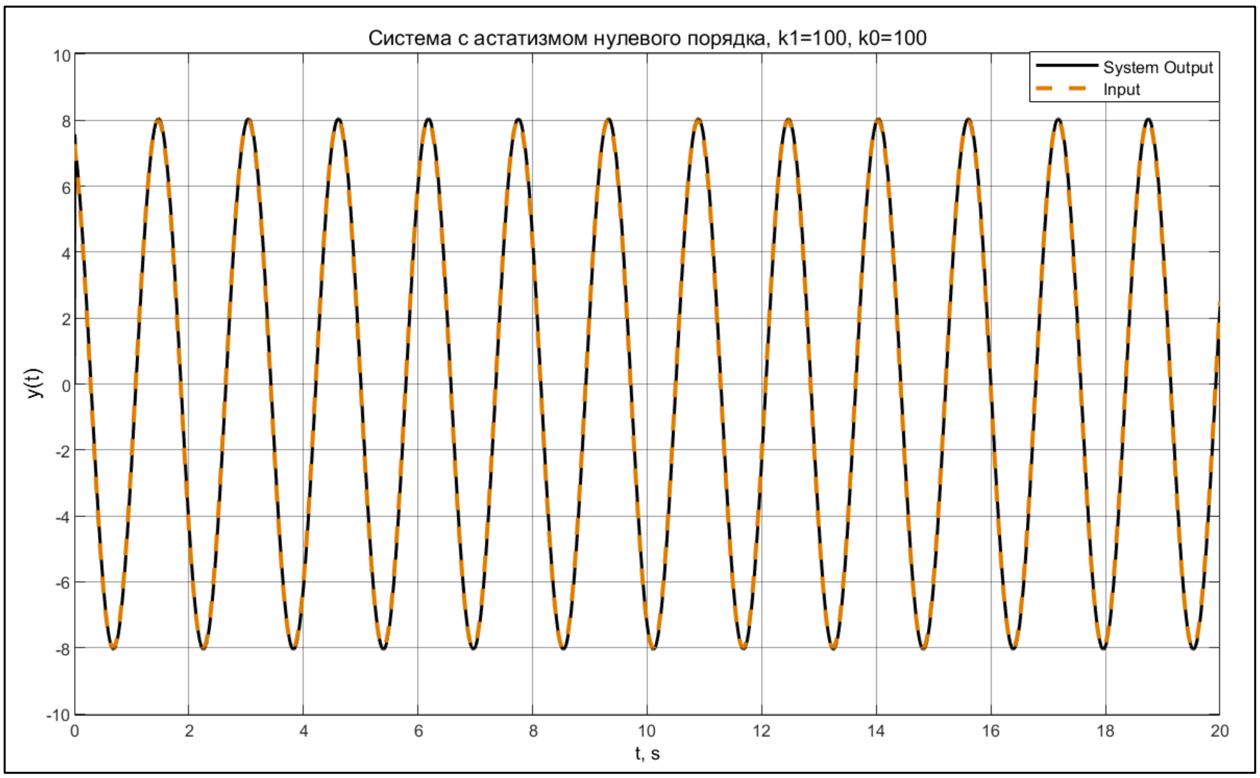

Рисунок 34 - Выход системы при k1 = 100, k0 = 100

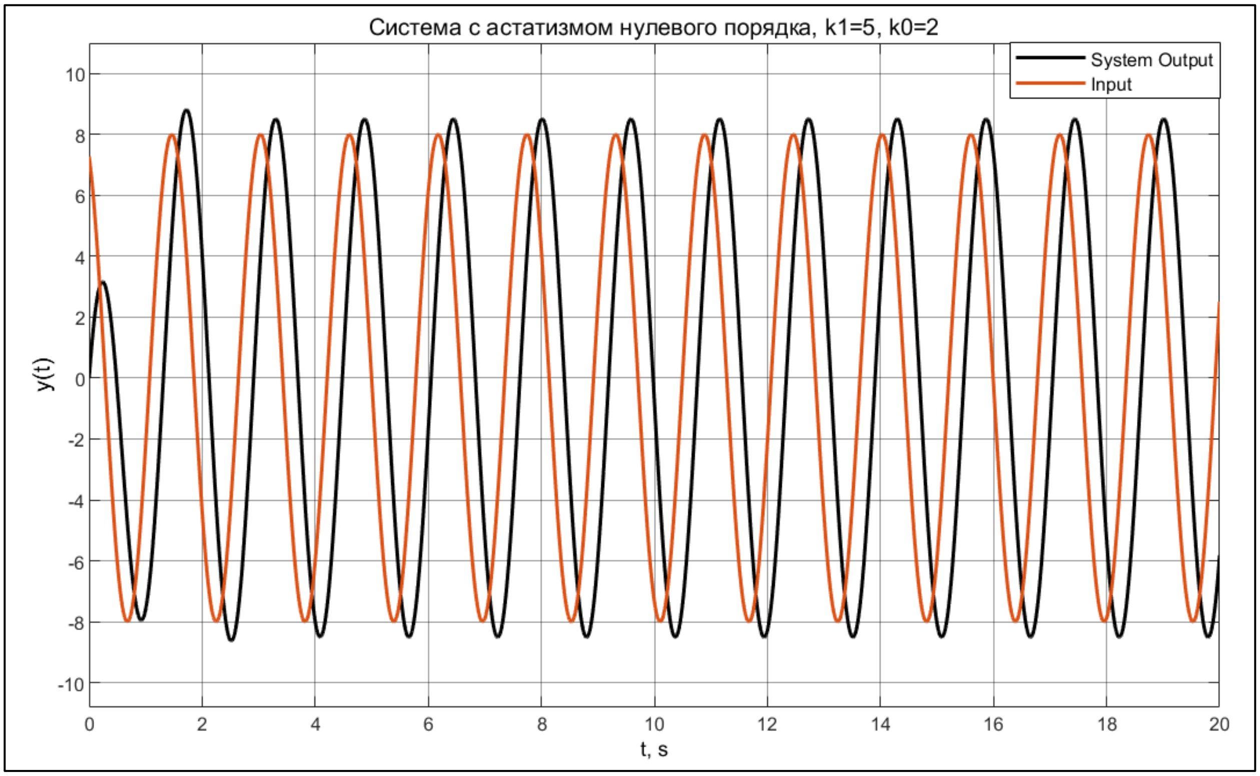

Рисунок 35 - Выход системы при k1 = 5, k0 = 2

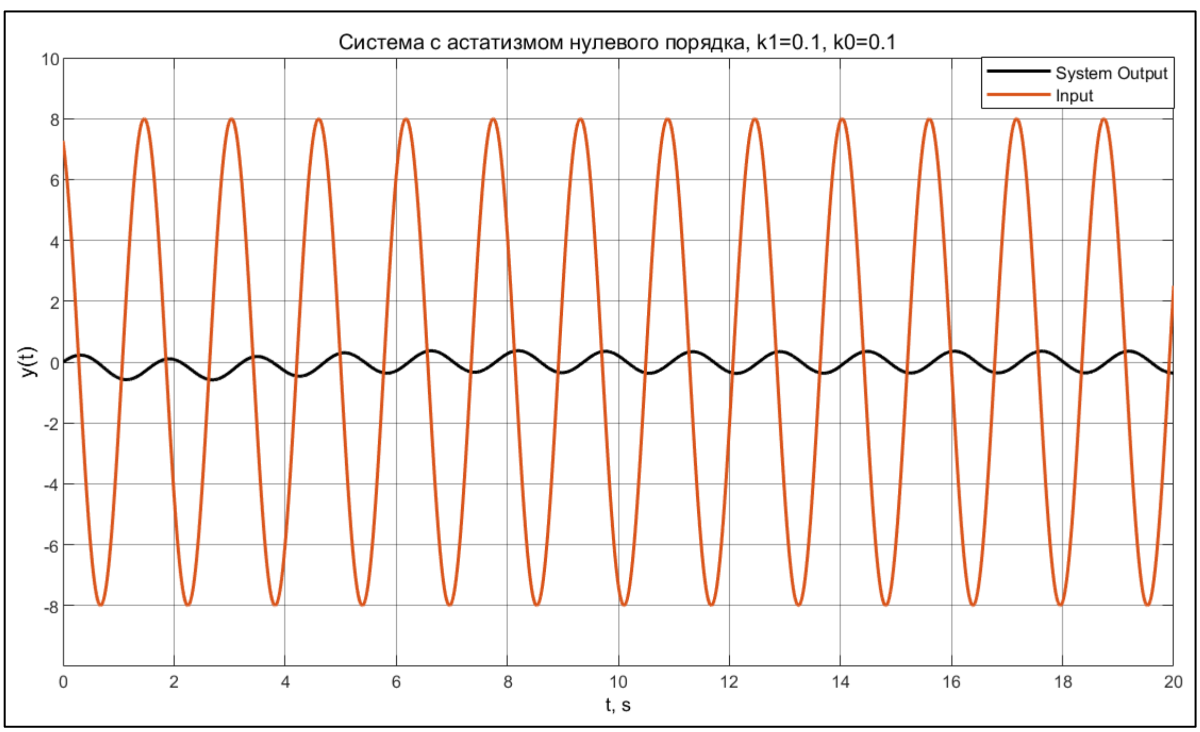

Рисунок 36 - Выход системы при k1 = 0.1, k0 = 0.1

5.3 Выводы по заданию №5 «Задача слежения для системы с астатизмом первого порядка»

В ходе выполнения упражнения 5 было замечено, что при постоянном значении входа ошибка между значением входа и выходом стремится к нулю по мере приближения времени к бесконечности. Кроме того, изменяя коэффициенты k0 и k1, удается влиять на время стабилизации системы. С другой стороны, при линейном входе отмечено, что при больших значениях коэффициентов k0 и k1 ошибка между значением входа и выходом значительно мала, в отличие от случая с малыми значениями k0 и k1, что приводит к большой ошибке. Также была проведена аналитика того, что при использовании гармонической функции на входе, аналогично линейному входу, ошибка очень мала при больших значениях коэффициентов k0 и k1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения лабораторной работы было проведено исследование различных аспектов систем управления. В первом эксперименте были найдены коэффициенты для второго порядка системы с неустойчивым полюсом, и успешно введен регулятор, обеспечивающий устойчивость системы. Во втором эксперименте была произведена замена дифференциатора, аналитически определено критическое значение параметра T и проведено моделирование для различных значений T. Третий эксперимент выявил влияние шума на систему с идеальным и реальным дифференцирующими звеньями. Четвертый эксперимент анализировал систему с астатизмом нулевого порядка, выявляя влияние коэффициента K на выход системы. Наконец, в пятом эксперименте исследовалась система с астатизмом первого порядка, показывая, что при постоянном входе ошибка стремится к нулю, и влияние коэффициентов k0 и k1 на время стабилизации системы.

В целом, проведенные исследования позволили получить глубокое понимание различных аспектов работы систем управления и их чувствительности к различным входным параметрам.