



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

---

---

ФАКУЛЬТЕТ «Специальное машиностроение»

КАФЕДРА «Колесные машины»

Отчёт о выполнении лабораторной работы  
по курсу  
«Управление техническими системами»  
на тему  
«Основы анализа САУ в пакете MATLAB»

Студент СМ10-71

\_\_\_\_\_

*(подпись, дата)*

В.Б. Сухоносенко

\_\_\_\_\_

*(Ф.И.О.)*

Преподаватель

\_\_\_\_\_

*(подпись, дата)*

А.А.Смирнов

\_\_\_\_\_

*(Ф.И.О.)*

2025 г.

## Содержание

1	Исходные данные . . . . .	1
2	Основная часть . . . . .	2
2.1	Ввод исходных данных . . . . .	2
2.2	Построение АФЧХ . . . . .	3
2.3	Построение диаграмм Боде . . . . .	5
2.4	Временные характеристики и подбор $k$ . . . . .	6
2.5	Модель в Simulink . . . . .	10
	Заключение . . . . .	13

# 1 Исходные данные

Заданием на лабораторную являлось получить математическую модель (ММ) системы, показанной на рис. 1.1, исследовать ее при заданных значениях параметров:

- масса  $m = 500$  кг
- жесткость пружины  $c = 50000$  Н/м
- коэффициент вязкого трения  $k = 2000$  Н\*с/м

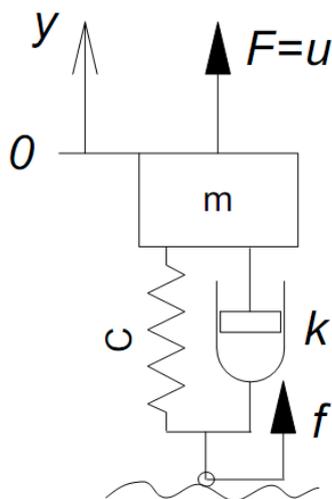


Рисунок 1.1 — Модель системы подрессоривания:  $u$  – силовое воздействие;  $f$  – кинематическое воздействие

Модель описывается дифференциальным уравнением

$$m\ddot{y} = k\dot{y} + cy = u + kf + cf \quad (1.1)$$

Передаточные функции системы (замена оператором дифференцирования  $p \equiv \frac{d}{dt}$ ) имеют вид

$$W_u(p) = \frac{1}{mp^2 + kp + c} \quad (1.2)$$

$$W_f(p) = \frac{kp + c}{mp^2 + kp + c} \quad (1.3)$$

В ходе работы было необходимо построить АФЧХ, ЛФЧХ, ЛАЧХ для передаточных функций 1.2,1.3, а так же построить модель в Simulink и сверить полученные результаты с программой.

## 2 Основная часть

Основные параметры введены в скрипт MATLAB, определены нули и полюса каждой из передаточных функций:

### 2.1 Ввод исходных данных

```
%% Parameters
m=500; %massa
c=5e4;
k=2e3;
%% System transfer function
num_u=[1];
num_f=[k c];
den = [m k c];

sys_u=tf(num_u, den)
sys_f= tf(num_f,den)

%% Zeros and poles
disp("zeros sys_f:")
zero(sys_f)
disp('poles sys_f:')
pole(sys_f)
```

В результате получен следующий вывод:

```
zeros sys_f:
ans =
-25
poles sys_f:
ans =
-2.0000 + 9.7980i
-2.0000 - 9.7980i
```

## 2.2 Построение АФЧХ

Далее построены АФЧХ для  $W_u$ ,  $W_f$  (рис.2.1 и 2.2)

```
%% Plots
plotoptions = nyquistoptions('cstprefs');
plotoptions.ShowFullContour = 'off';

figure(1);

nyquist(sys_u)
title("АФЧХ u")
xlabel("Re")
ylabel("Im")
xlim([-3e-5 4e-5])

figure(2)
nyquist(sys_f,plotoptions)
title("АФЧХ f")
%grid on; % Включить сетку;
% set(gcf, 'Color', 'white'); % Белый задний фон
xlabel("Re")
ylabel("Im")
print -deps AFCHH_f
```

Результаты представлены на рис. 2.1, 2.2. Для (1.3) Амплитудно-фазовая частотная характеристика построены только для неотрицательных значений частот (рис. 2.2)

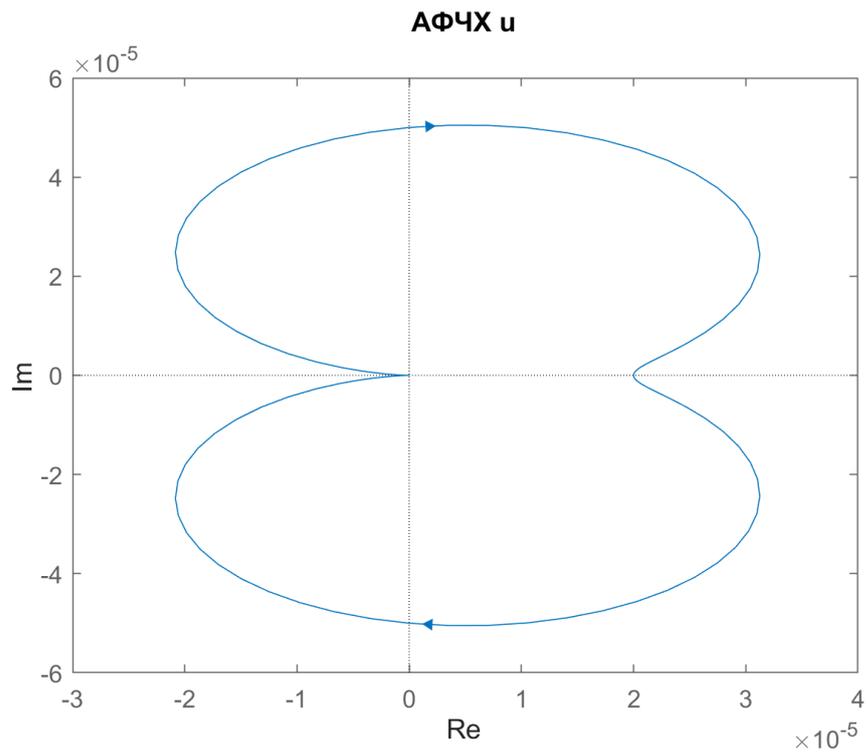


Рисунок 2.1 — АФЧХ для  $sys_u$

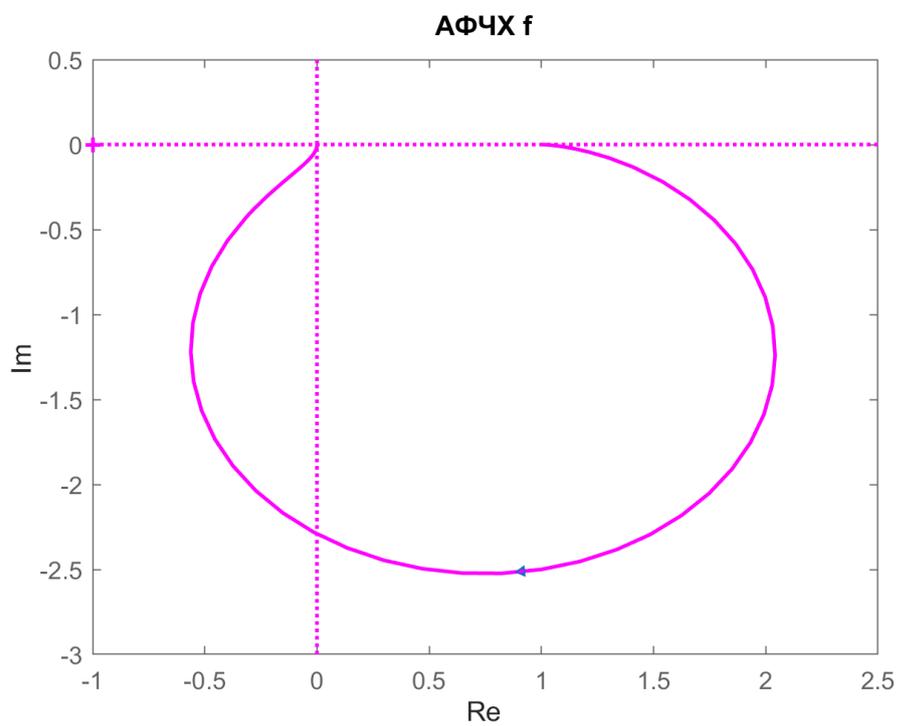


Рисунок 2.2 — АФЧХ для  $sys_f$

## 2.3 Построение диаграмм Бode

Построены ЛАЧХ/ЛФЧХ для  $W_u$  (рис. 2.3) и АЧХ/ФЧХ  $W_f$  (рис. 2.4). На последней видно, что на частоте около 2 Гц происходит явление резонанса - наибольшая амплитуда ( $\approx 10$  дБ)

```
figure(3)
bode(sys_u)
title("ЛАЧХ/ЛФЧХ W_u");
xlabel("Частота");
figure(4)
bode(sys_f)
title("АЧХ/ФЧХ W_f")
xlabel("Частота");
```

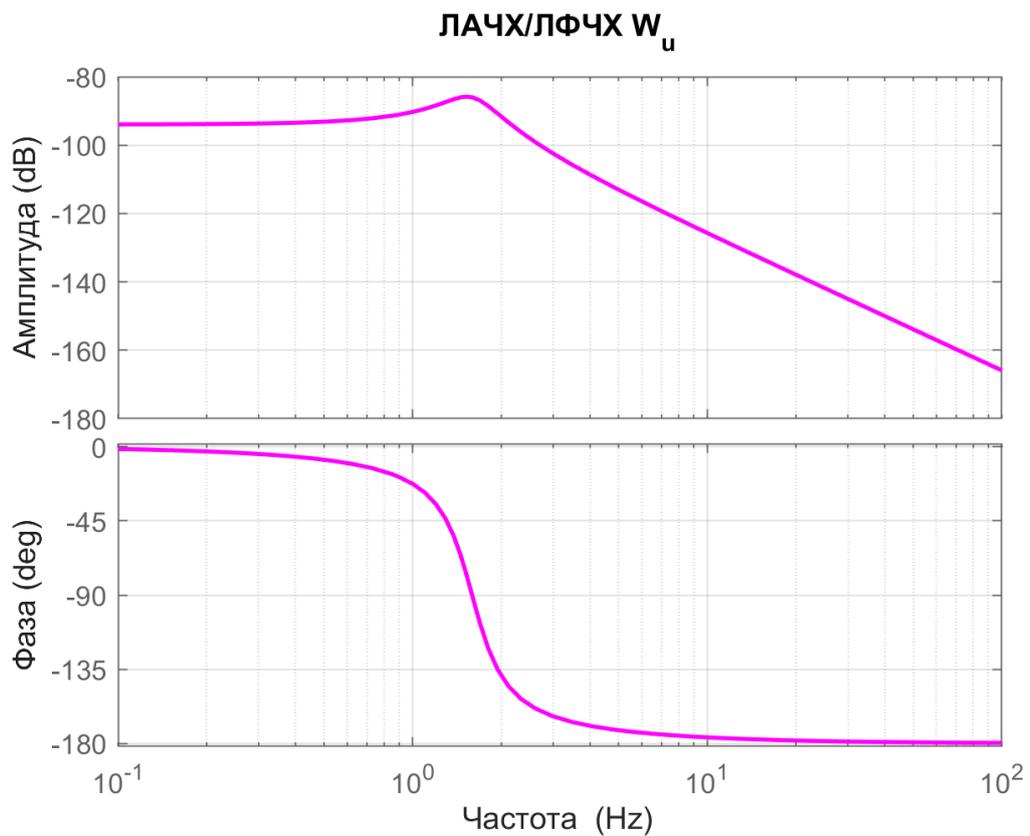


Рисунок 2.3 — ЛАЧХ/ЛФЧХ  $W_u$

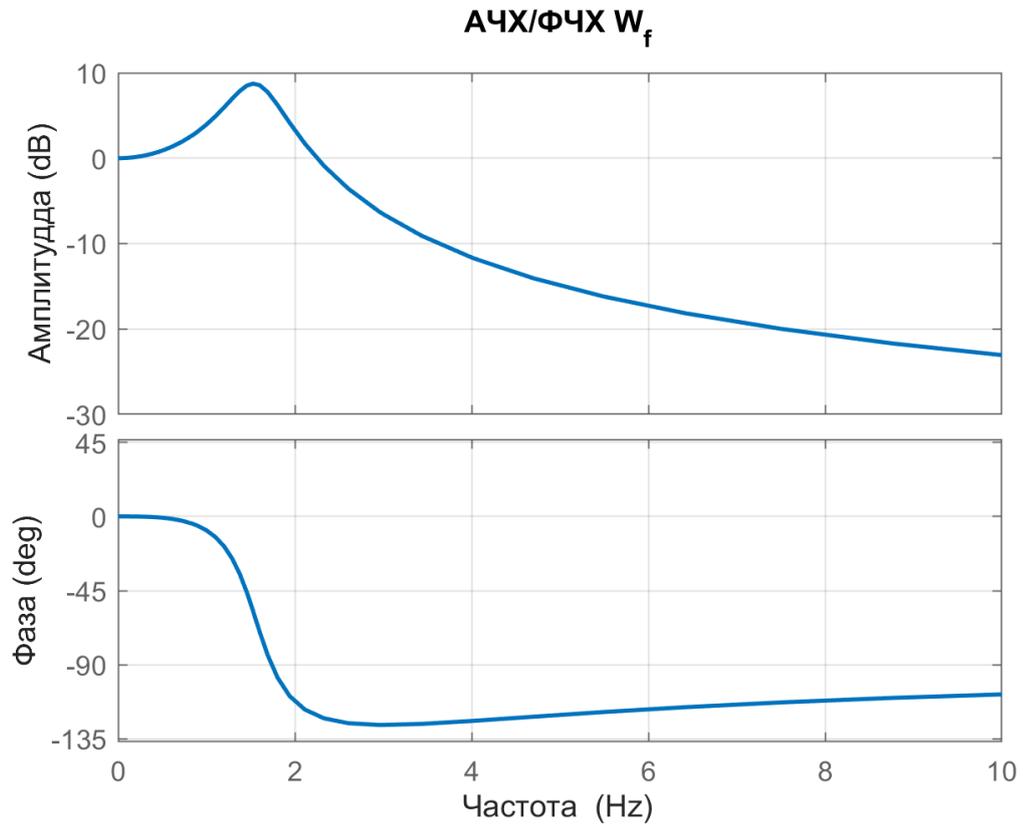


Рисунок 2.4 — АЧХ/ФЧХ  $W_f$

## 2.4 Временные характеристики и подбор $k$

Построены временные характеристики системы. Методом подбора выставлено значение  $k_1 = 4200$ , дающее при подаче ступенчатого сигнала на вход  $u$  полтора колебания. Переходные характеристики для  $u, f$  представлены на рис. 2.5, 2.6; импульсные - рис. 2.7, 2.8 соответственно.

% Временные характеристики

```
num_f1=[k1 c];
den1 = [m k1 c];
k1=4.2e3;
sys_u1=tf(num_u, den1)
sys_f1= tf(num_f1,den1)
```

```
figure(5)
step(sys_u)
title('step u')
```

```
grid on
hold on
step(sys_u1)
title("Переходная характеристика sys_u")
legend("k="+string(k), "k="+string(k1))
```

```
figure(6)
impulse(sys_u)
hold on
impulse(sys_u1)
title("Импульсная характеристика sys_u")
legend("k="+string(k), "k="+string(k1))
grid on
```

```
figure(7)
step(sys_f)
hold on
step(sys_f1)
title("Переходная характеристика sys_f")
legend("k="+string(k), "k="+string(k1))
grid on
```

```
figure(8)
impulse(sys_f)
hold on
impulse(sys_f1)
title("Импульсная характеристика sys_f")
legend("k="+string(k), "k="+string(k1))
grid on
```

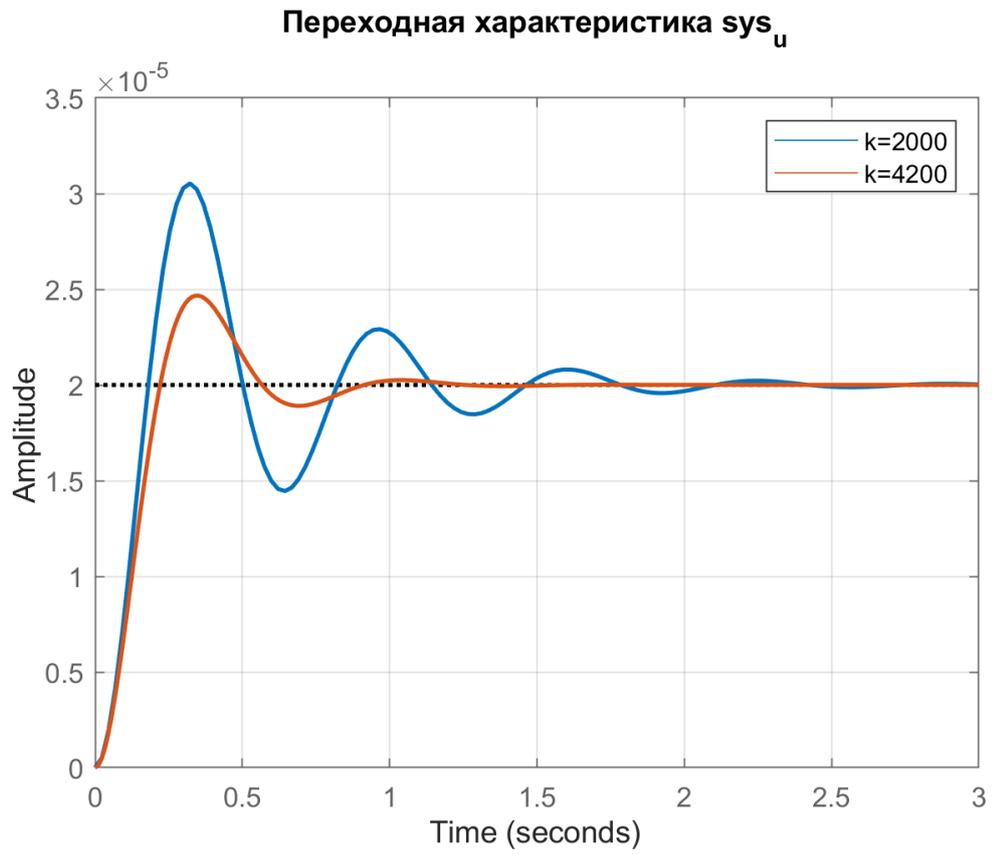


Рисунок 2.5 — Переходная характеристика для  $u$

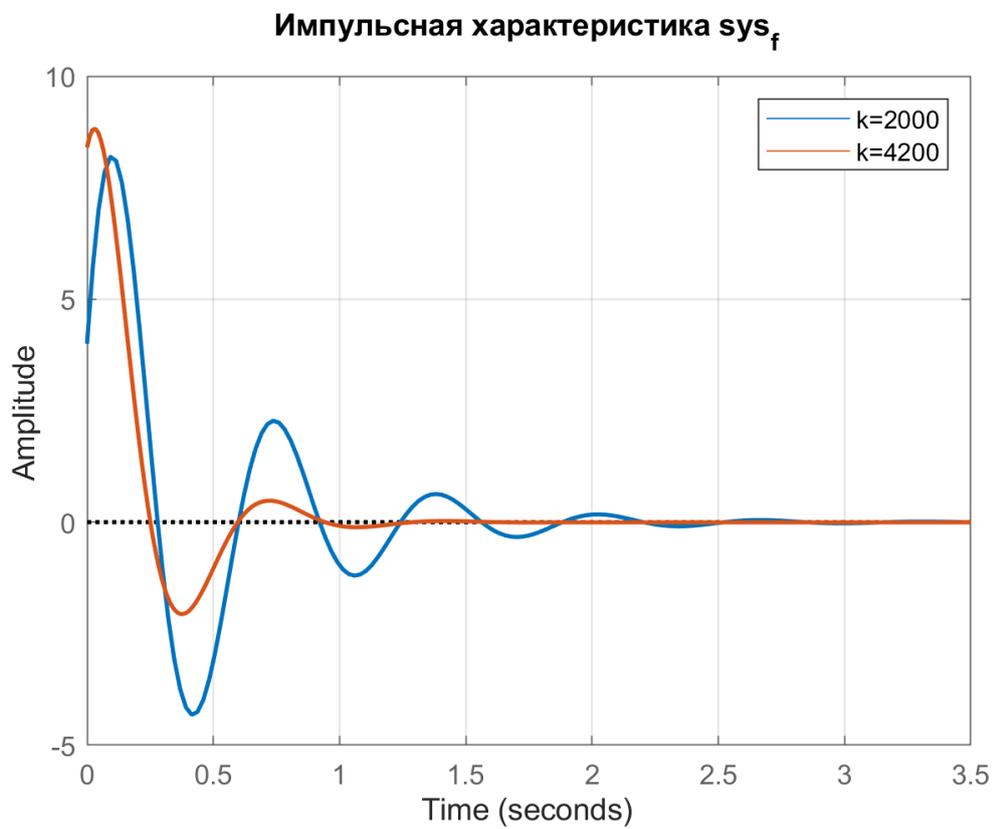


Рисунок 2.6 — Переходная характеристика для  $f$

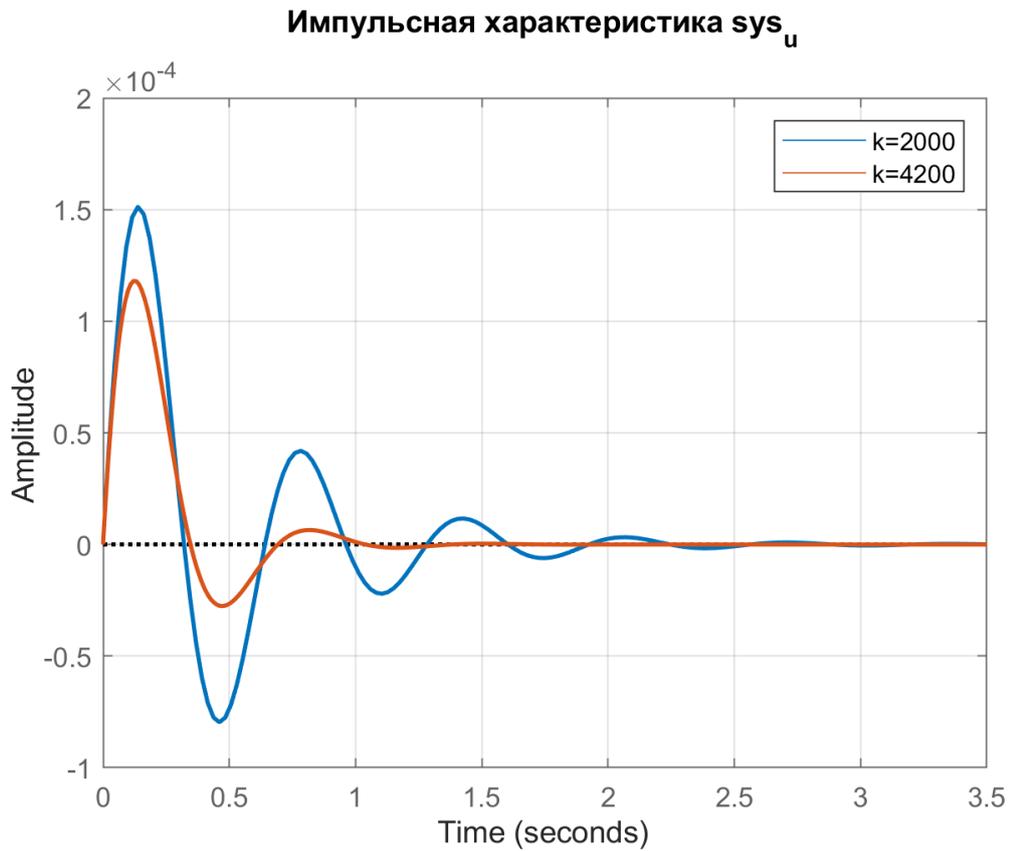


Рисунок 2.7 — Импульсная характеристика для  $u$

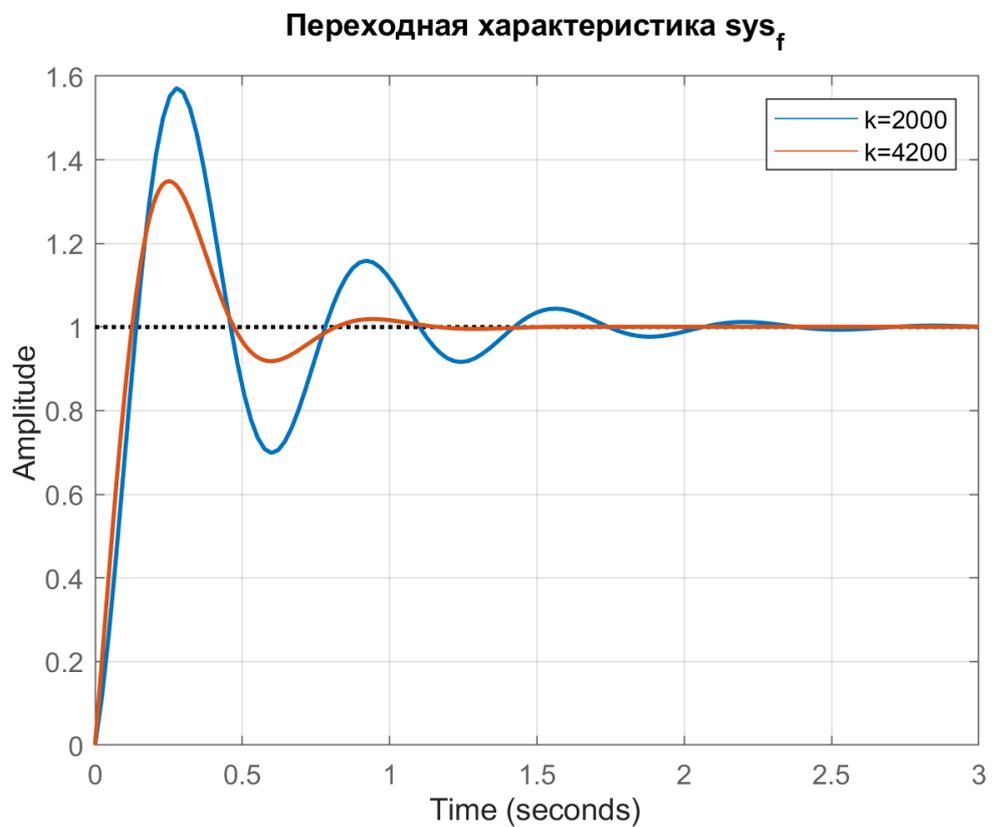


Рисунок 2.8 — Импульсная характеристика для  $f$

## 2.5 Модель в Simulink

С помощью Simulink построена модель, отражающая дифференциальное уравнение 1. В интегратор заданы нулевые начальные условия  $\dot{y}(0) = 0, y(0) = 0$ . Параллельно с этим вставлен блок transfer function, в котором задана передаточная функция  $W_f$ . При  $u \equiv 0$  подана ступенчатая функция для  $f$ . Результаты показаны на рис. 2.10 - график  $y$  соответствует решению схемы с интегратором,  $y\_tfn$  - решению блока Transfer function.

Сравнивая рис. 2.10 и 2.6 видим, что решение от схемы с интегратором отличается от построенного скриптом решения, в то время как блок передаточной функции выдал решение, идентичное скрипту.

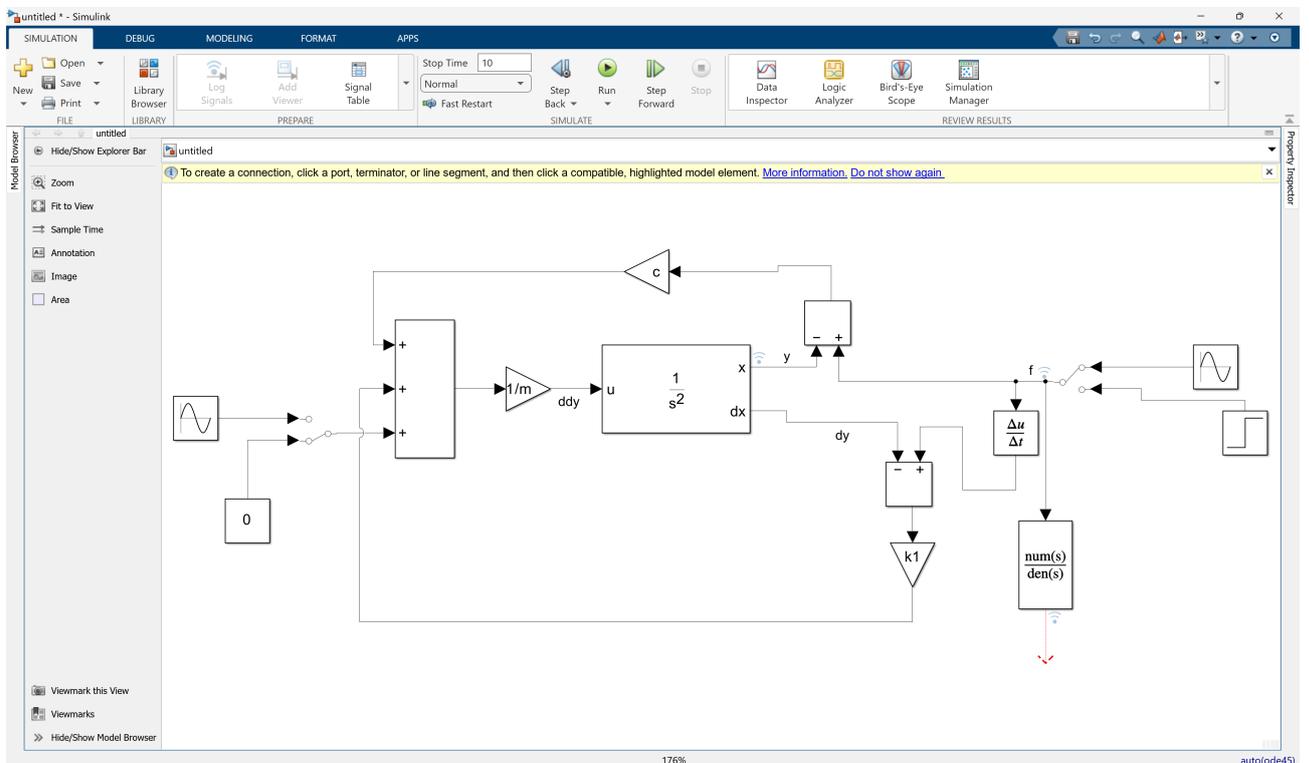


Рисунок 2.9 — Модель в Simulink (через интегратор и через передаточную функцию)

Далее был подан синусоидальный сигнал  $f = \sin(10t)$  (собственная частота  $\omega_0 = \sqrt{c/m} = 10$  рад/С) при  $u \equiv 0$ . Решения  $y, y\_tfn$  в данном случае совпадут (рис. 2.11). Помимо этого, полученная амплитуда соответствует амплитуде по АЧХ 2.4.

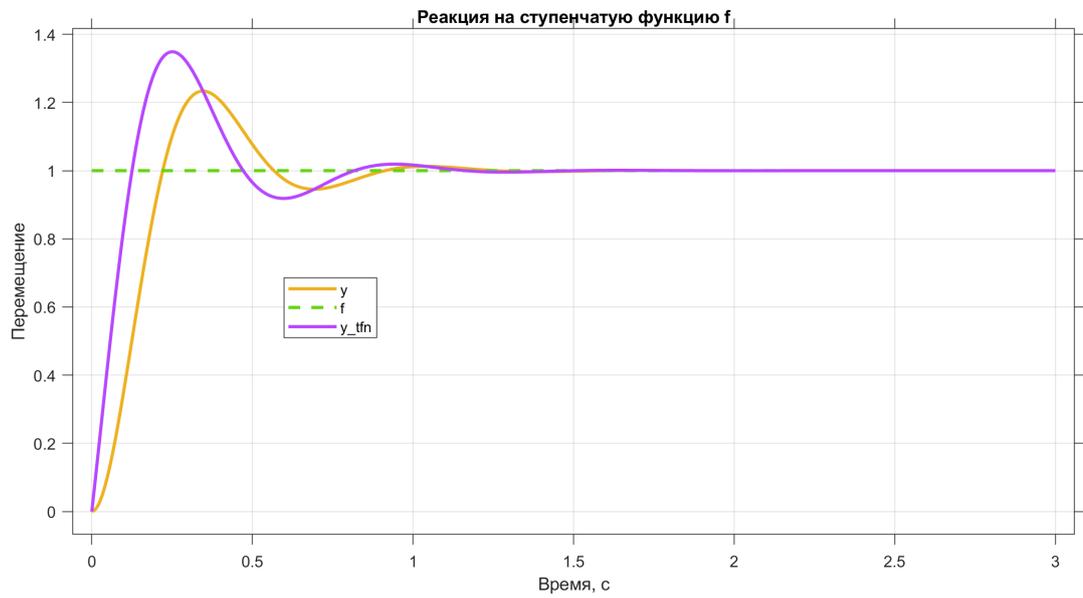


Рисунок 2.10 — Реакция на ступенчатый сигнал  $f$  в Simulink

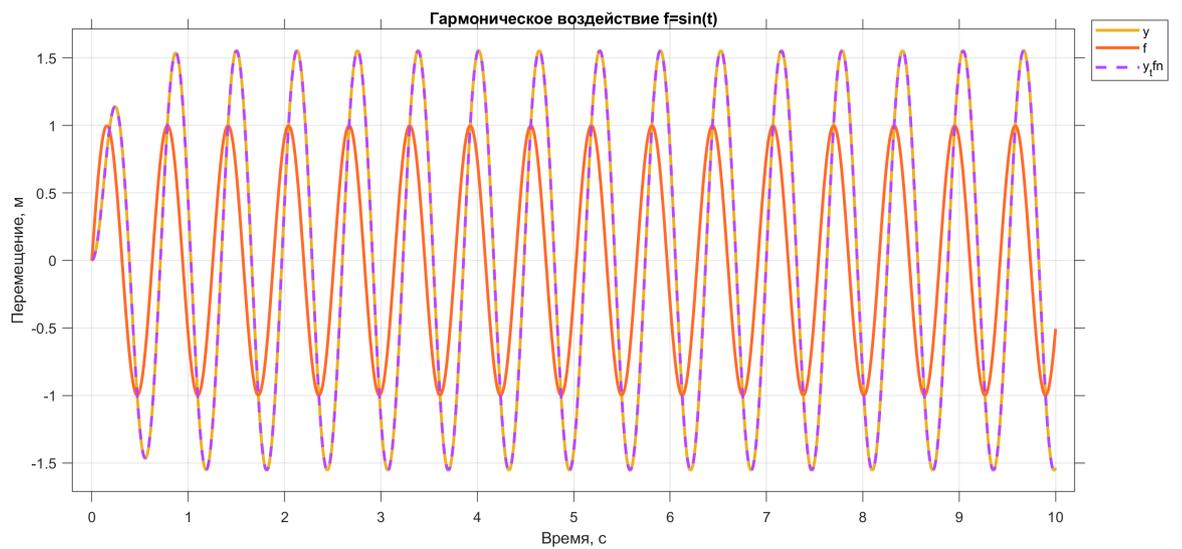


Рисунок 2.11 — Перемещение при  $f = \sin t$

Несовпадение данных Simulink и решения программы Matlab в случае единичной функции связано с тем, что решатель Simulink по-другому относится к бесконечной производной, возникающей у ступенчатой функции  $f$ . Производная в блоке Derivative (см. рис. 2.9) вводит фильтр типа  $\frac{s}{\tau s + 1}$  для решения вопроса о бесконечной производной при  $t = 0$ . При стремлении постоянной времени  $\tau \rightarrow 0$  решение Simulink приближается к аналитическому, однако малые значения  $\tau$  вызывают вычислительные трудности, поэтому при его конечном значении передаточная функция системы в модели Simulink, а значит и её динамика могут отличаться от первоначальной заданной (В нашем случае погрешность по максимальному перемещению составила  $\approx 8\%$ )

## Заключение

В ходе лабораторной работы изучены способы получения математической модели систем на примере одномассовой модели подвески (четверть автомобиля). Построены Амплитудно-фазовые частотные характеристики (диаграммы Найквиста) передаточных функций, Амплитудные, фазовые частотные характеристики (диаграммы Боде) системы (обычные и логарифмические: ЛАЧХ, ЛФЧХ). Построены переходные и импульсные характеристики для каждого из входов (сила  $u$  и перемещение - профиль дороги  $f$ ). В среде Simulink построена схема, отвечающая исходному дифференциальному уравнению 1 и получены переходная характеристика для  $f$ , проведено сравнение решений Simulink и программы MATLAB.