

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Кафедра Систем Управления и Информатики Группа Р3340

Лабораторная работа №11
Исследование математической модели
пьезоэлектрического исполнительного
устройства
Вариант - 9

Выполнила Сорокина Т. В. (подпись)
(фамилия, и.о.)

Проверил _____ (подпись)
(фамилия, и.о.)

" ____ " _____ 20__г. Санкт-Петербург, 20__г.

Работа выполнена с оценкой _____

Дата защиты " ____ " _____ 20__г.

Цель работы: изучение математических моделей и исследование характеристик исполнительного устройства, построенного на основе пьезоэлектрического двигателя микросмещений.

Исходные данные

Типовые конструкции пьезоэлектрических двигателей приведены на рисунке 1.

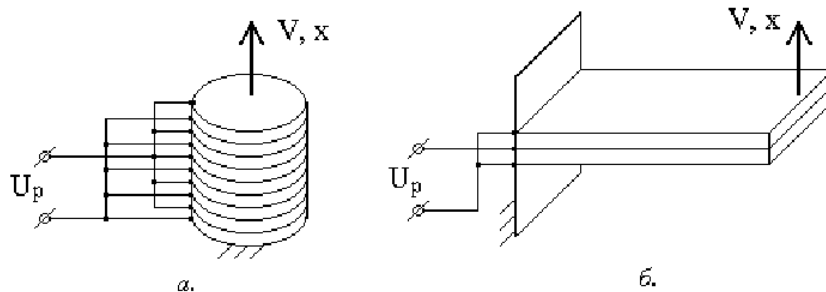


Рисунок 1 – Составная и биморфная конструкции пьезоэлектрических двигателей

В данной лабораторной работе будет исследоваться, биморфный пьезоэлектрический двигатель, изображенный на рисунке 1 под буквой б. Исходные данные, необходимые для выполнения работы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

C_p , Н/м	m , кг	K_0 , Н/В	K_d , Нс/м	T_u , с	F_b , Н	U_{pm} , В	U_m , В	K_u
$1.8 \cdot 10^6$	0.01	5.2	$0.7 \cdot 10^2$	0.0002	0.9	300	10	30

На рисунке 2 изображена структурная схема пьезоэлектрического исполнительного устройства.

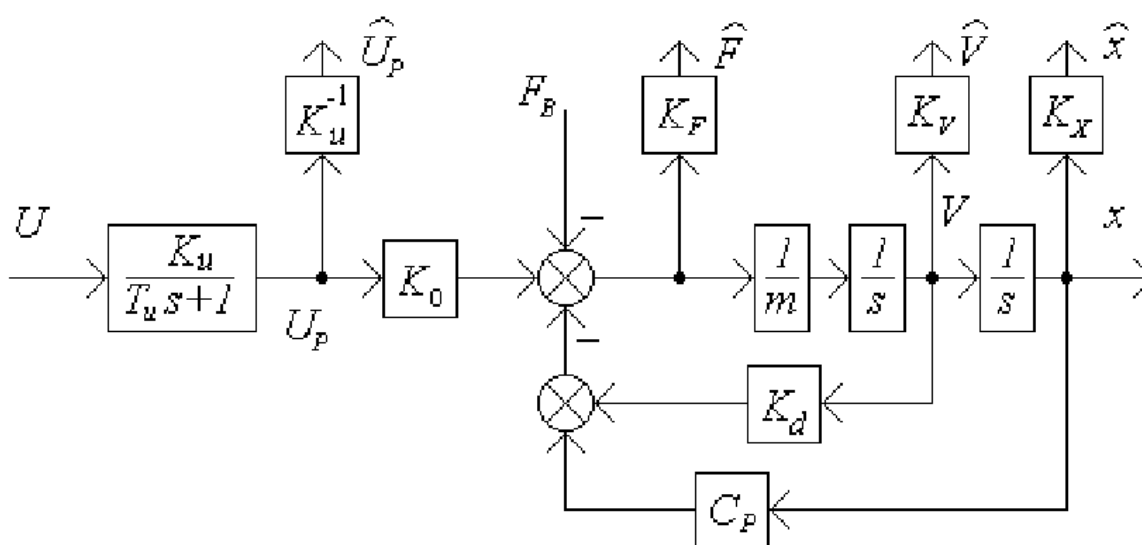


Рисунок 2 – Структурная схема пьезоэлектрического исполнительного устройства

1 Математическое моделирование пьезоэлектрического двигателя

В соответствии со схемой, изображенной на рисунке 2, составим схему моделирования пьезоэлектрического двигателя, которая представлена на рисунке 3.

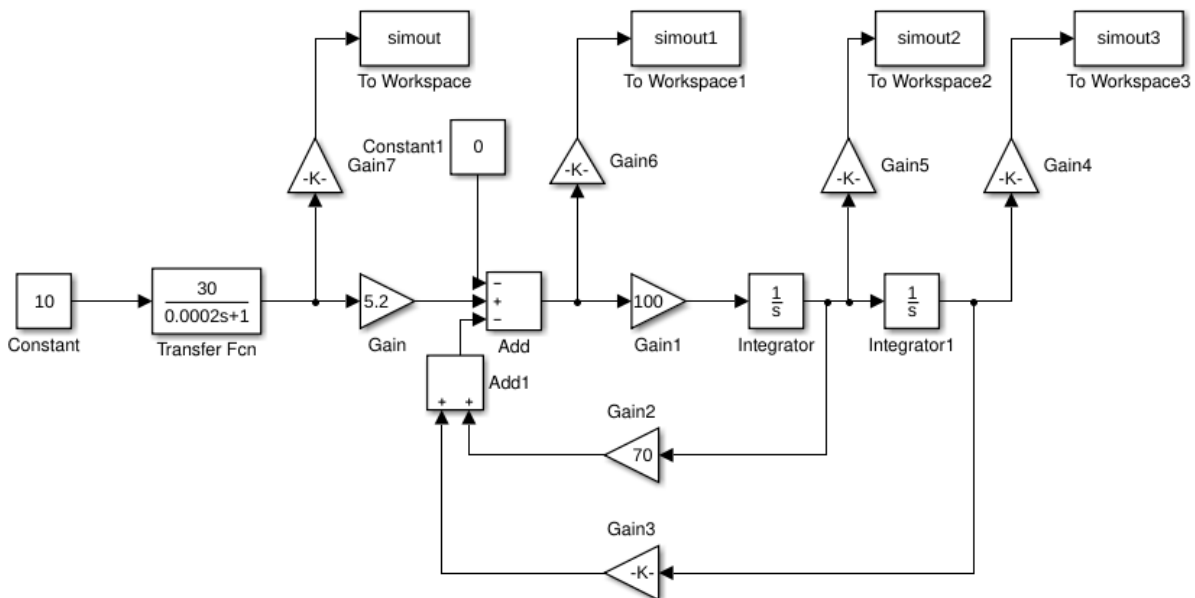


Рисунок 3 – Схема моделирования пьезоэлектрического исполнительного устройства

Выберем коэффициенты K_u^{-1} , K_F , K_V , K_X , чтобы обеспечить соответствие максимального значения измеряемого сигнала уровню 10 В на выходе измерительного устройства:

$$K_u^{-1} = 1/30$$

$$K_F = 0.033$$

$$K_V = 2.71$$

$$K_X = 11497.$$

На рисунках 4 -7 представлены графики переходных процессов при $F_b=0$ и $U=10V$.

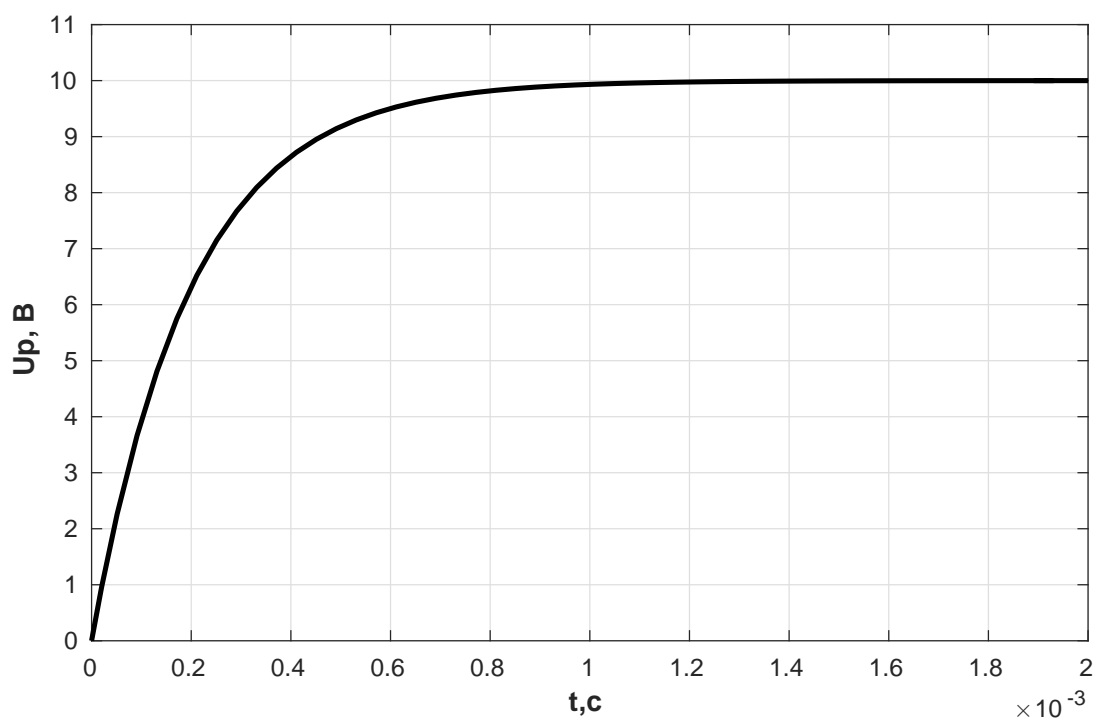


Рисунок 4 – График переходного процесса при $F_B = 0$ и $U = 10$ В

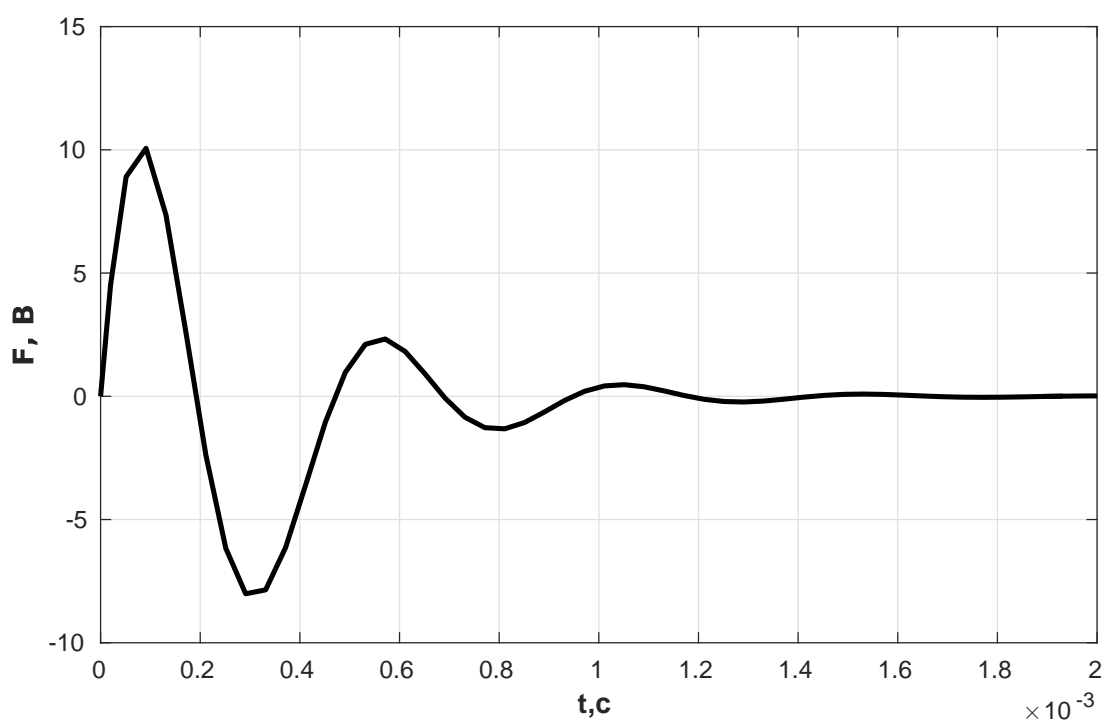


Рисунок 5 – График переходного процесса при $F_B = 0$ и $U = 10$ В

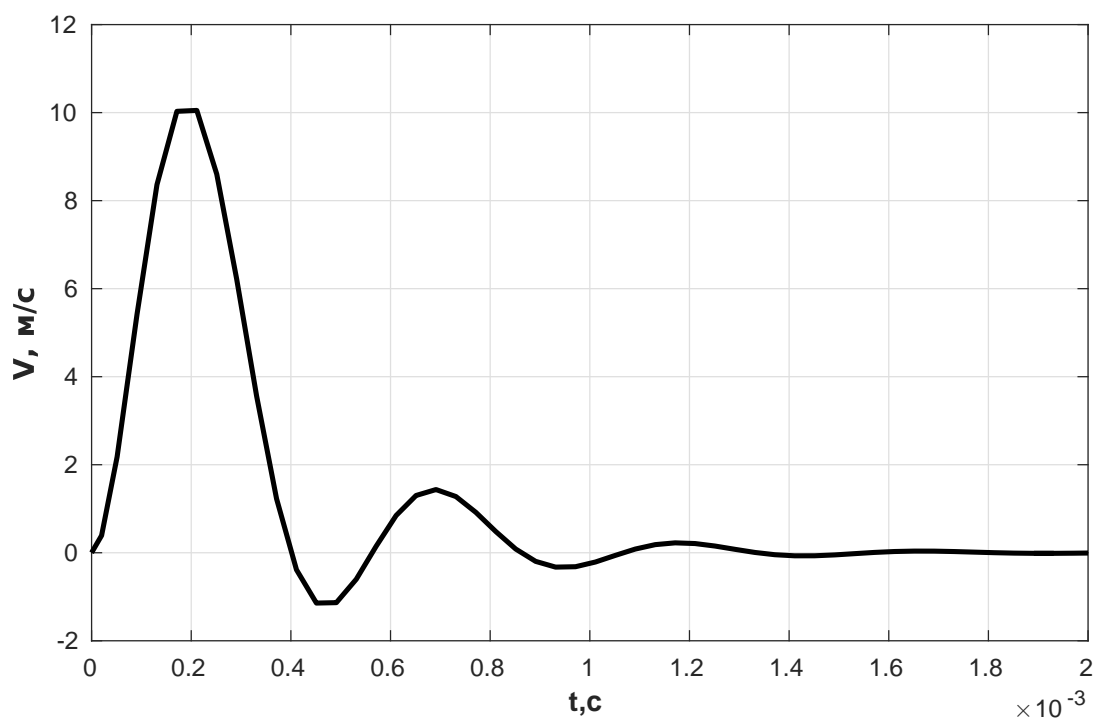


Рисунок 6 – График переходного процесса при $F_B = 0$ и $U = 10$ В

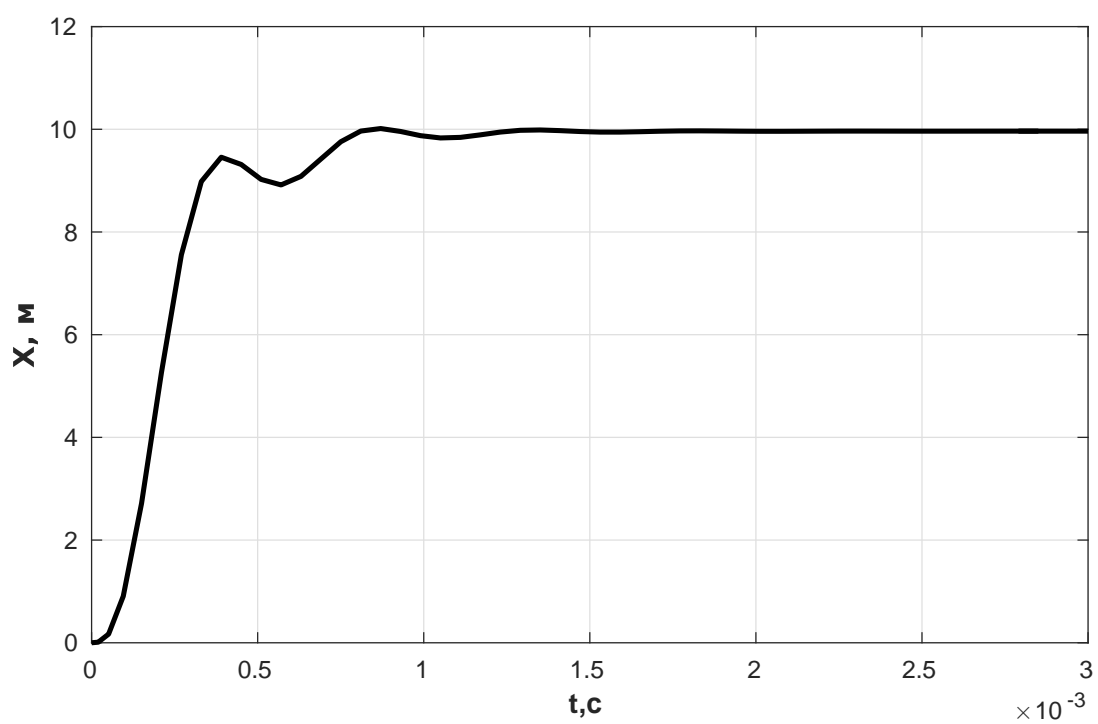


Рисунок 7 – График переходного процесса при $F_B = 0$ и $U = 10$ В

2 Исследование влияния массы нагрузки m на вид переходных процессов

Диапазон изменения массы нагрузки $\pm 50\%$ от заданного значения. Будем изменять значения массы нагрузки в диапазоне от 0,005 до 0,015.

Графики переходных процессов представлены на рисунках 8 - 11.

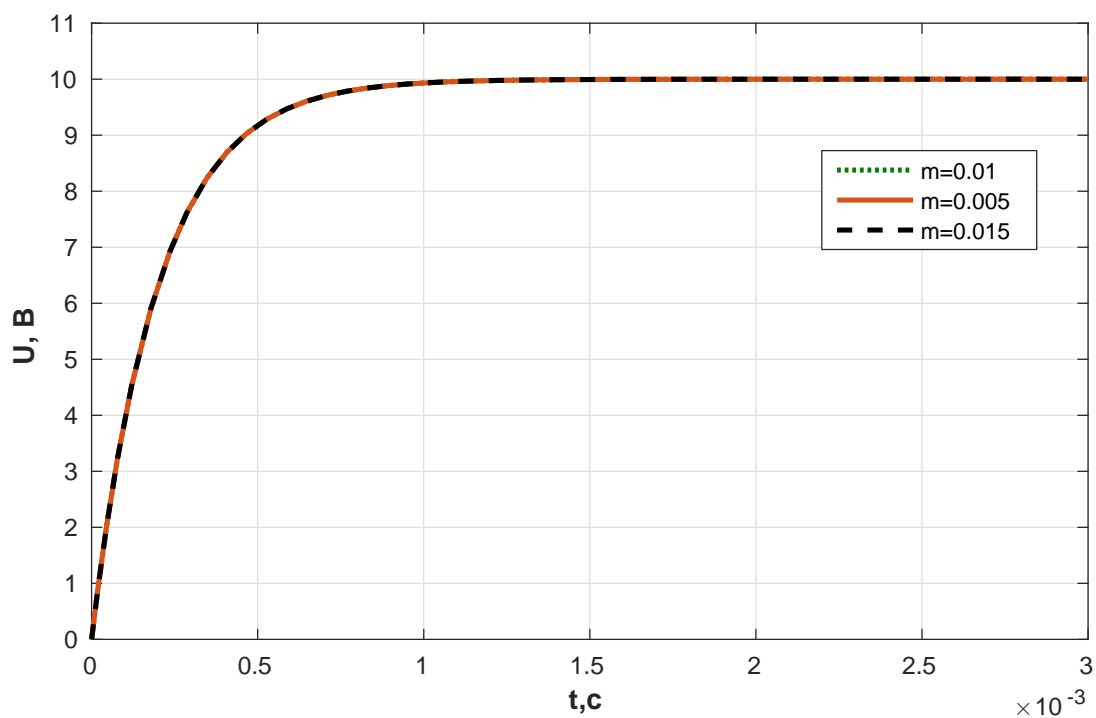


Рисунок 8 – Графики переходных процессов при различных значениях массы нагрузки

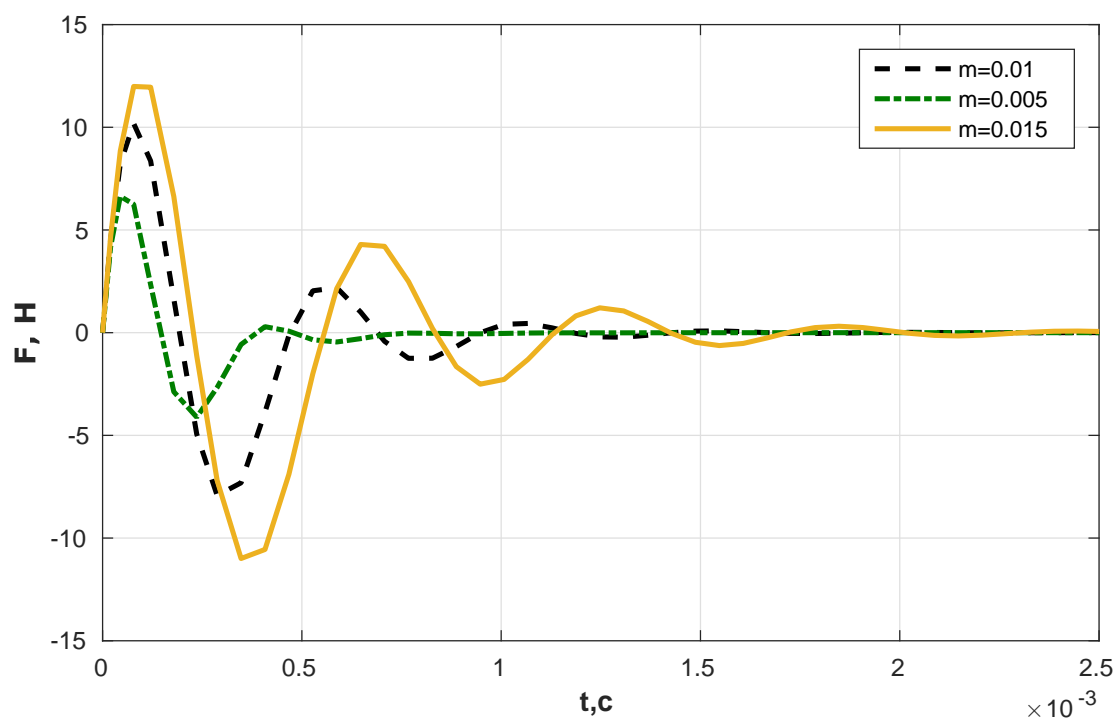


Рисунок 9 – Графики переходных процессов при различных значениях массы нагрузки

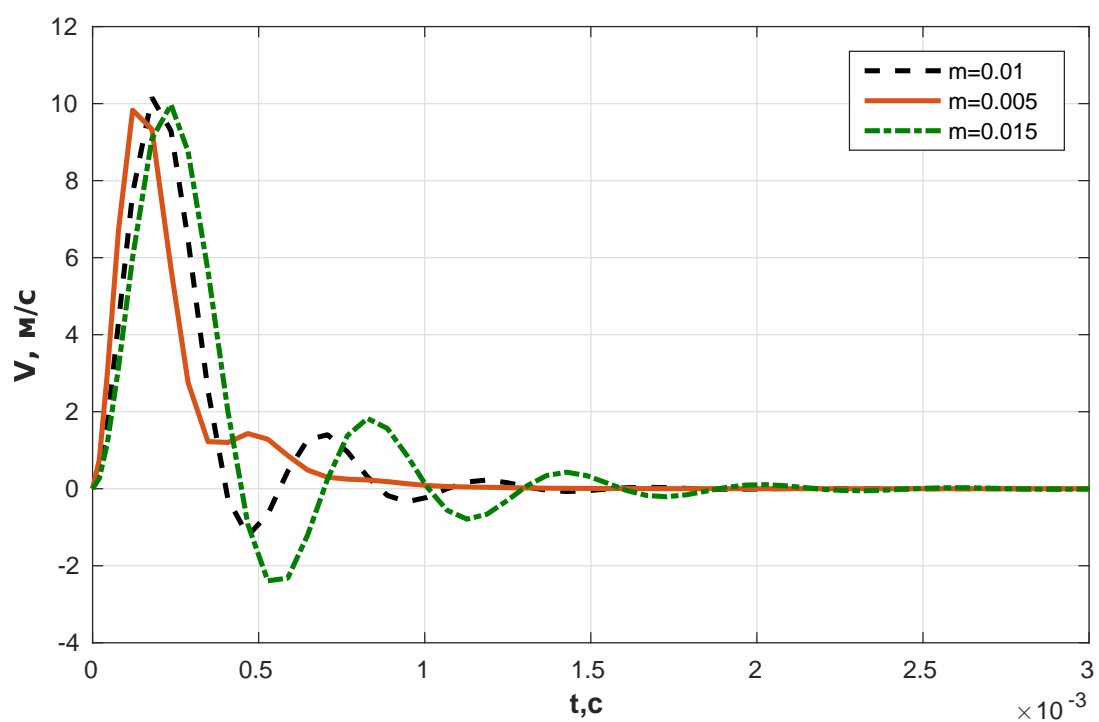


Рисунок 10 – Графики переходных процессов при различных значениях массы нагрузки

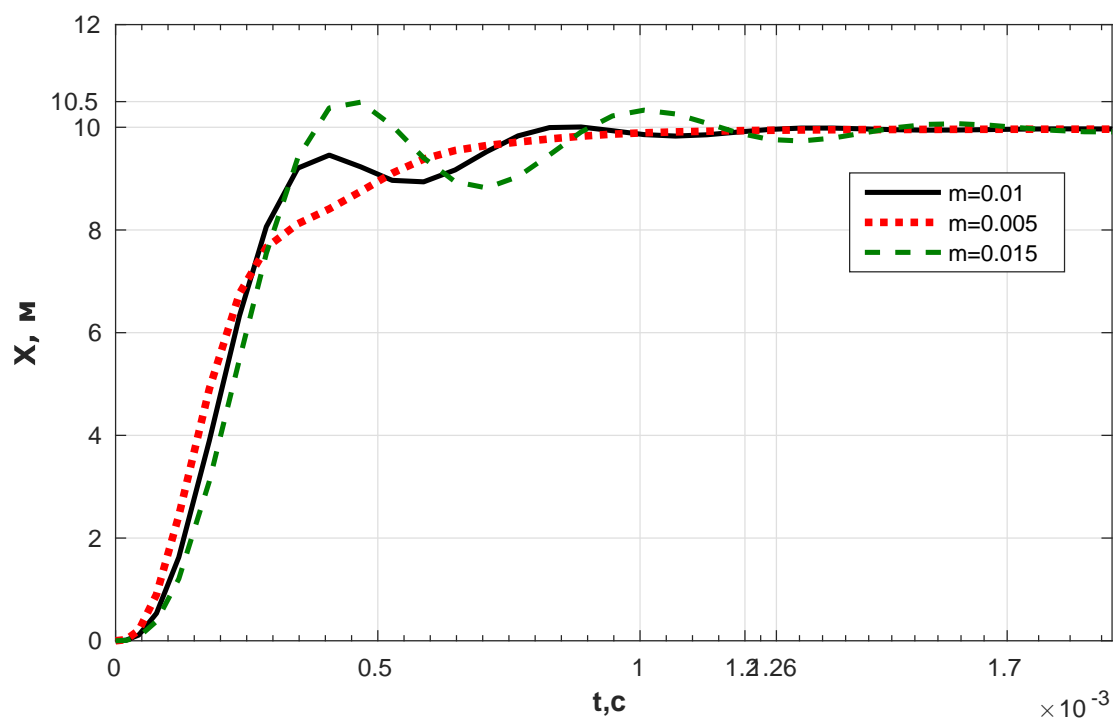


Рисунок 11 – Графики переходных процессов при различных значениях массы нагрузки

По графикам переходных процессов определим время переходного процесса t_p , величину перерегулирования и установившееся значение x_y .

Занесем результаты в таблицу 2.

Таблица 2 –
Характеристики системы
при изменении массы
нагрузки

м, кг	t_p , мс	σ , %	X_y
0.01	1.26	0	10
0.005	1.2	0	10
0.015	1.7	5	10

Величину перерегулирования принято считать по формуле:

$$\sigma = (y_{max} - y_{ном}) / y_{ном} * 100\% \quad (1)$$

3 Исследование влияния T_u на вид переходных процессов

Увеличиваем исходное значение постоянной времени в 2, 4 и 6 раз. На рисунках 12 - 15 представлены графики переходных процессов для различных значений постоянной времени T_u .

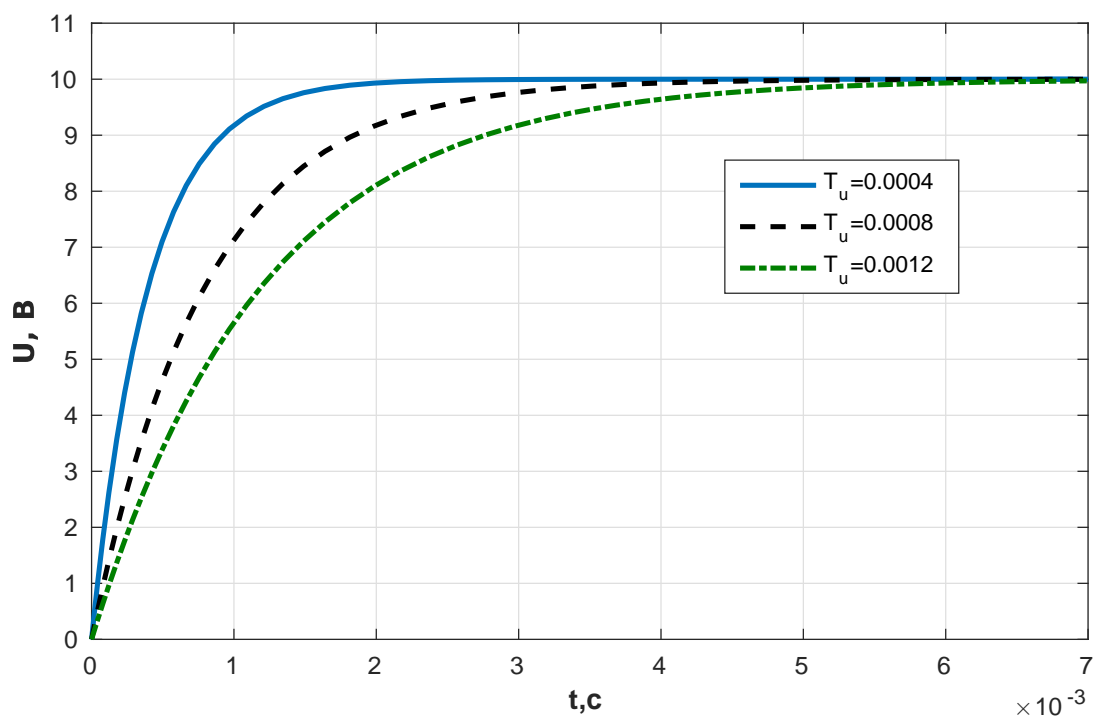


Рисунок 12 – Графики переходных процессов при различных значениях T_u

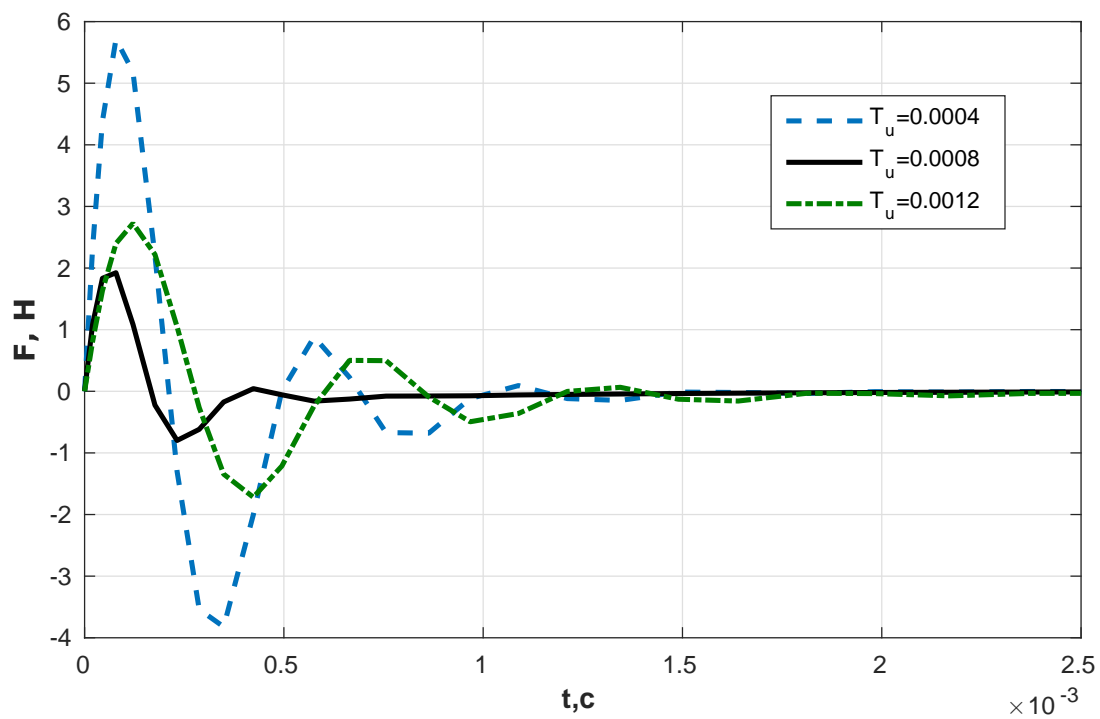


Рисунок 13 – Графики переходных процессов при различных значениях T_u

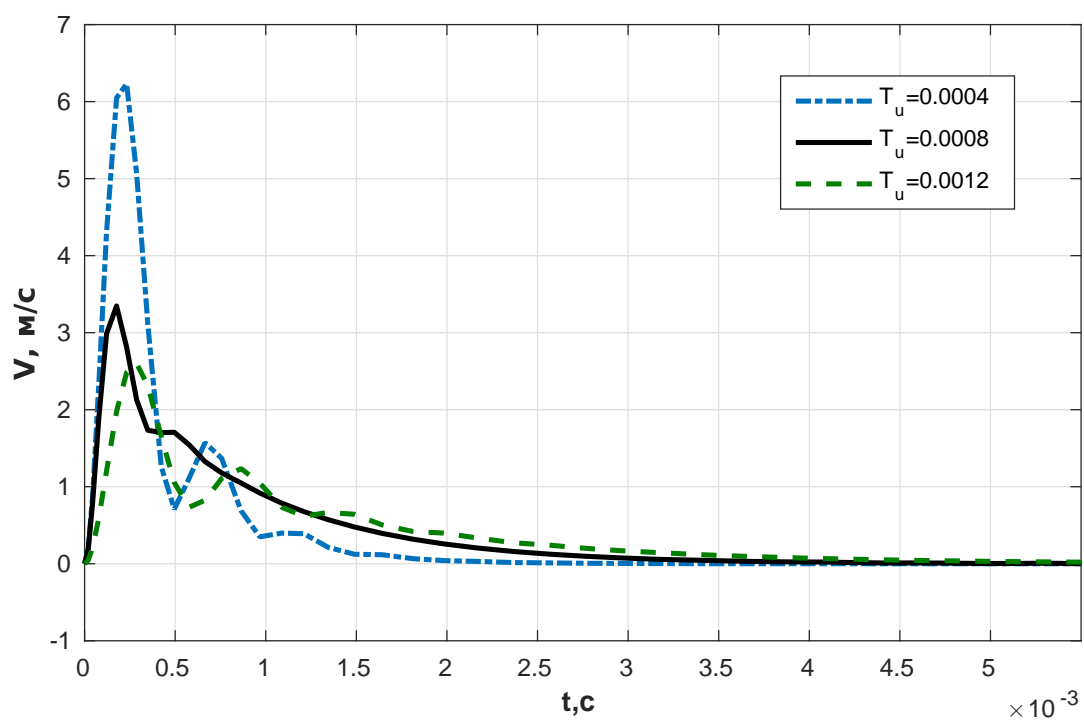


Рисунок 14 – Графики переходных процессов при различных значениях T_u

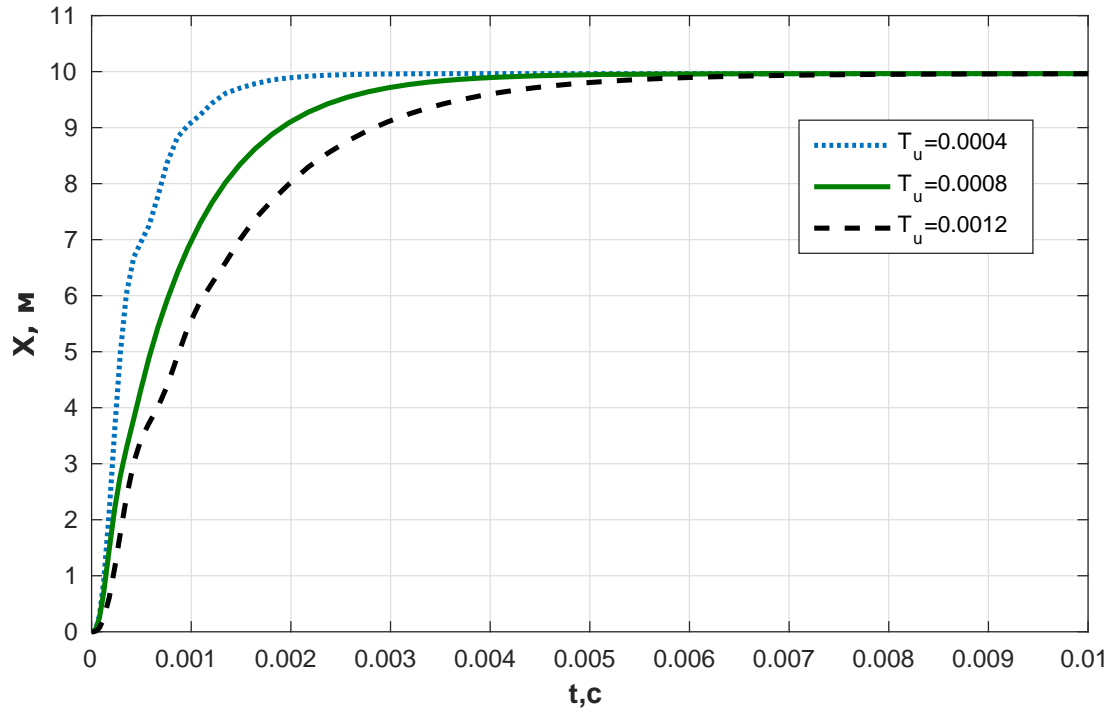


Рисунок 15 – Графики переходных процессов при различных значениях T_u

По графикам переходных процессов определим время переходного процесса t_p , величину перерегулирования и установившееся значение x_y .

Необходимо составить передаточную функцию, чтобы рассчитать значения корней характеристического уравнения. Математическая модель может быть получена на основе уравнения баланса сил в пьезодвигателе:

$$F_y = F_O + F_D + F_d + F_B, \quad (2)$$

где $F_y = C_p x$ — усилие упругой деформации ПД, $F_O = K_O U_p$ — усилие, вызванное обратным пьезоэффектом, $F_D = -m \frac{d^2 x}{dt^2}$ — динамическое усилие в ПД, $F_d = -K_d \frac{dx}{dt}$ — демпфирующее усилие, обусловленное механическими потерями, F_B — внешнее воздействие, x — перемещение, C_p — коэффициент упругости, K_O — коэффициент обратного пьезоэффекта, U_p — напряжение на электродах ПД, m — масса перемещаемой нагрузки, K_d — коэффициент демпфирования.

Подставив перечисленные равенства в уравнение (2), получим:

$$m\ddot{x} + K_d\dot{x} + C_p x = K_O U_p + F_B \quad (3)$$

Составленная по уравнению (3) передаточная функция будет выглядеть следующим образом:

$$W_{ВУ}(s) = \frac{K_O U_p + F_B}{ms^2 + K_d s + C_p} \quad (4)$$

Управление ПД осуществляется от высоковольтного усилителя, который, в нашем случае, описывается аperiодическим звеном первого порядка:

$$W(s) = \frac{K_u}{T_u s + 1} \quad (5)$$

Исходя из того, что ВУ и ПД соединены последовательно, имеем передаточную следующую функцию:

$$W(s) = \frac{K_u(K_O U_p + F_B)}{(T_u s + 1)(ms^2 + K_d s + C_p)} \quad (6)$$

Найдем корни характеристического уравнения для всех сочетаний параметров и запишем все результаты в таблицу 3.

Таблица 3 – Характеристики системы при изменении постоянной времени

T_u	тп, с	$\sigma, \%$	X_y	s_1	s_2	s_3
0.0004	0.0025	0	10	-2497.69	-3501.16-i12951	-3501.16+i12951
0.0008	0.004	0	10	-1248.87	-3500.56-i12951	-3500.56+i12951
0.0012	0.006	0	10	-832.59	-3500.37-i12951	-3500.37+i12951

4 Исследование влияния коэффициента упругости C_p на вид переходных процессов

Будем проводить исследования при $0,5C_p = 9 \cdot 10^5$ и $2C_p = 36 \cdot 10^5$. На рисунках 16 - 17 представлены графики переходных процессов при различных значениях коэффициента упругости.

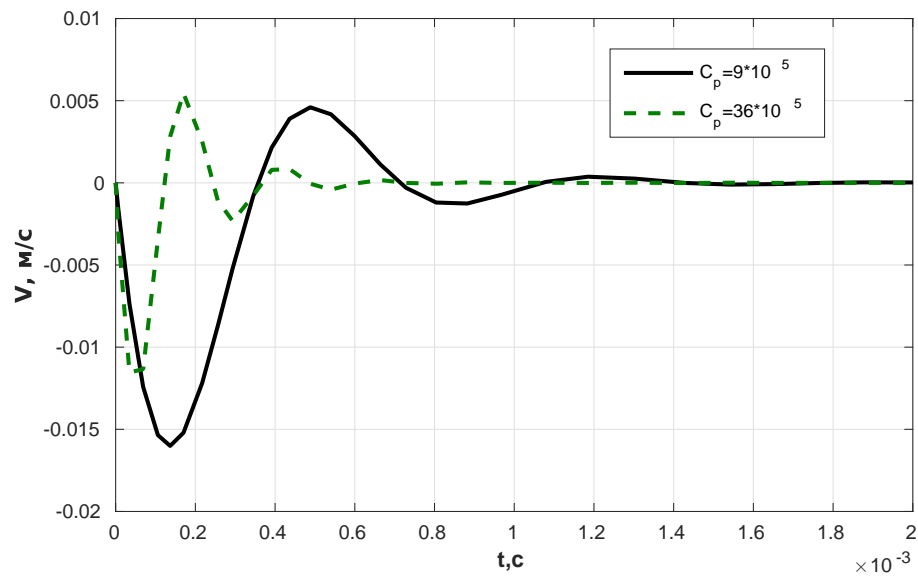


Рисунок 16 – Графики переходных процессов при различных значениях коэффициента упругости

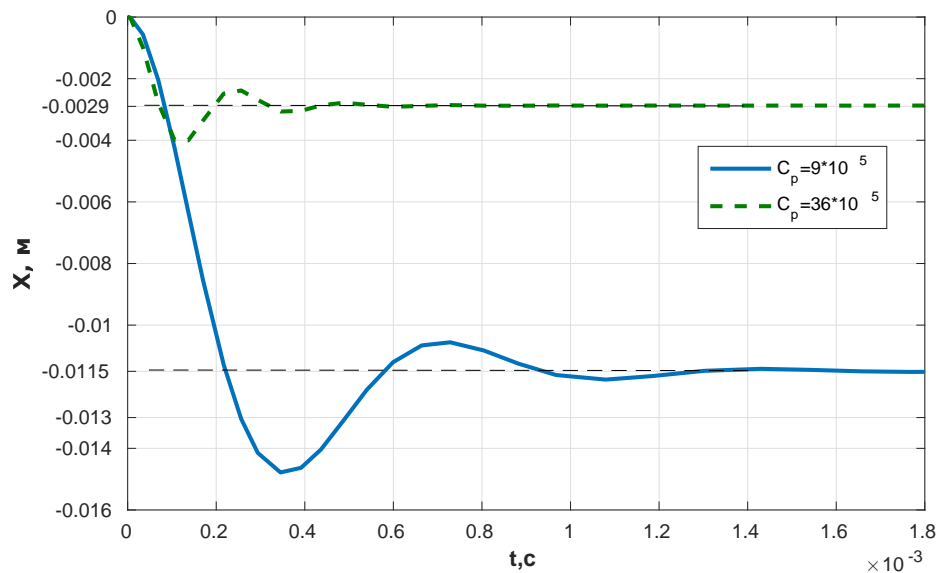


Рисунок 17 – Графики переходных процессов при различных значениях коэффициента упругости

5 Построение асимптотической ЛАЧХ исполнительного устройства

Построим асимптотическую логарифмическую характеристику для нашей системы, описываемой передаточной функцией (4). Попробуем представить ее в виде колебательного звена:

$$W_{\text{кз}}(s) = \frac{\frac{K_0}{C_p}}{\frac{m}{C_p}s^2 + \frac{K_d}{C_p}s + 1}. \quad (7)$$

Асимптотическая ЛАЧХ будет иметь нулевой наклон на уровне

$$20 \lg \frac{K_0}{C_p} = 20 \lg \frac{5,2}{1,8 \cdot 10^6} = -110,79 \text{ дБ} \quad (8)$$

до сопрягающей частоты

$$\omega_c = \sqrt{\frac{C_p}{m}} = \sqrt{\frac{1,8 \cdot 10^6}{0,01}} = 1,3 \cdot 10^4 \text{ рад/с}. \quad (9)$$

После сопрягающей частоты график пойдёт под наклоном в -40 дБ/дек.

Исходя из этих утверждений асимптотическая ЛАЧХ будет выглядеть как показано на рисунке 18.

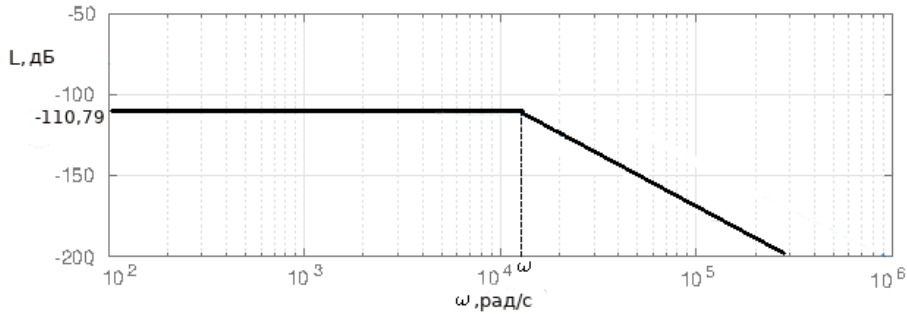


Рисунок 18 – Асимптотическая ЛАЧХ исполнительного устройства

Вывод

В ходе проведения данной лабораторной работы были исследованы характеристики исполнительного устройства (на основе пьезоэлектрического двигателя) их математические модели.

Были выявлены следующие закономерности при изменении постоянной времени, массы нагрузки и коэффициента упругости.

При увеличении значений массы нагрузки- увеличиваются значения максимального перемещения и значения сил. При увеличении постоянной времени - уменьшаются значения силы, скорости. При увеличении коэффициента упругости - увеличиваются максимальные значения скорости и перемещения.

Так же были определены: время переходного процесса, величина перерегулирования и установившееся значение перемещения.