

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО»

Отчет

по Лабораторной работе №7

«Анализ точности системы управления»

по дисциплине «Теория автоматического управления»

Вариант №6

Авторы: Кулижников Е.Б.

Евстигнеев Д.М.

Яшник А.И.

Факультет: СУиР

Группа: R33423

Преподаватель: Парамонов А.В.



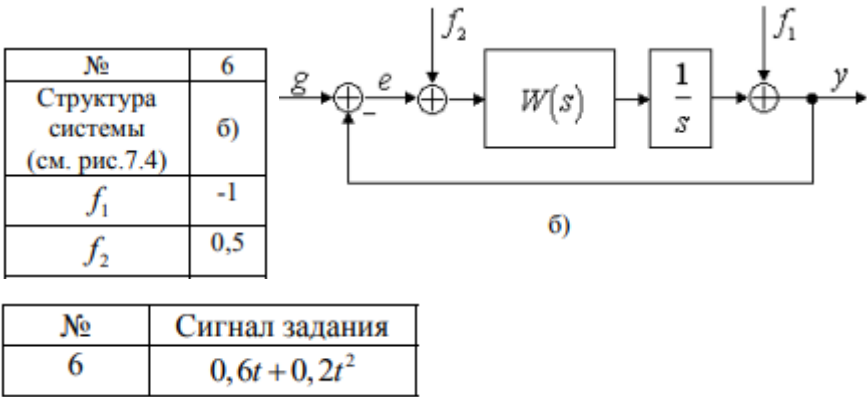
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург, 2021

Цель работы: Исследование точностных свойств систем управления.

Исходные данные:

№	$W(s)$	Параметры сигнала задания g		
		A	Vt	$\frac{at^2}{2}$
6.	$\frac{5}{s^2 + 5s + 6}$	1	t	$0,45t^2$



Ход работы:

1) Исследование системы с астатизмом нулевого порядка

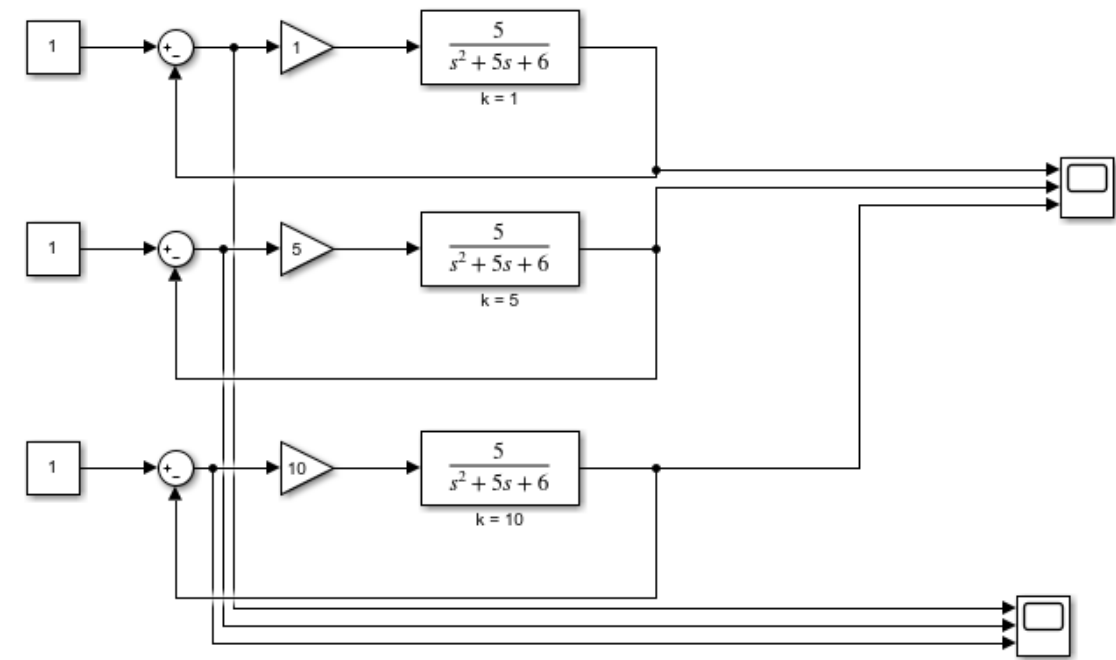


Рисунок 1 Схема системы с астатизмом нулевого порядка

1.1 Исследование стационарного режима работы: $g(t) = A$

$$W(s) = \frac{5}{s^2 + 5s + 6}$$

$$\varepsilon = \lim_{t \rightarrow 0} e(t)$$

$$\varepsilon = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1+W(s)} * \frac{A}{s} = \frac{A}{k+1},$$

где k — общий коэффициент усиления разомкнутой системы

$$\varepsilon = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1+\frac{5k}{s^2+5s+6}} * \frac{1}{s} = \frac{6}{5k+6}$$

$$\frac{\frac{5k}{s^2+5s+6}}{1+\frac{5k}{s^2+5s+6}} = \frac{5k}{s^2+5s+6+5k}$$

$$\text{При } k = 1 \quad \varepsilon = \frac{1}{2}$$

$$\text{При } k = 5 \quad \varepsilon = \frac{1}{6}$$

$$\text{При } k = 10 \quad \varepsilon = \frac{1}{11}$$

При всех k все корни лежат в левой полуплоскости.

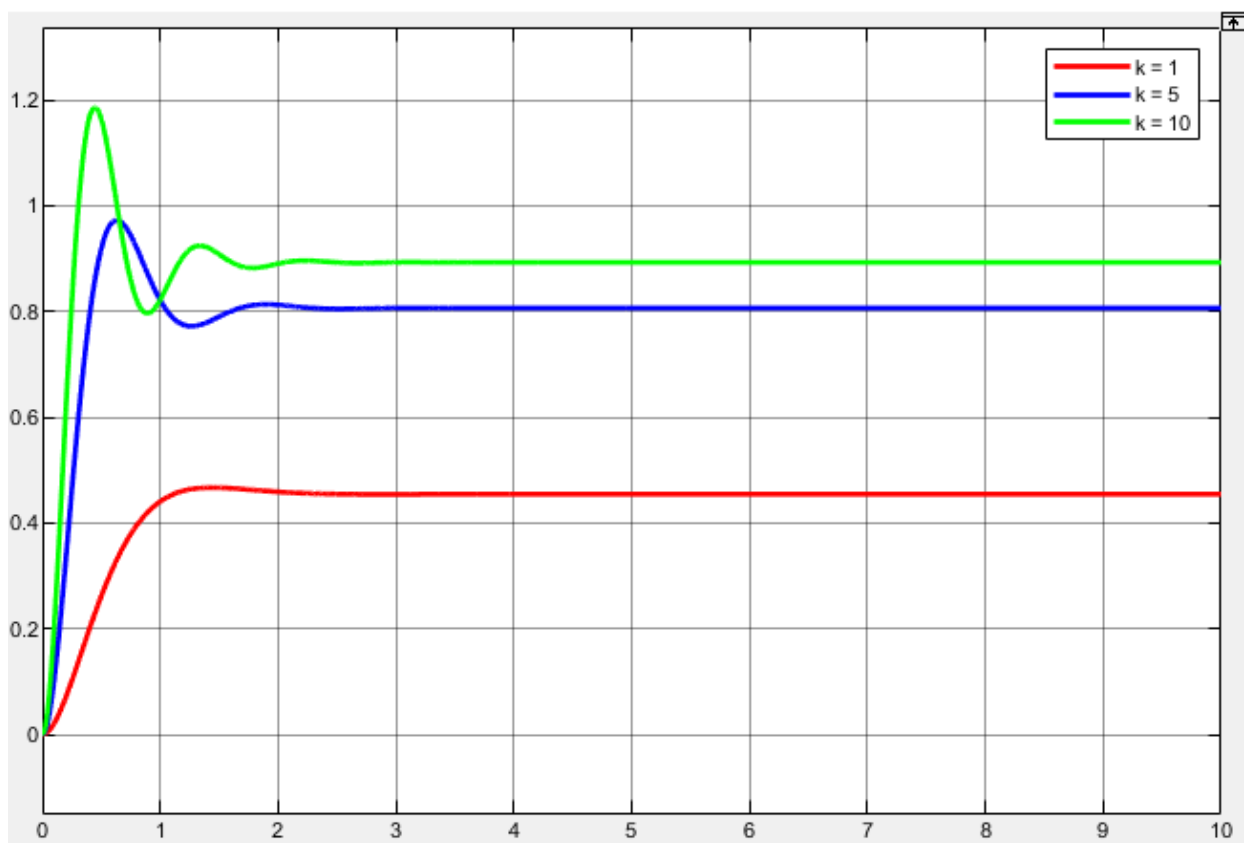


Рисунок 2 Переходные процессы системы с астатизмом нулевого порядка

Определим предельное значение установившейся ошибки:

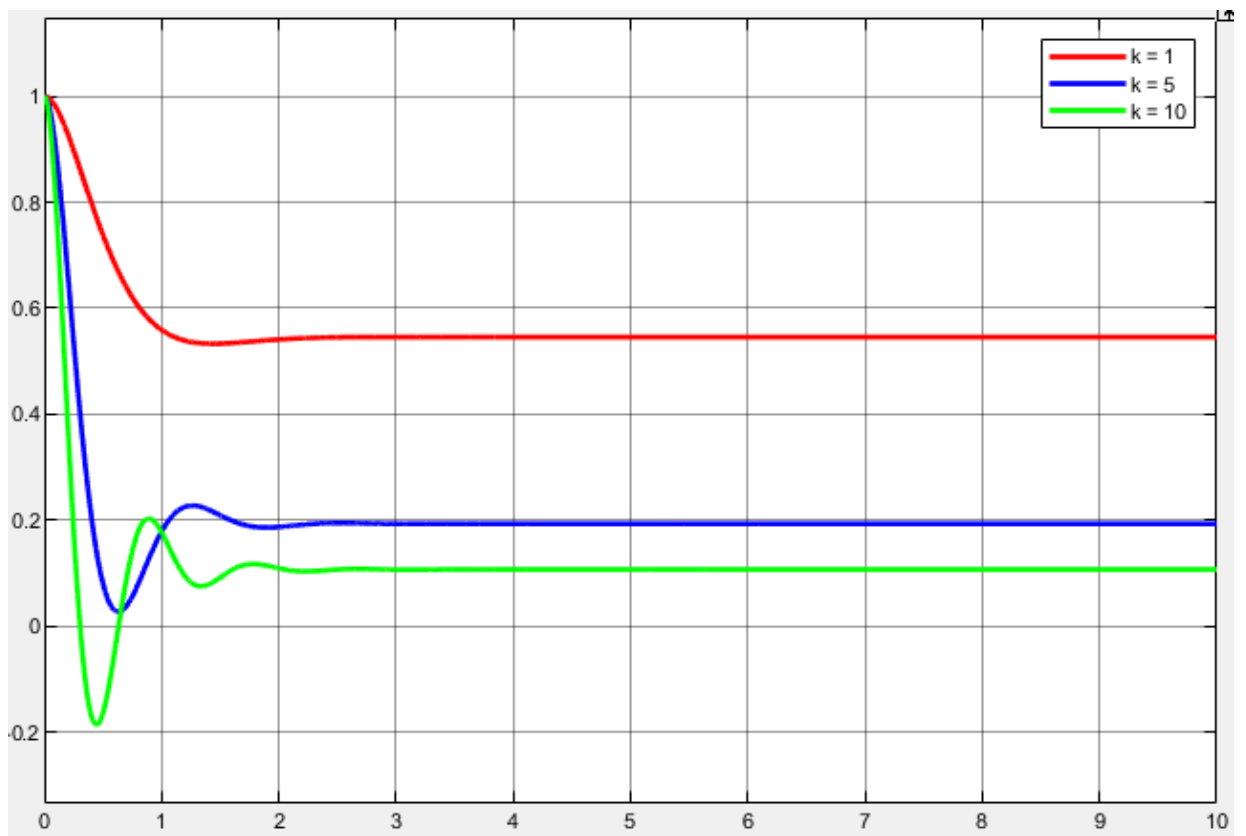


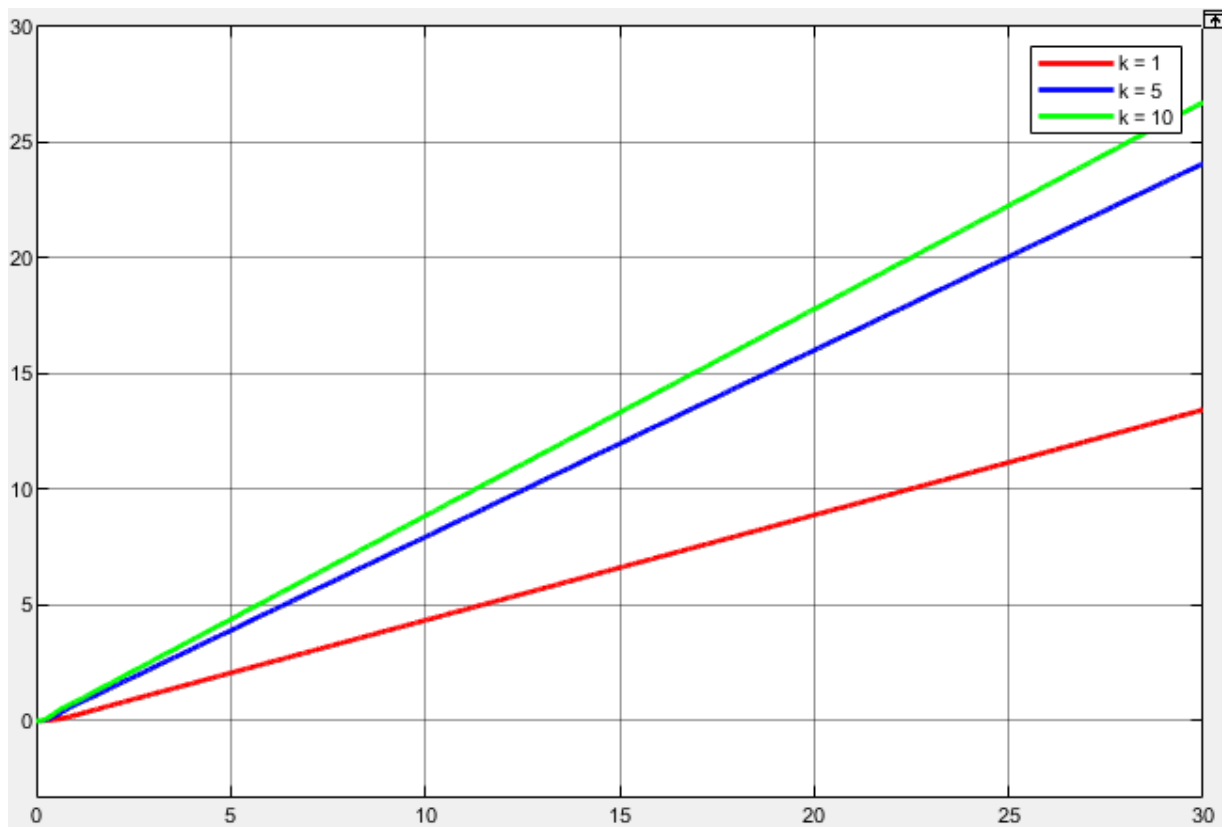
Рисунок 3 Графики установившейся ошибки системы с астатизмом нулевого порядка

$$\varepsilon_{k=1} = 0,55$$

$$\varepsilon_{k=5} = 0,19$$

$$\varepsilon_{k=10} = 0,11$$

1.2 Исследование режима движения с постоянной скоростью: $g(t) = Vt$



2) Исследование системы с астатизмом первого порядка (интегральный регулятор)

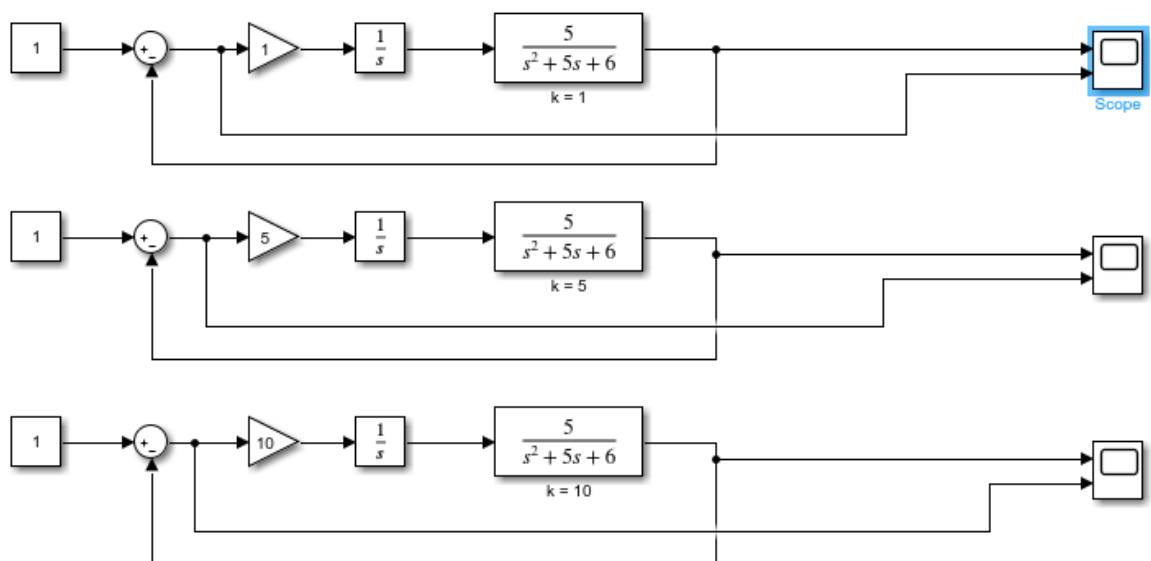


Рисунок 4 Схема системы с астатизмом первого порядка

2.1 Исследование стационарного режима работы: $g(t) = A$

$$W(s) = \frac{5}{s^2 + 5s + 6}$$

$$\varepsilon = \lim_{t \rightarrow 0} e(t)$$

$$\varepsilon = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1+W(s)} * \frac{A}{s} = \frac{A}{k+1},$$

где k — общий коэффициент усиления разомкнутой системы

$$\varepsilon = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + \frac{5k}{s^3 + 5s^2 + 6s}} * \frac{1}{s} = \frac{0}{k}$$

$$\frac{\frac{5k}{s^3 + 5s^2 + 6s}}{1 + \frac{5k}{s^3 + 5s^2 + 6s}} = \frac{5k}{s^3 + 5s^2 + 6s + 5k}$$

При $k = 1$ корни в левой полуплоскости

При $k = 5$ не все корни в левой полуплоскости

При $k = 10$ не все корни в левой полуплоскости

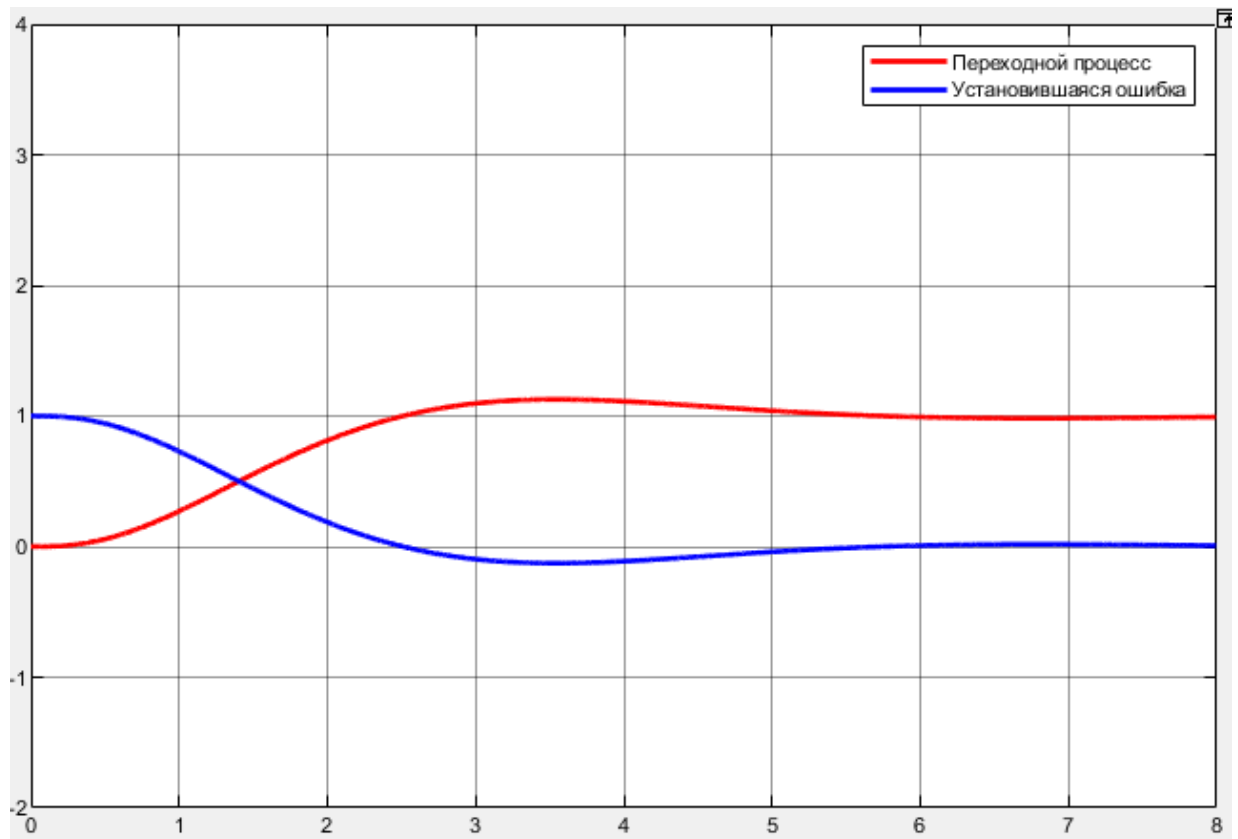


Рисунок 5 Переходной процесс и установившаяся ошибка для системы с астатизмом первого порядка при $k = 1$

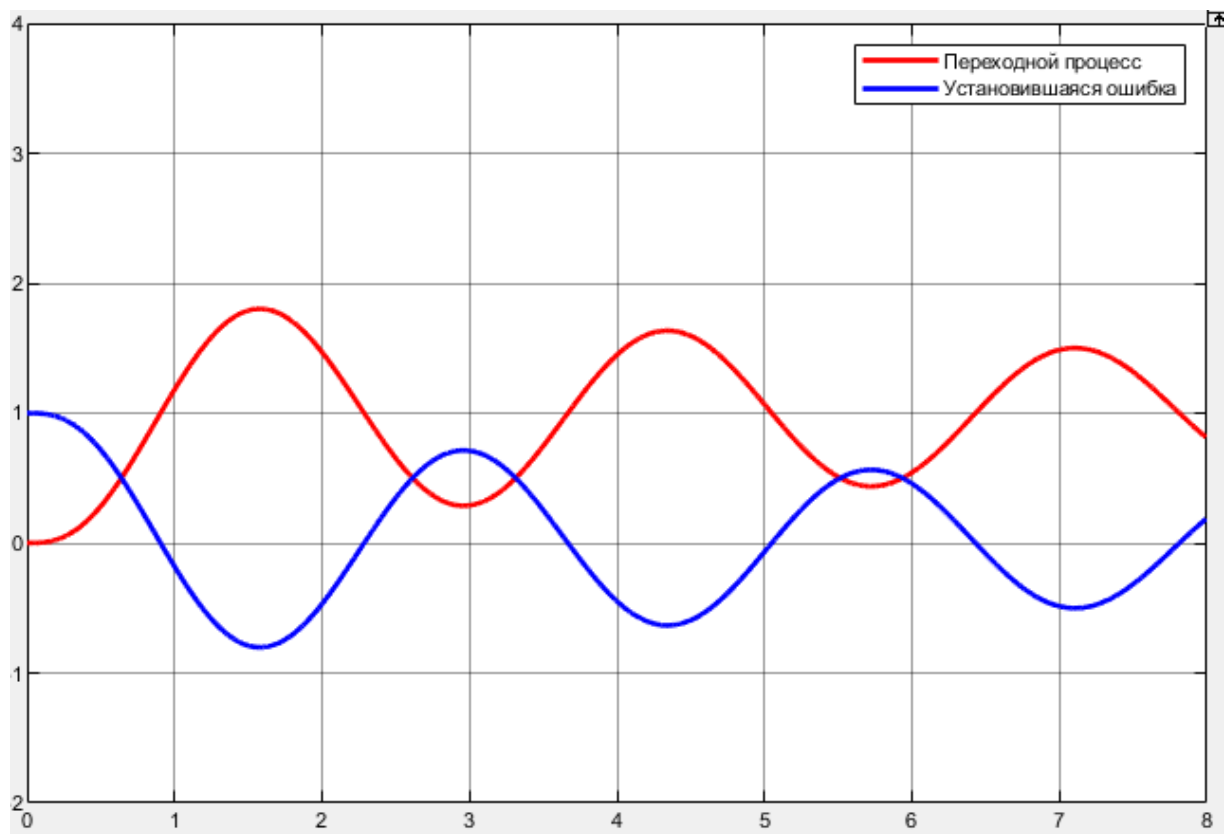


Рисунок 6 Переходной процесс и установившаяся ошибка для системы с астатизмом первого порядка при $k = 5$

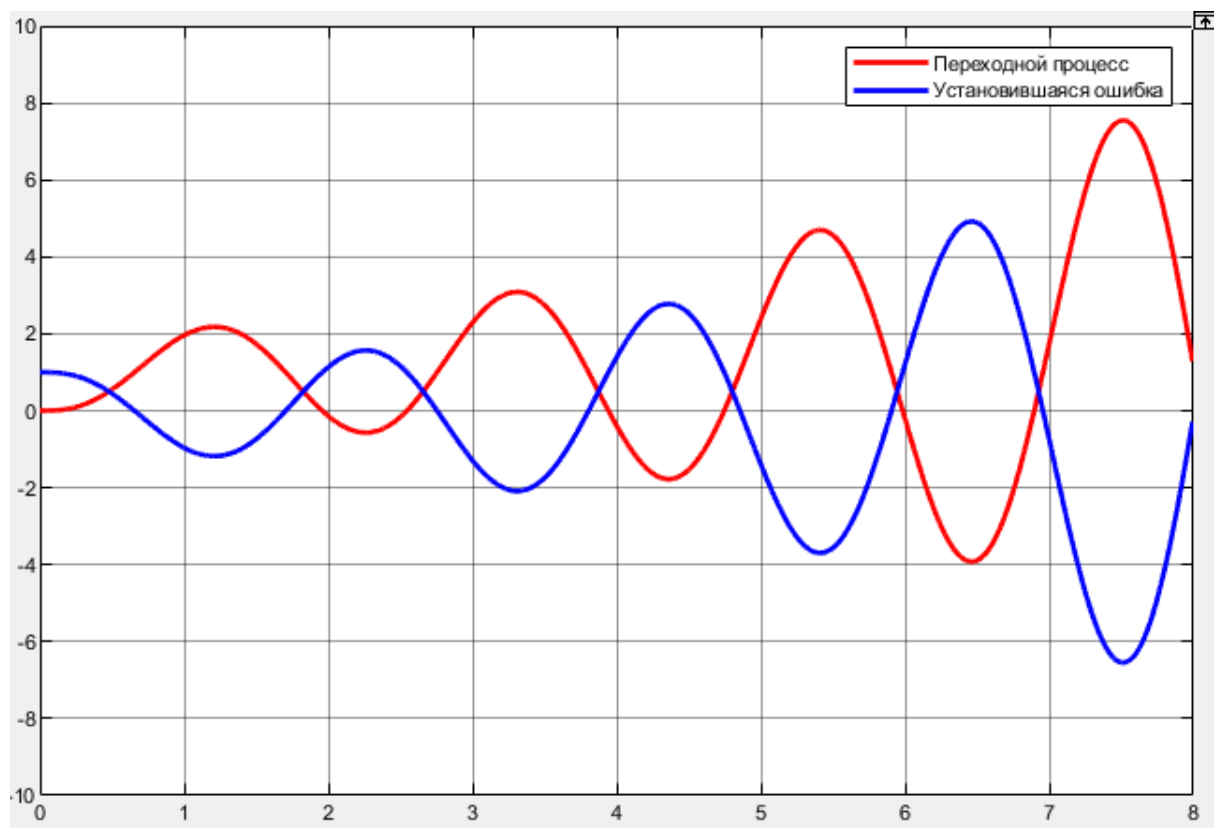


Рисунок 7 Переходной процесс и установившаяся ошибка для системы с астатизмом первого порядка при $k = 10$

Из полученных графиков можно сделать вывод, что установившаяся ошибка при $k = 1$ равняется 0. При $k = 5, 10$ график в пределе расходится, установить ошибку невозможно.

2.2 Исследование режима движения с постоянной скоростью: $g(t) = Vt$

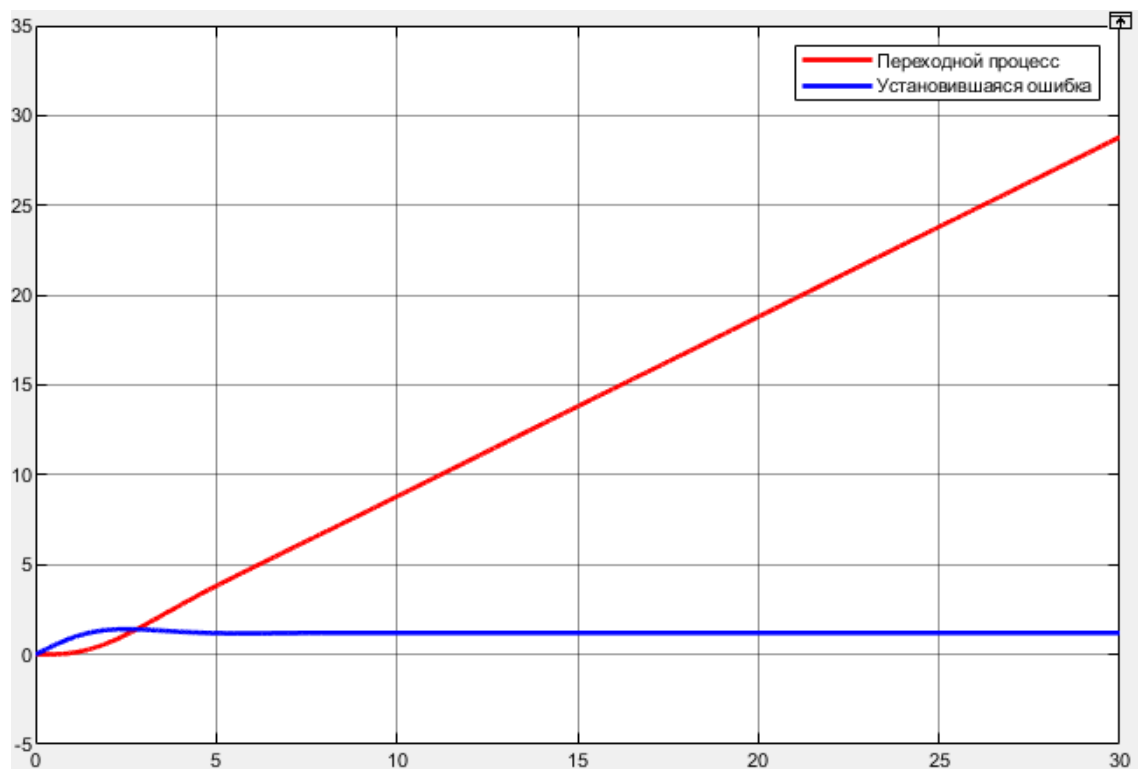


Рисунок 8 Переходной процесс и установившаяся ошибка для системы с астатизмом первого порядка при $k = 1$

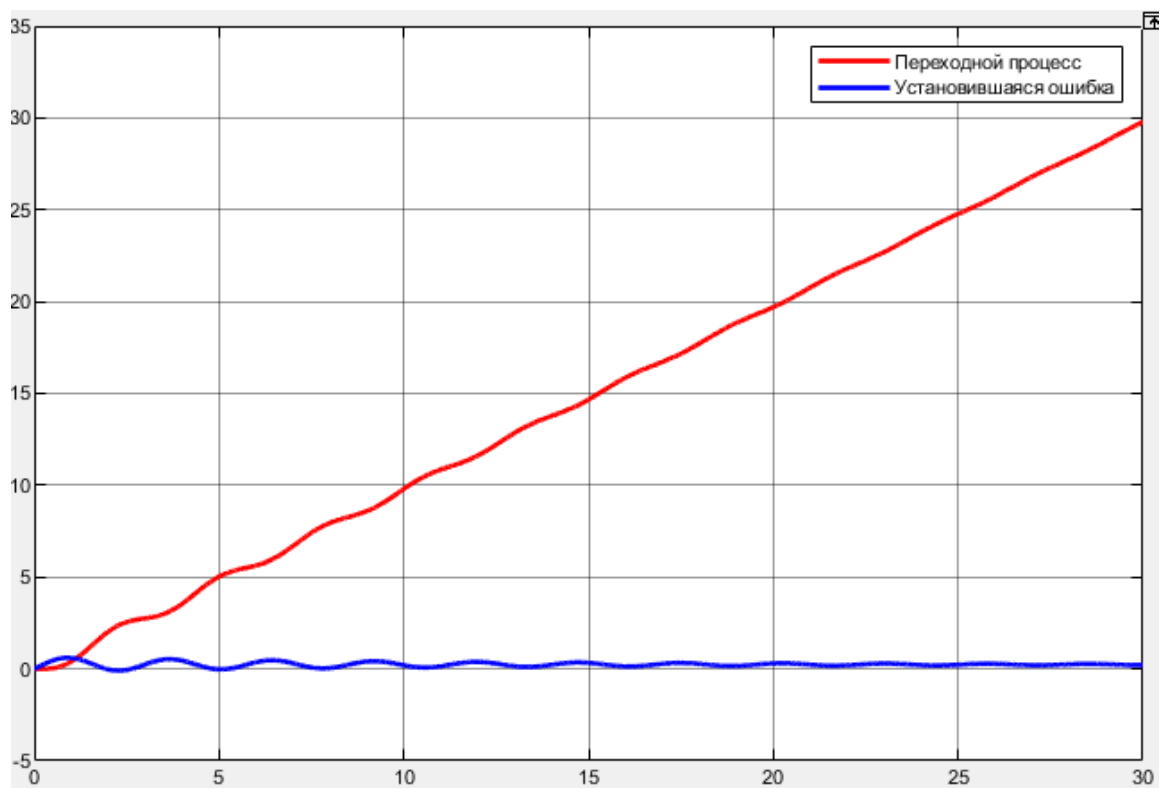


Рисунок 9 Переходной процесс и установившаяся ошибка для системы с астатизмом первого порядка при $k = 5$

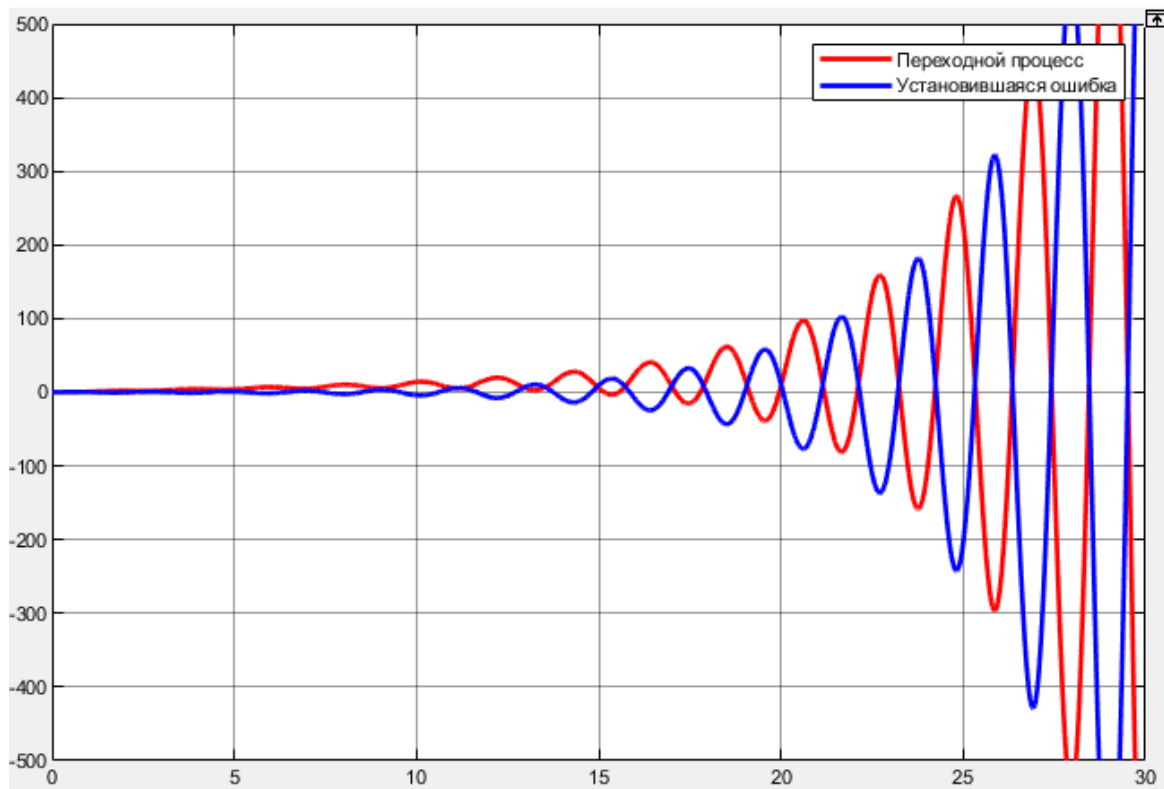
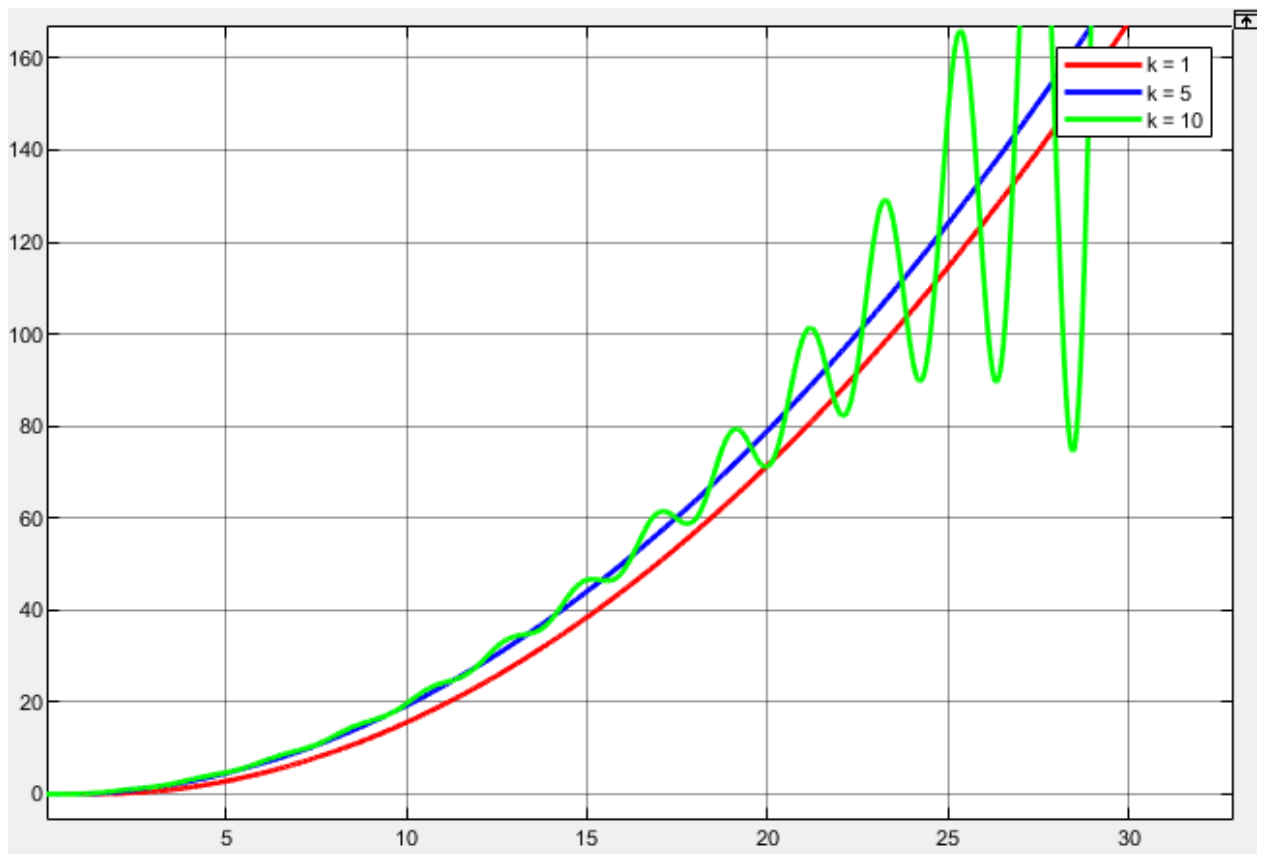


Рисунок 10 Переходной процесс и установившаяся ошибка для системы с астатизмом первого порядка при $k = 10$

Из полученных графиков можно сделать вывод, что установившаяся ошибка при $k = 1$ равняется 1, а при $k = 5$ равняется 0,2. При $k = 10$ график в пределе расходится, установить ошибку невозможно.

2.3 Исследование режима движения с постоянным ускорением: $g(t) = at^2/2$



3) Исследование системы с астатизмом первого порядка (пропорционально-интегральный регулятор)

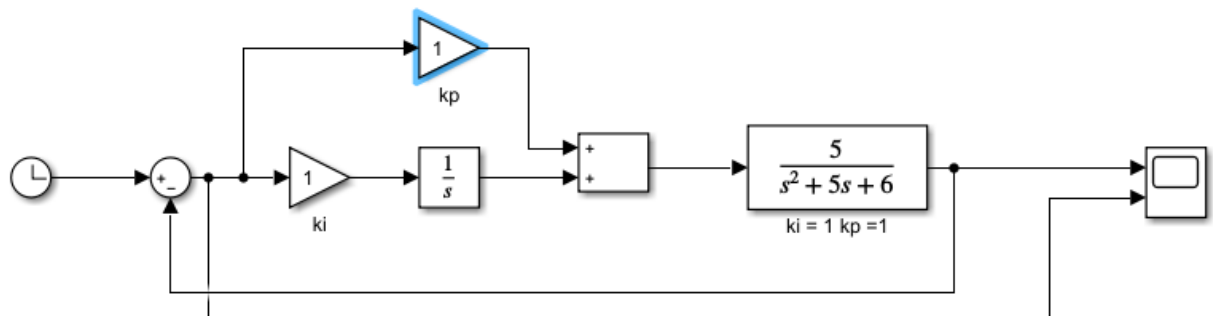


Рисунок 11 Схема системы с астатизмом второго порядка

3.1 Исследование режима движения с постоянной скоростью: $g(t) = Vt$

$$W(s) = \frac{5}{s^2 + 5s + 6}$$

$$\varepsilon = \lim_{t \rightarrow 0} e(t)$$

$$\varepsilon = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + \frac{5k}{s^3 + 5s^2 + 6s}} * \frac{1}{s^2} = \frac{1}{k}$$

При $k = 1$ $\varepsilon = 1$

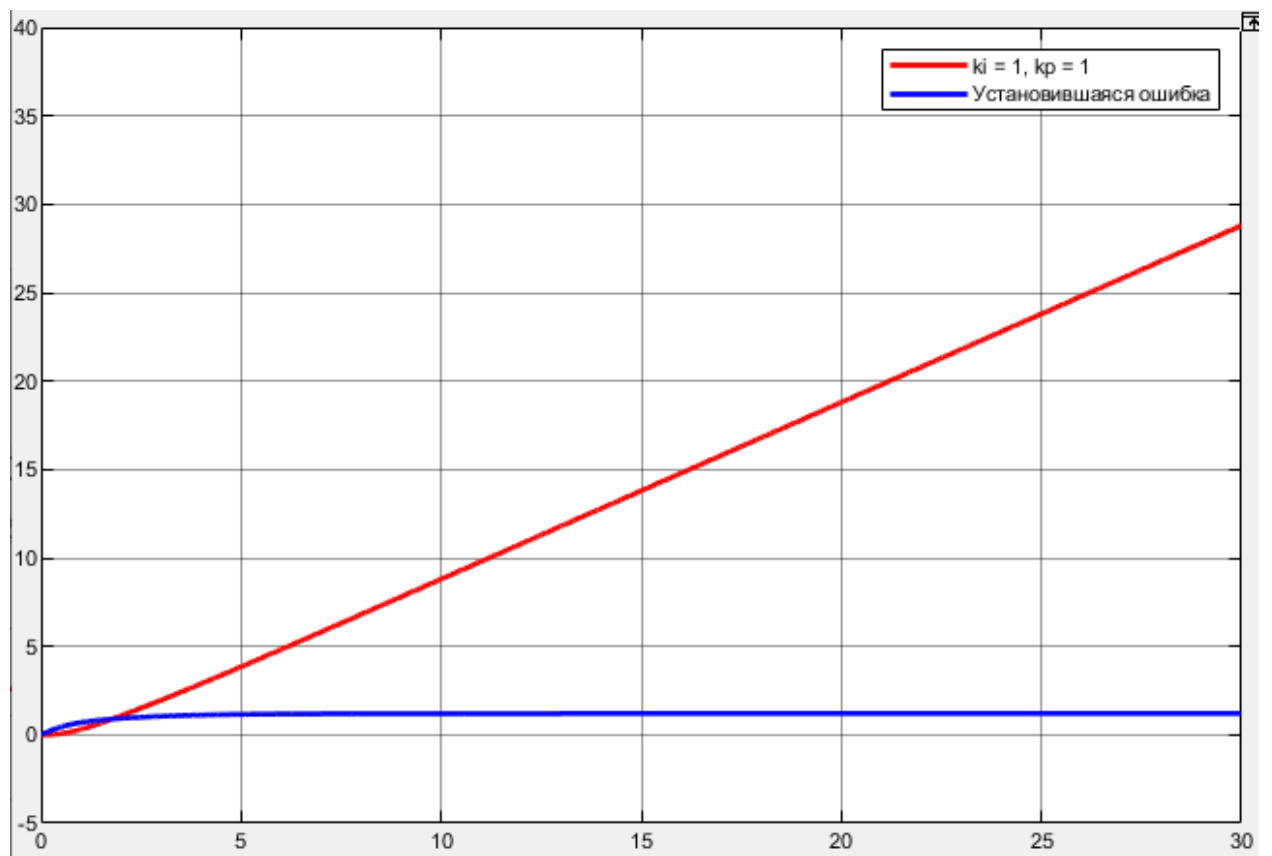


Рисунок 12 Переходной процесс и установившаяся ошибка при $k_i = 1$, $k_p = 1$

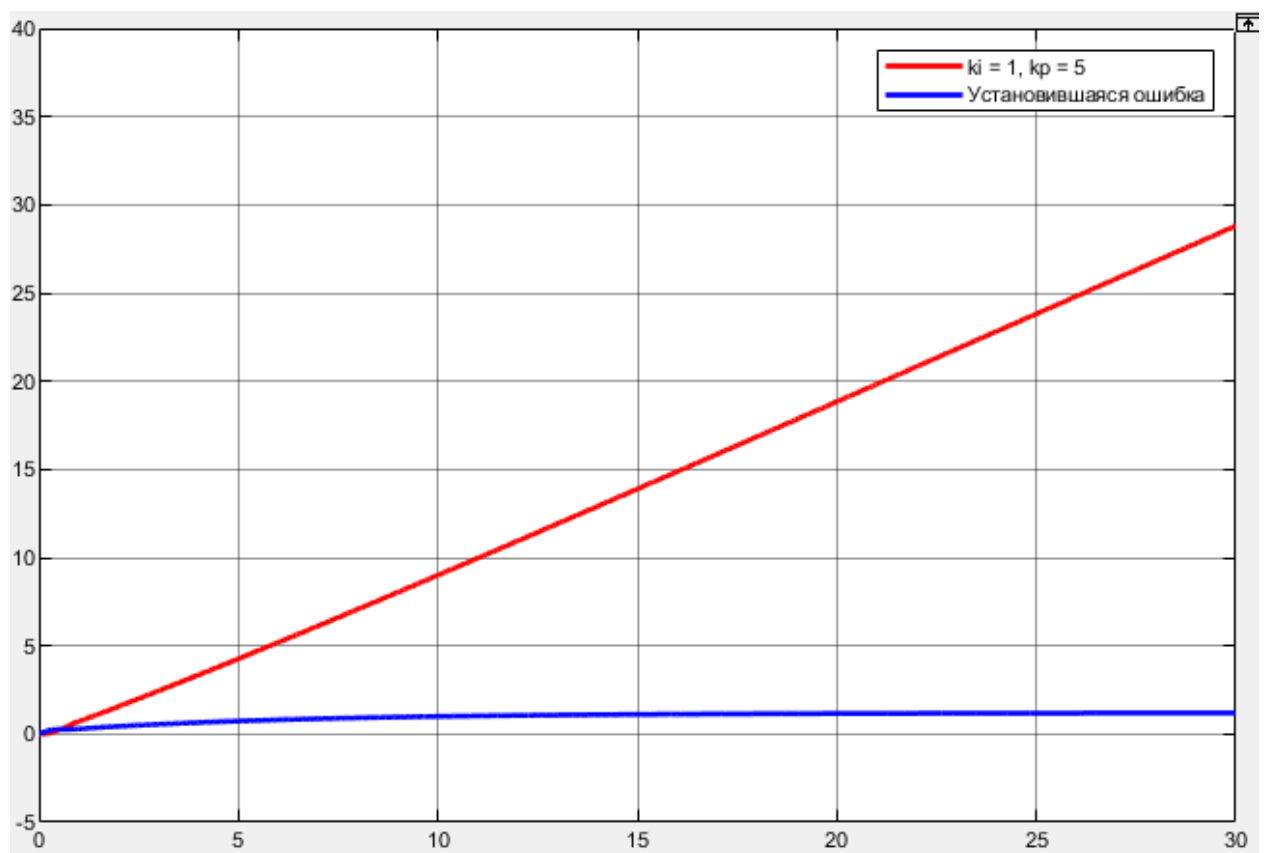


Рисунок 13 Переходной процесс и установившаяся ошибка при $k_i = 1$, $k_p = 5$

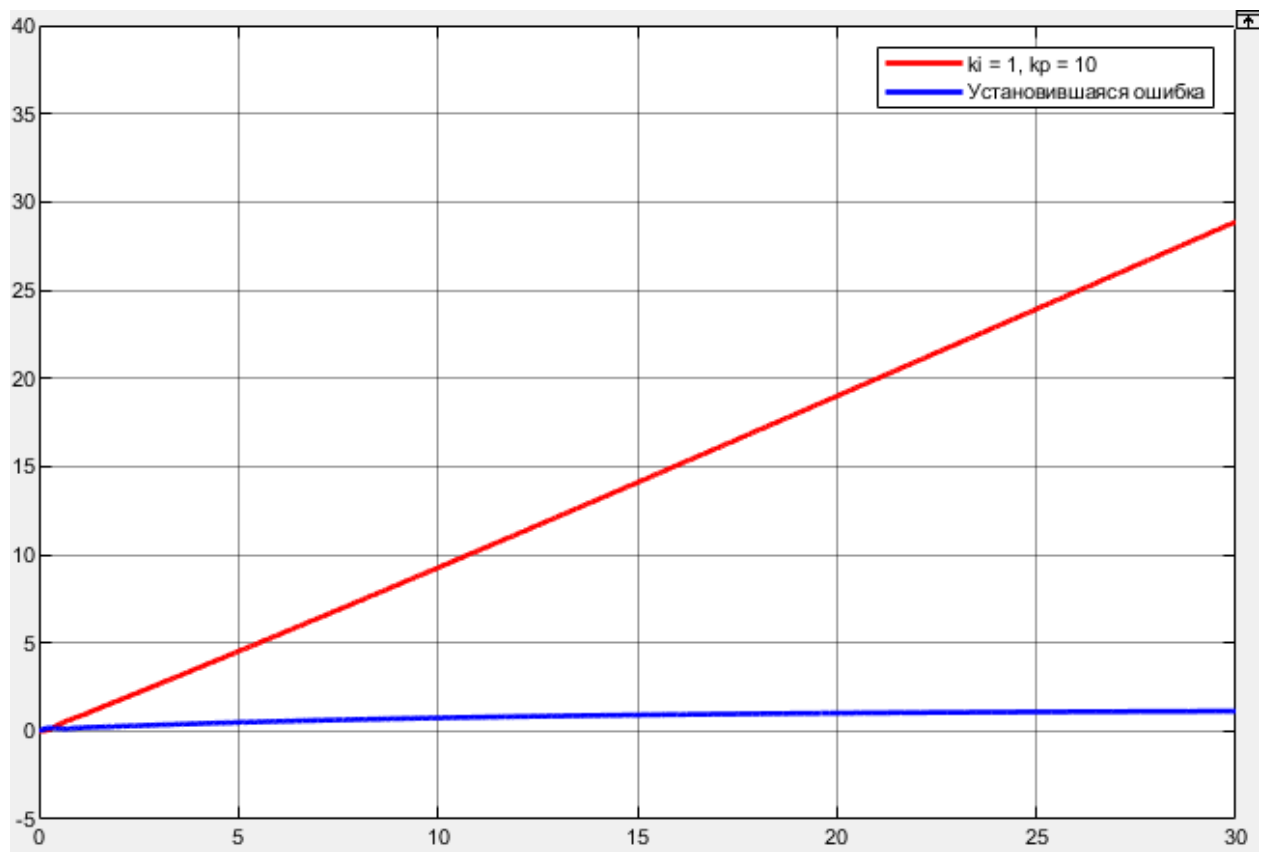


Рисунок 14 Переходной процесс и установившаяся ошибка при $k_i = 1$, $k_r = 10$

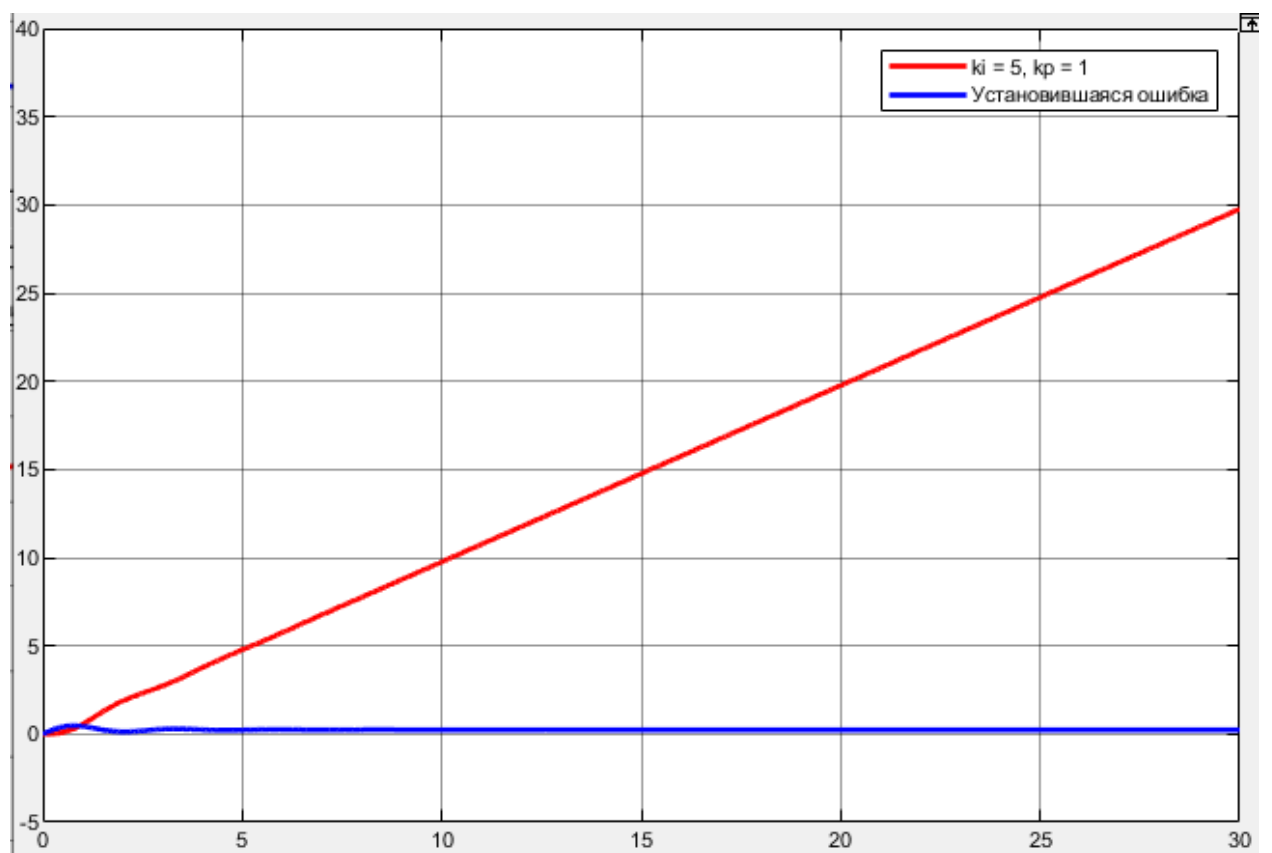


Рисунок 15 Переходной процесс и установившаяся ошибка при $k_i = 5$, $k_r = 1$

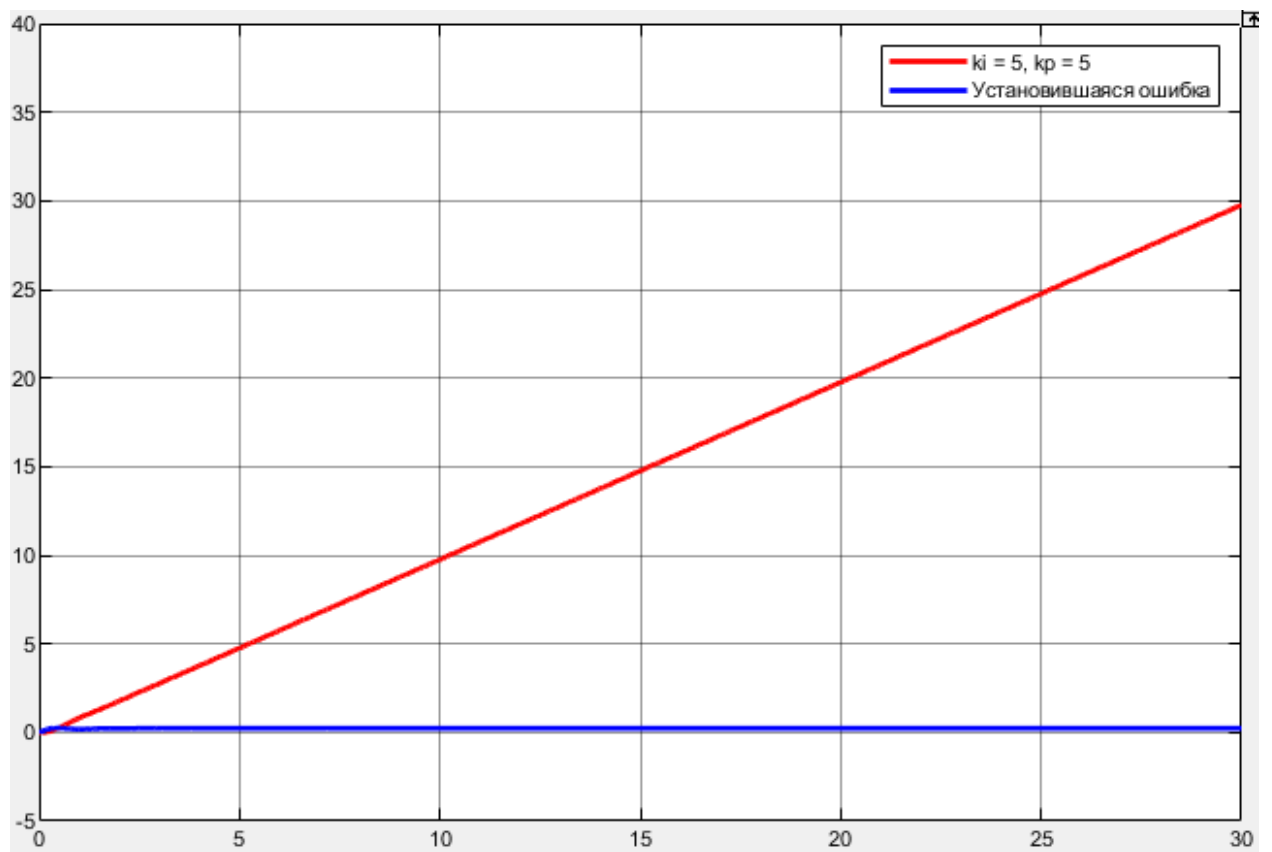


Рисунок 16 Переходной процесс и установившаяся ошибка при $k_i = 5$, $k_r = 5$

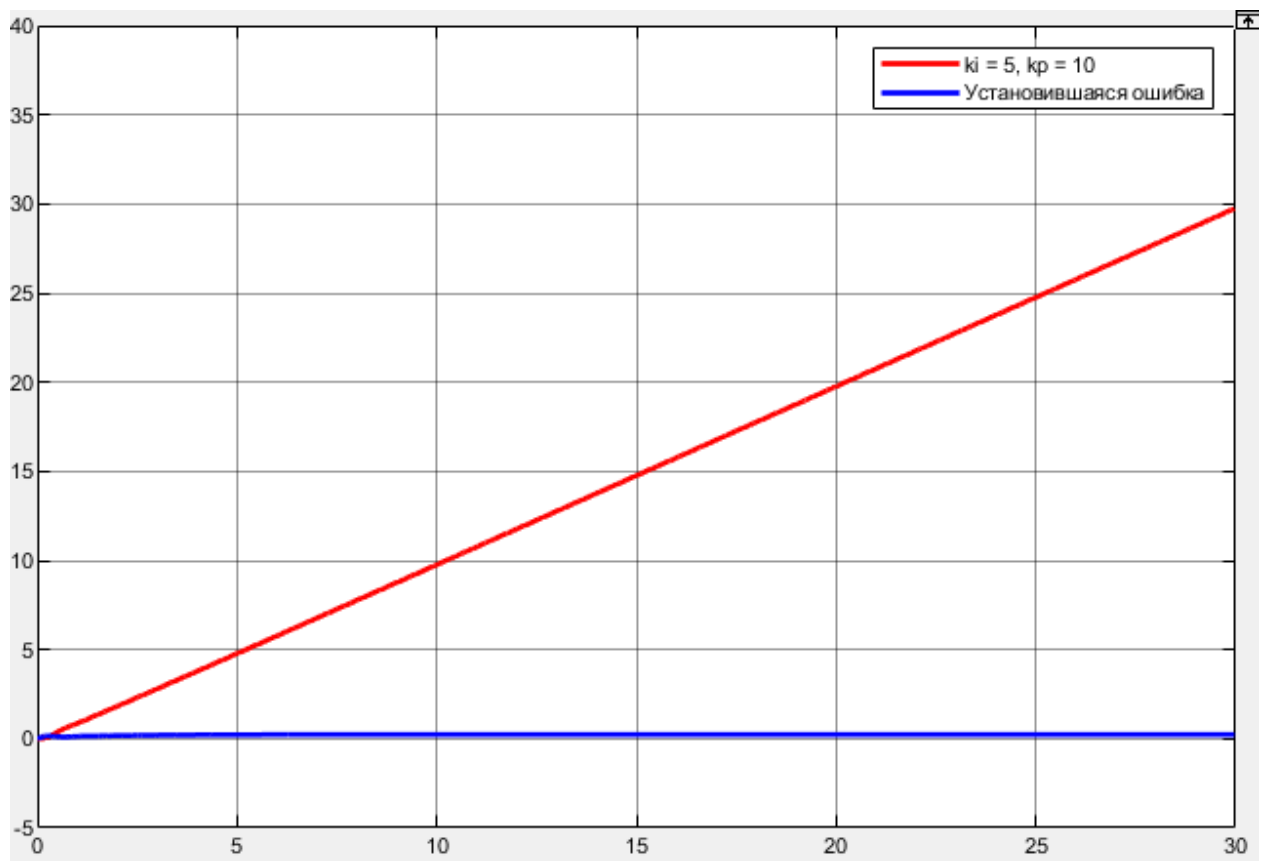


Рисунок 17 Переходной процесс и установившаяся ошибка при $k_i = 5$, $k_r = 10$

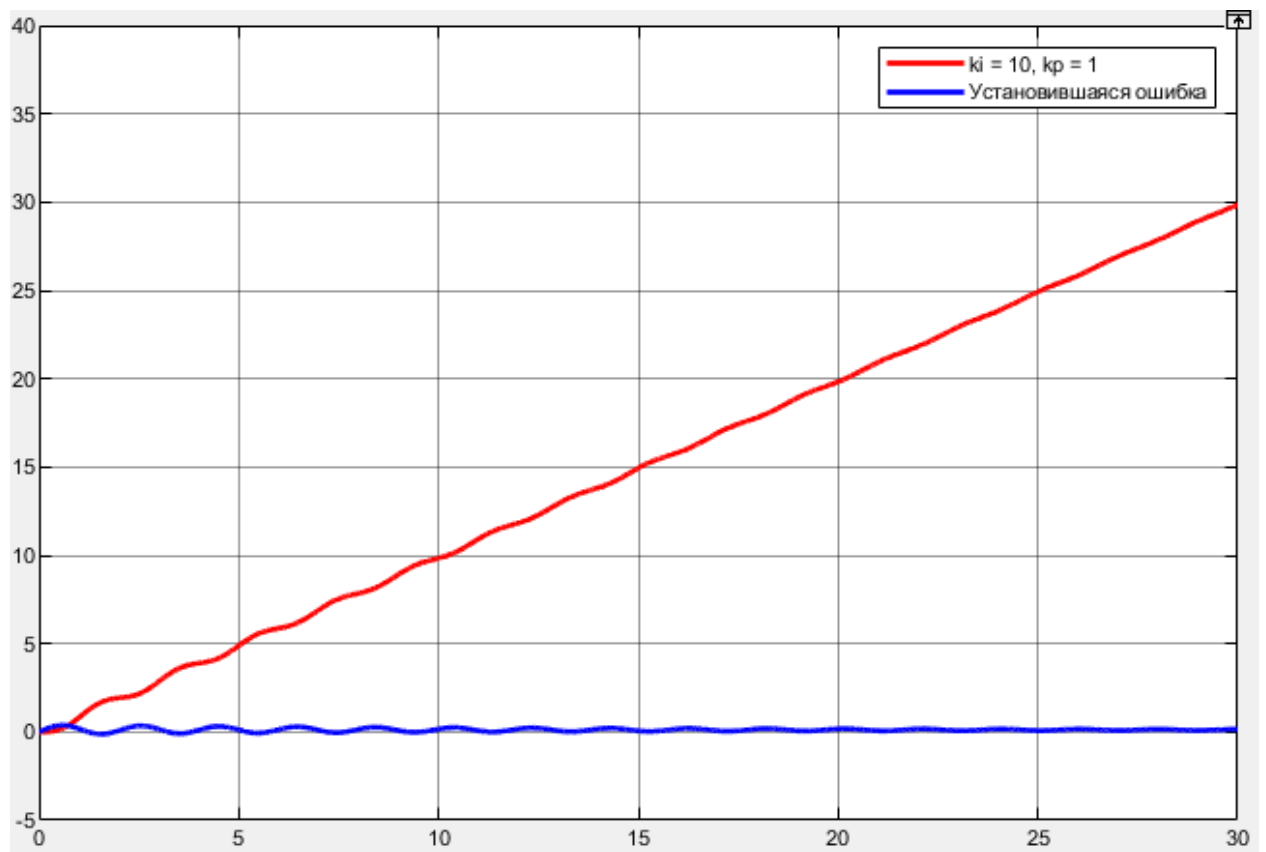


Рисунок 18 Переходной процесс и установившаяся ошибка при $k_i = 10$, $k_r = 1$

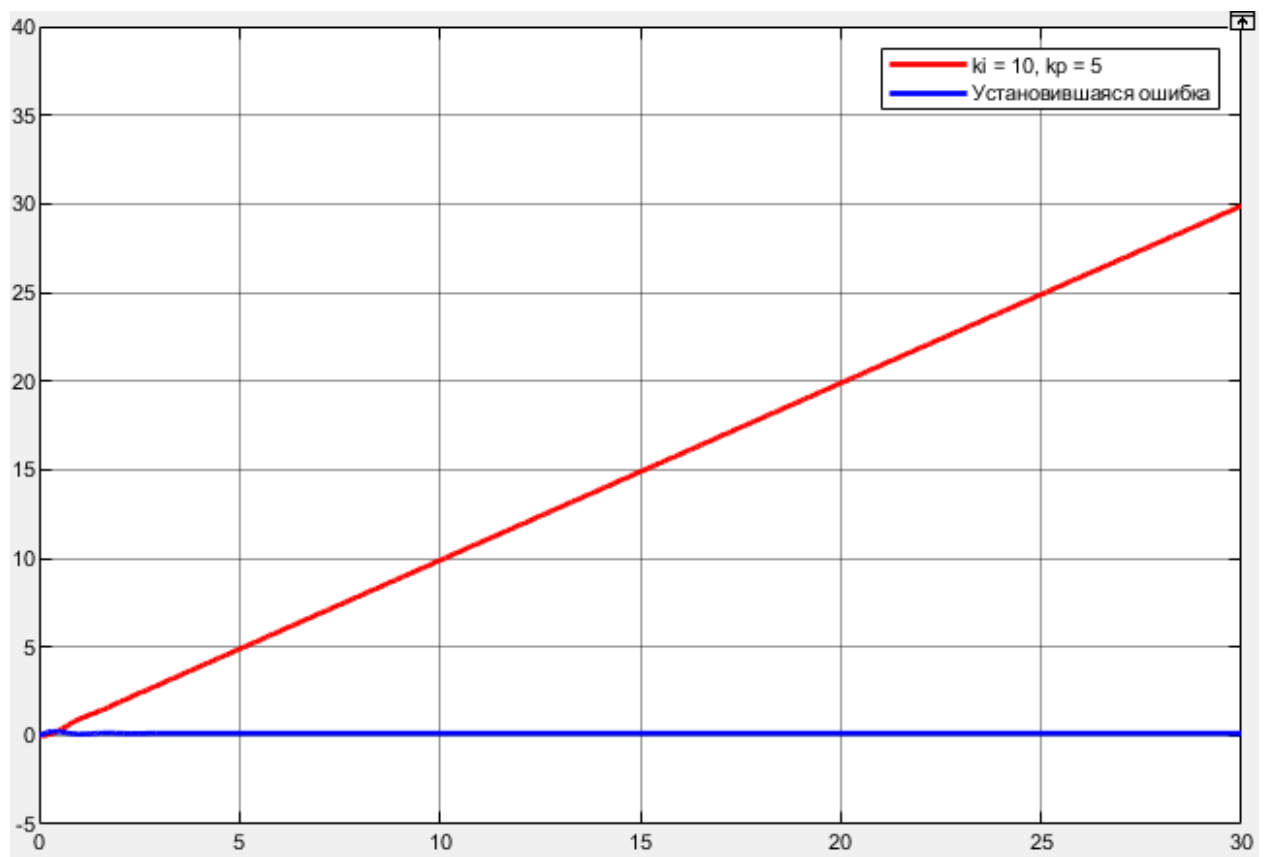


Рисунок 19 Переходной процесс и установившаяся ошибка при $k_i = 10$, $k_r = 5$

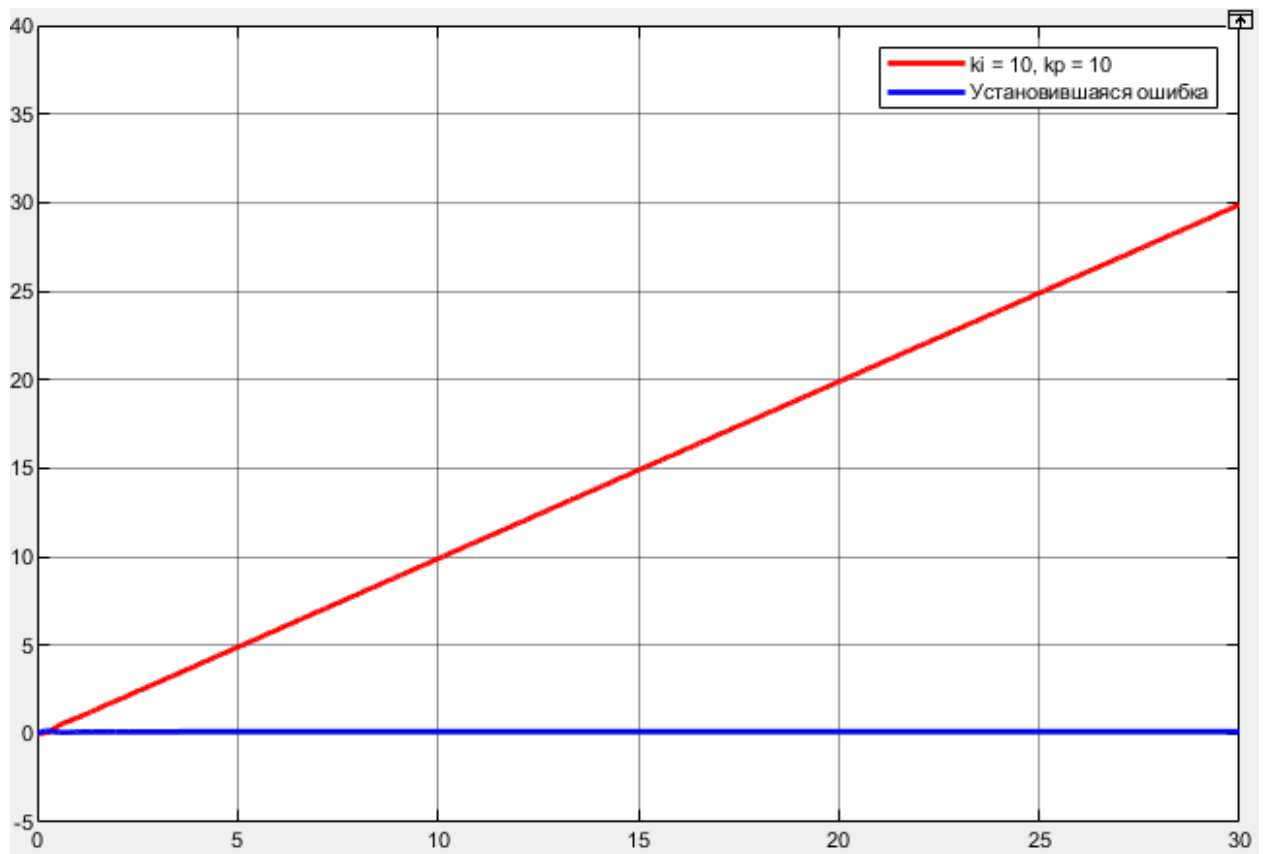


Рисунок 20 Переходной процесс и установившаяся ошибка при $k_i = 10$, $k_p = 10$

Из полученных графиков выходит, что на установившуюся ошибку влияет только k_i , поэтому:

При $k_i = 1 \rightarrow \varepsilon = 1.12$

При $k_i = 5 \rightarrow \varepsilon = 0.24$

При $k_i = 10 \rightarrow \varepsilon = 0.12$

4) Исследование влияния внешних возмущений:

4.1 Схема моделирования возмущённой системы:

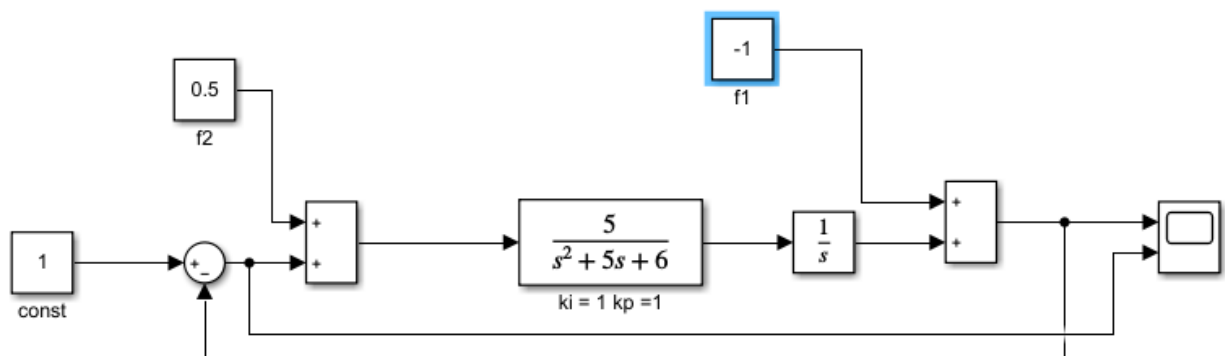


Рисунок 21 Схема моделирования возмущенной системы

$$e = -W(s) * (f_2 + e) * \frac{1}{s} + f_1$$

$$e = \frac{-W(s)}{1 + \frac{W(s)}{s}} f_2 + \frac{f_1}{1 + \frac{W(s)}{s}} = \frac{5(s^2 + 5s + 6)}{5s^3 + 25s^2 + 30s + 5} f_1 s - \frac{f_2}{s^3 + 5s^2 + 6s + 1}$$

$$\varepsilon = \lim_{s \rightarrow 0} s * f_1 * \frac{s^2 + 5s + 6}{s^3 + 5s^2 + 6s + 1} - \frac{f_2}{s^3 + 5s^2 + 6s + 1} = -f_2$$

4.2 $f_2(t) \equiv 0$ и $g(t) = 1(t)$

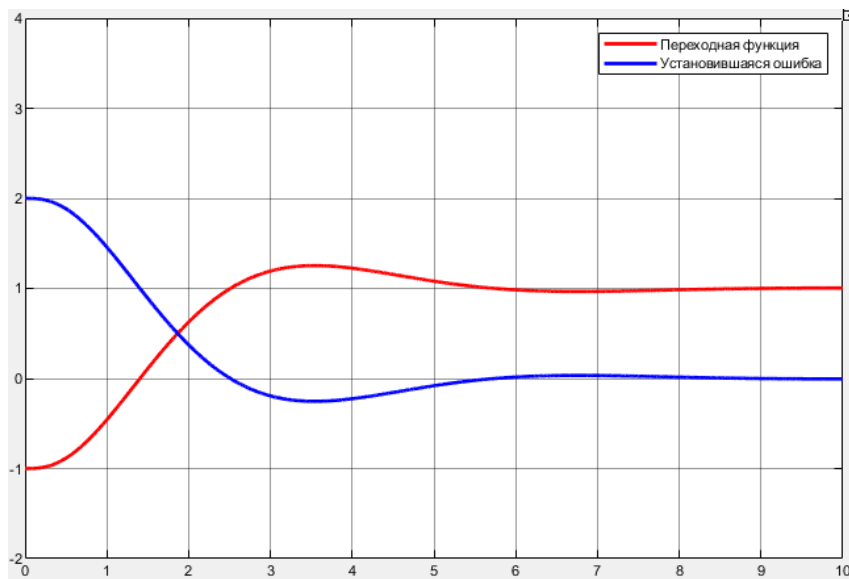


Рисунок 22 Переходной процесс и установившаяся ошибка при $f_2(t) \equiv 0$ и $g(t) = 1(t)$

$$\varepsilon = 0$$

4.3 $f_1(t) \equiv 0$ и $g(t) = 1(t)$

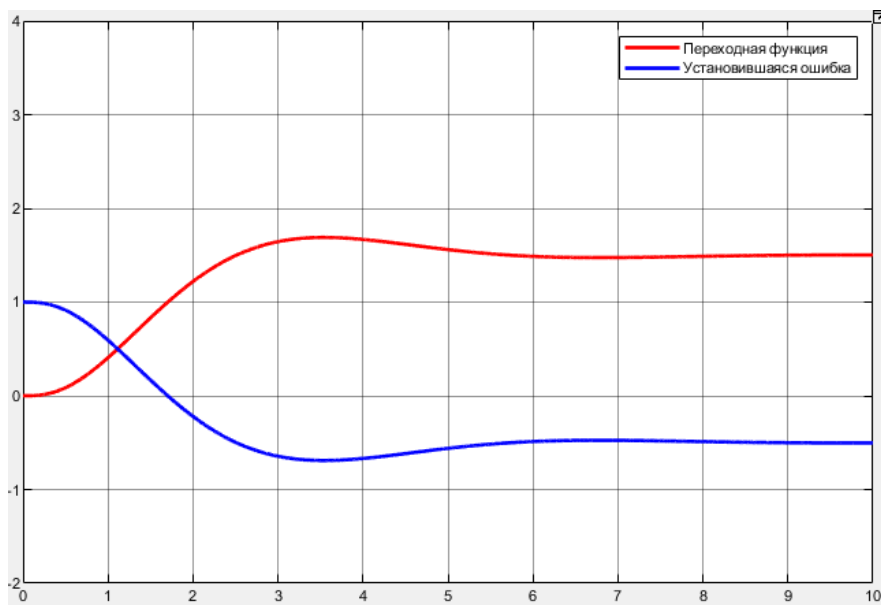


Рисунок 23 Переходной процесс и установившаяся ошибка при $f_1(t) \equiv 0$ и $g(t) = 1(t)$

$$\varepsilon = -0,5$$

5) Исследование установившейся ошибки при полиномиальном входном воздействии

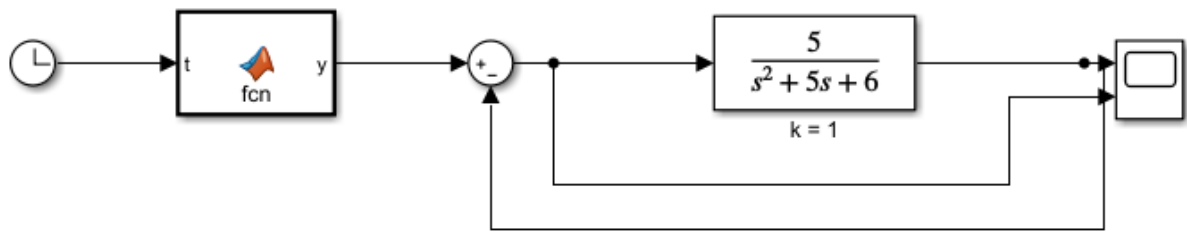


Рисунок 24 Схема системы с полиномиальным входным воздействием

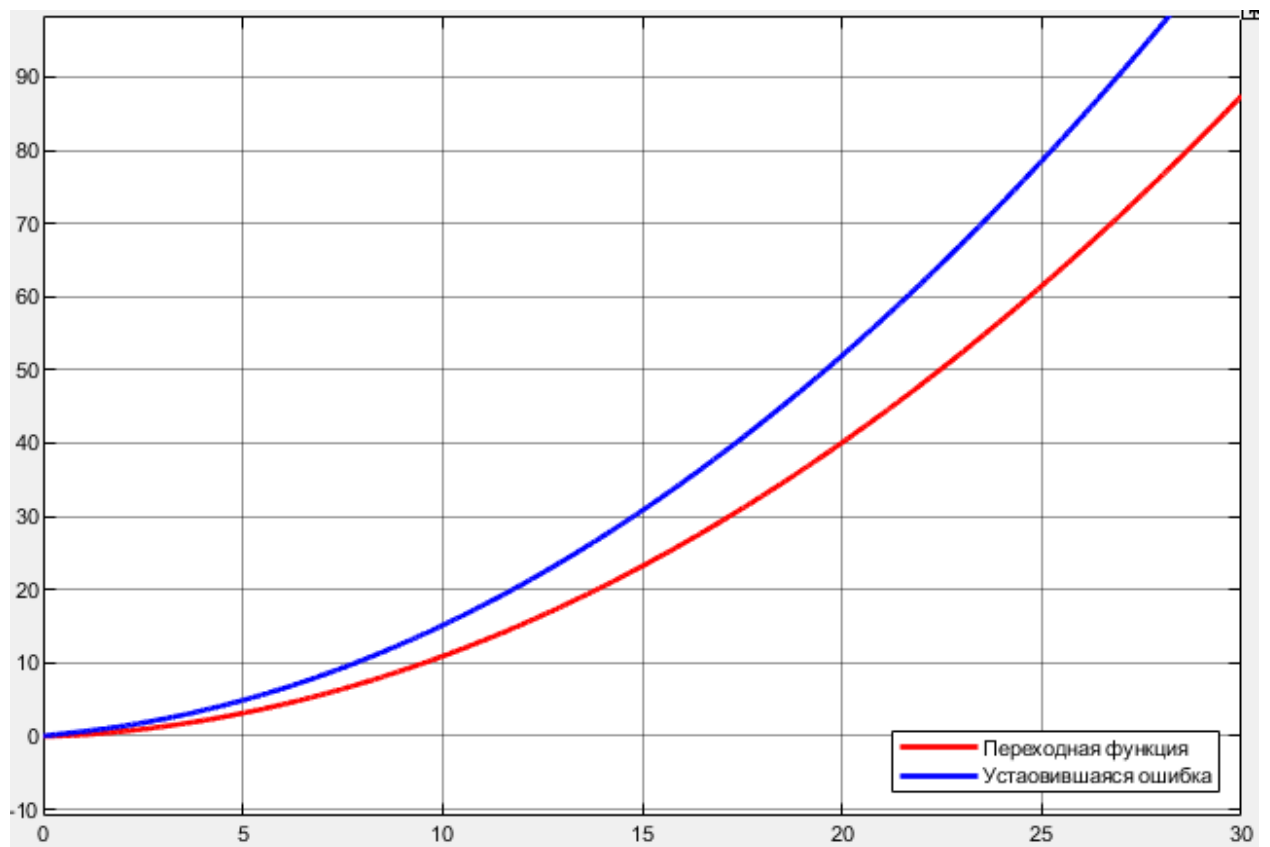


Рисунок 25 Переходной процесс и установившаяся ошибка при полиномиальном входном воздействии

Получим приближенное аналитическое выражение для $e_y(t)$, сохранив в ряде Тейлора три первых члена:

$$\Phi_e(s) = \frac{1}{1 + W(s)} = \frac{1}{1 + \frac{5}{s^2 + 5s + 6}} = \frac{s^2 + 5s + 6}{s^2 + 5s + 11}$$

$$e_y(t) = c_0 g(t) + c_1 \frac{d}{dt} g(t) + \frac{c_2}{2} \frac{d^2}{dt^2} g(t)$$

$$g(t) = 0.2t^2 + 0.6t$$

$$\frac{d}{dt}g(t) = 0.4t + 0.6$$

$$\frac{d^2}{dt^2}g(t) = 0.4$$

$$c_0 = \Phi_e(0) = \frac{6}{11} = 0.55$$

$$c_1 = \frac{d}{dt}\Phi_e(0) = \frac{10s + 25}{(s^2 + 5s + 11)^2} = \frac{25}{121} = 0.21$$

$$c_2 = \frac{d^2}{dt^2}\Phi_e(0) = \frac{30s^2 + 150s + 140}{(s^2 + 5s + 11)^3} = \frac{140}{1331} = 0.11$$

Следовательно, получаем разложение:

$$e_y(t) = 0.55 * (0.2t^2 + 0.6t) + 0.21 * (0.4t + 0.6) + 0.055 * 0.4 = 0.11t^2 + 0.414t + 0.148$$

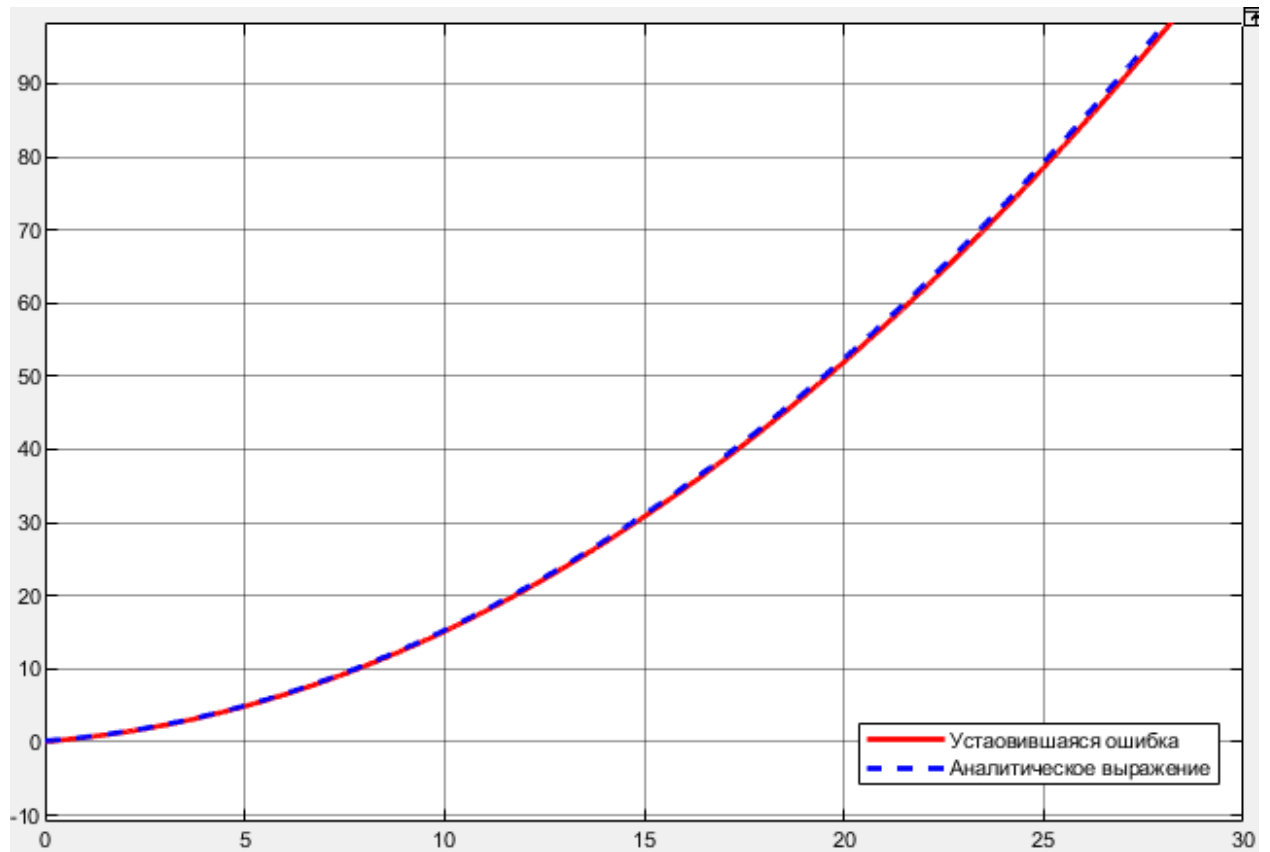


Рисунок 26 Сравнение расчетной и экспериментально определенной установившейся ошибки

Вывод: В ходе выполнения данной лабораторной работы нами были построены графики установившихся ошибок систем с астатизмом нулевого, первого и второго порядков, так же было проанализировано влияние внешних возмущений и найдено приближенное аналитическое выражения установившейся ошибки для системы с полиномиальным входным воздействием.