

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ»
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Институт № 2 «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические
установки»
Кафедра 202 «Ракетные двигатели»

КУРСОВАЯ РАБОТА
по дисциплине «Автоматика и регулирование ЖРДУ»

Анализ динамики процессов в гидромагистрали с учетом внешних колебаний
и работы демпфера

Выполнил	студент 5 курса	Гунин Филипп
	группы М2О-504С-19	Алексеевич

Проверил	Доктор технических наук	Мартirosов Давид
	Профессор	Суренович

Москва 2023

СОДЕРЖАНИЕ

1	ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ	3
1.1	Задание	3
1.2	Исходные данные	4
2	РЕШЕНИЕ	5
2.1	Решение стационарной задачи	5
2.2	Решение динамической задачи с демпфером	6
2.2.1	Определение математической модели	6
2.2.2	Определение АЧХ системы	11
2.3	Решение динамической задачи без демпфера	14
2.3.1	Определение математической модели	14
2.3.2	Определение АЧХ системы	17
3	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	19
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	20
	ПРИЛОЖЕНИЕ	22

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дана расчетная схема гидромагистральной системы, представленная на рисунке 1.1. Гидромагистраль представляет собой три трубопровода, по которым течет жидкость, и соединяющую их полость с установленным в ней демпфером. За демпфер принимается полость с газом, отделенным от жидкости идеальной мембраной.

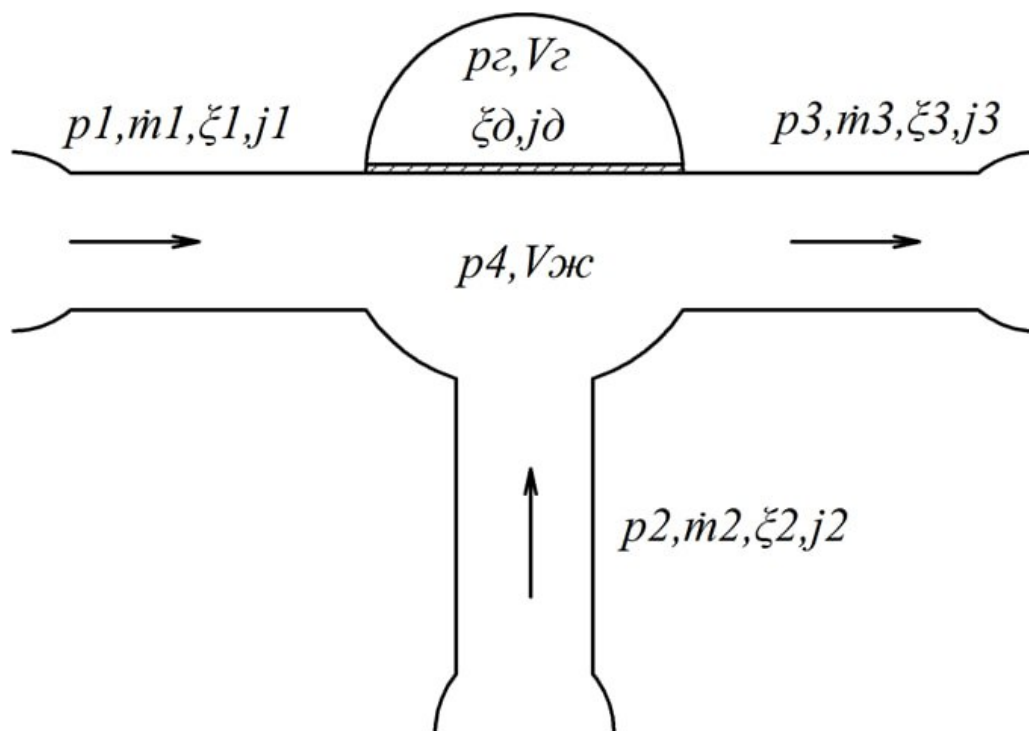


Рис. 1.1 – Расчетная схема гидромагистральной системы

1.1 Задание

Необходимо составить математическую модель работы гидромагистральной системы, и на ее основе решить следующие задачи:

- а) задавшись возмущением p_2 , изучить его влияние в гидромагистральной системе с демпфером на величины p_4 , V_d , \dot{m}_1 , \dot{m}_2 , \dot{m}_3 и \dot{m}_d ;
- б) задавшись возмущением p_2 , изучить его влияние в гидромагистральной системе без демпфера на величины p_4 , V_d , \dot{m}_1 , \dot{m}_2 , \dot{m}_3 и \dot{m}_d ;
- в) построить амплитудно-частотную характеристику $W = \frac{p_4}{p_2}$.

1.2 Исходные данные

Исходные данные представлены в таблице 1.1, а в таблице 1.2 представлены значения параметров системы.

Таблица 1.1 – Исходные установки

Параметр	Значение
Рабочая жидкость	Керосин
Демпфирующий газ	Гелий
Возмущение	Импульсное

Таблица 1.2 – Параметры системы

Группа параметров	Параметр	Значение	Размерность
Давления в трубопроводах	p_1	0.4	МПа
	p_{2_0}	0.3	
	p_3	0.1	
Коэффициенты инерционности	$j_{1,2,3}$	400	$\frac{1}{\text{м}}$
	j_d	20	
Коэффициенты гидросопротивления	$\xi_{1,2,3,d}$	1000	$\frac{1}{\text{кг}\cdot\text{м}}$
Объём проточной области	$V_{ж_0}$	0.004	м^3
Объём газа	$V_{г_0}$	0.003	м^3
Температура газа	$T_{г_0}$	293	К

2 РЕШЕНИЕ

2.1 Решение стационарной задачи

Для решения динамической задачи необходимо получить некоторые параметры потока на стационарном режиме. Для этого нужно решить стационарную задачу. Запишем её в виде системы уравнений

$$\begin{cases} \dot{m}_{1_0} + \dot{m}_{2_0} - \dot{m}_{3_0} = 0, \\ p_{4_0} - p_{\Gamma_0} = 0, \\ p_{1_0} - p_{4_0} - \xi_1 \dot{m}_{1_0}^2 = 0, \\ p_2 - p_{4_0} - \xi_2 \dot{m}_{2_0}^2 = 0, \\ p_{4_0} - p_3 - \xi_3 \dot{m}_{3_0}^2 = 0. \end{cases} \quad (2.1)$$

Решив систему уравнений, получим

$$\begin{cases} \dot{m}_{1_0} = 10.515, \\ \dot{m}_{2_0} = 3.249, \\ \dot{m}_{3_0} = 13.764, \\ p_{4_0} = 289442.719, \\ p_{\Gamma_0} = 289442.719. \end{cases} \quad (2.2)$$

Посчитаем массу газа по уравнению состояния. Запишем уравнение состояния газа

$$\rho_{\Gamma} = \frac{p_{\Gamma_0}}{R_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma}} = 0.476, \quad (2.3)$$

где $R_{\Gamma} = \frac{R}{M_{\Gamma}} = \frac{8.314}{0.004026} = 2077.149$, а масса газа тогда будет равна

$$m_{\Gamma} = \rho_{\Gamma} \cdot V_{\Gamma_0} = 0.001 \text{ кг}. \quad (2.4)$$

Решение стационарной задачи было произведено численным методом. Программный код расчета, написанный на языке программирования python, представлен в приложении.

2.2 Решение динамической задачи с демпфером

2.2.1 Определение математической модели

Запишем математическую модель для динамической системы с демпфером в виде следующей системы дифференциальных уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} p_4 = \frac{(\dot{m}_1 + \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_d)}{\frac{V_{ж0} + V_d}{c^2}}, \\ \frac{d}{dt} V_d = \frac{\dot{m}_d}{\rho_{ж}}, \\ \frac{d}{dt} m_d = \frac{\left[p_4 - \frac{m_r}{V_{r0} - V_d} \cdot R \cdot \left[T_{r0} \cdot \left(\frac{p_4}{p_{40}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] - \xi_d \cdot \dot{m}_d \cdot |\dot{m}_d| \right]}{j_d}, \\ \frac{d}{dt} m_1 = \frac{(p_1 - p_4 - \xi_1 \cdot \dot{m}_1 \cdot |\dot{m}_1|)}{j_1}, \\ \frac{d}{dt} m_2 = \frac{(p_2 - p_4 - \xi_2 \cdot \dot{m}_2 \cdot |\dot{m}_2|)}{j_2}, \\ \frac{d}{dt} m_3 = \frac{(p_4 - p_3 - \xi_3 \cdot \dot{m}_3 \cdot |\dot{m}_3|)}{j_3}. \end{array} \right. \quad (2.5)$$

Зададим закон импульсного возмущения для давления во второй магистрали p_2 такого вида

$$p_2(t) = \begin{cases} A \sin \left(z(t) - \frac{\pi}{2} \right) + A + x_0 & \text{если } 0 \leq t \leq T, \\ x_0 & \text{если } t > T, \end{cases} \quad (2.6)$$

где $z(t) = 2 \cdot t \cdot \frac{\pi}{T}$, $A = 0.1$ МПа - амплитуда возмущения, $T = 0.1$ секунды - период колебаний, $t = 0..1$ с шагом $h = 10^{-6}$ секунд - временная область, в которой исследуется система.

Подставляя (2.6) в систему дифференциальных уравнений (2.5), решаем ее численным методом во временной области t . По получившимся результатам вычислений строим отображающие переходный процесс графики изменения величин p_4 , V_d , \dot{m}_1 , \dot{m}_2 , \dot{m}_3 и \dot{m}_d от времени t . Графики представлены ниже, а программный код расчета, написанный на языке программирования python, представлен в приложении.

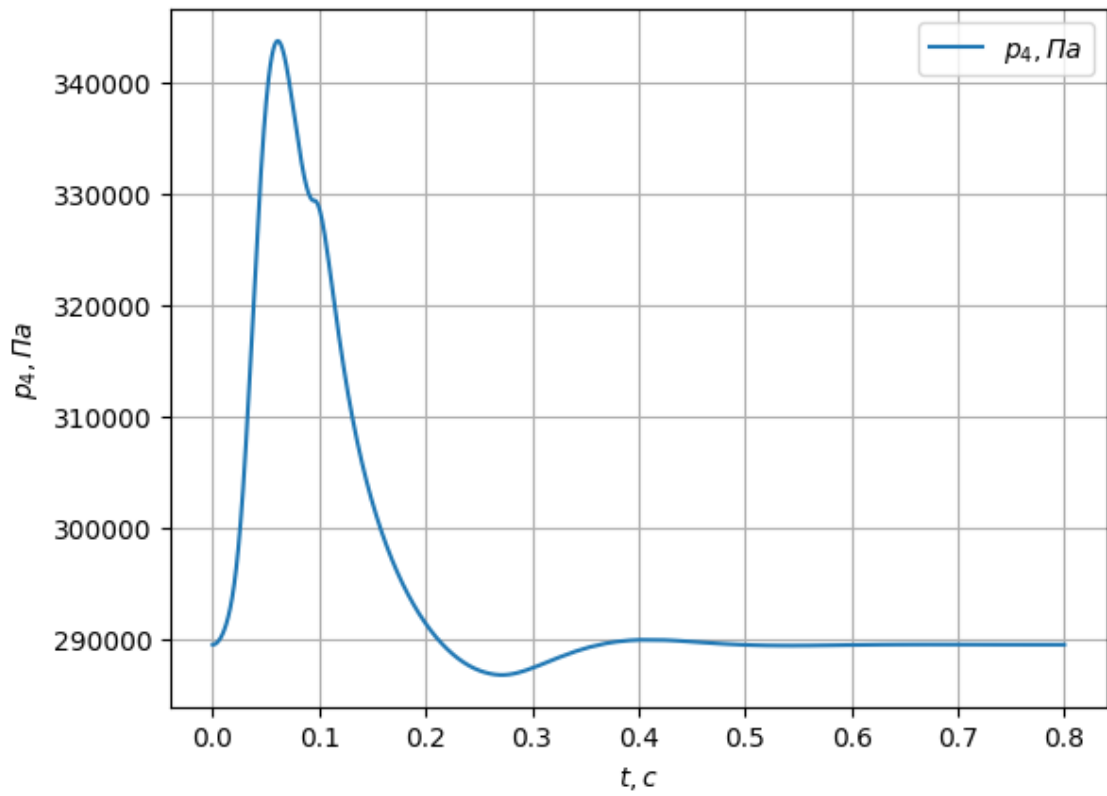


Рис. 2.1 – График зависимости $p_4(t)$

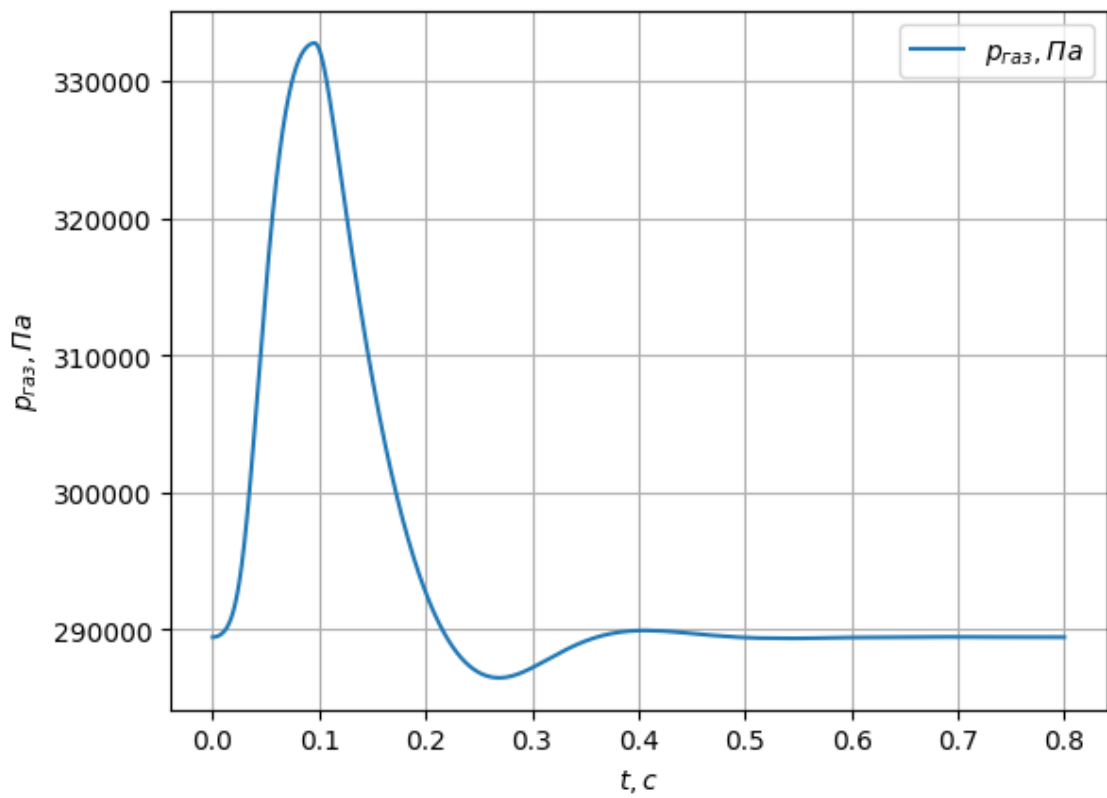


Рис. 2.2 – График зависимости $p_r(t)$

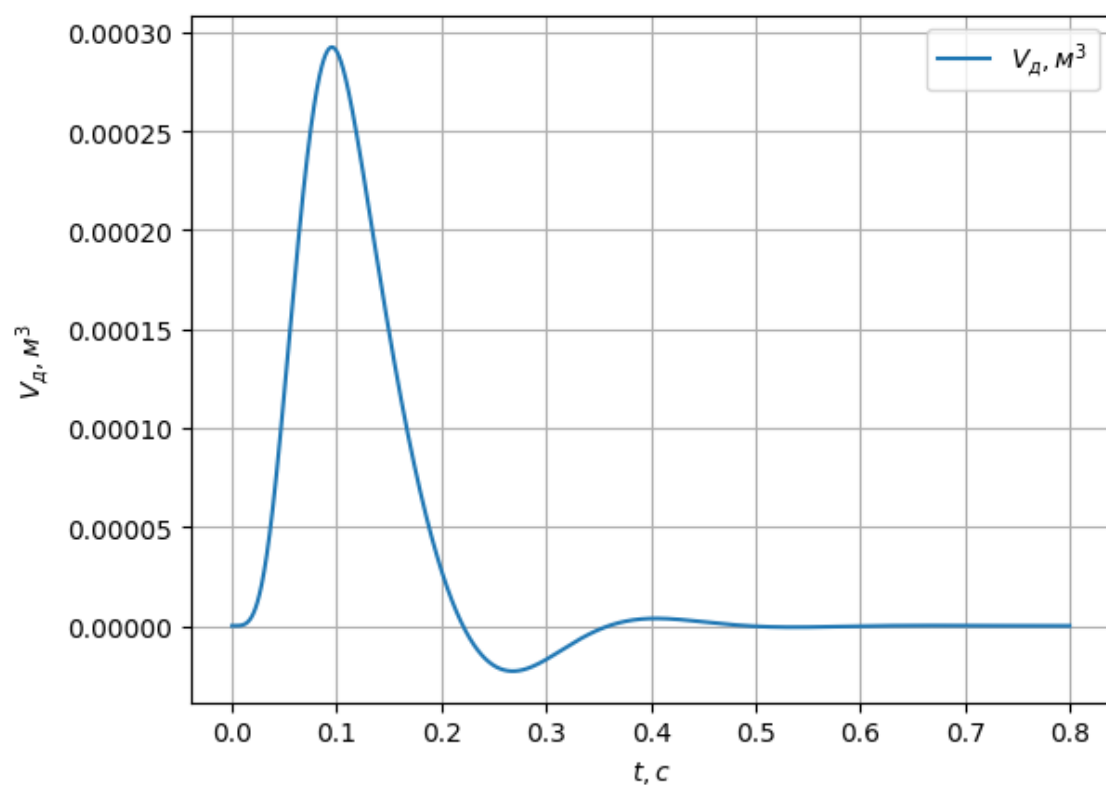


Рис. 2.3 – График зависимости $V_d(t)$

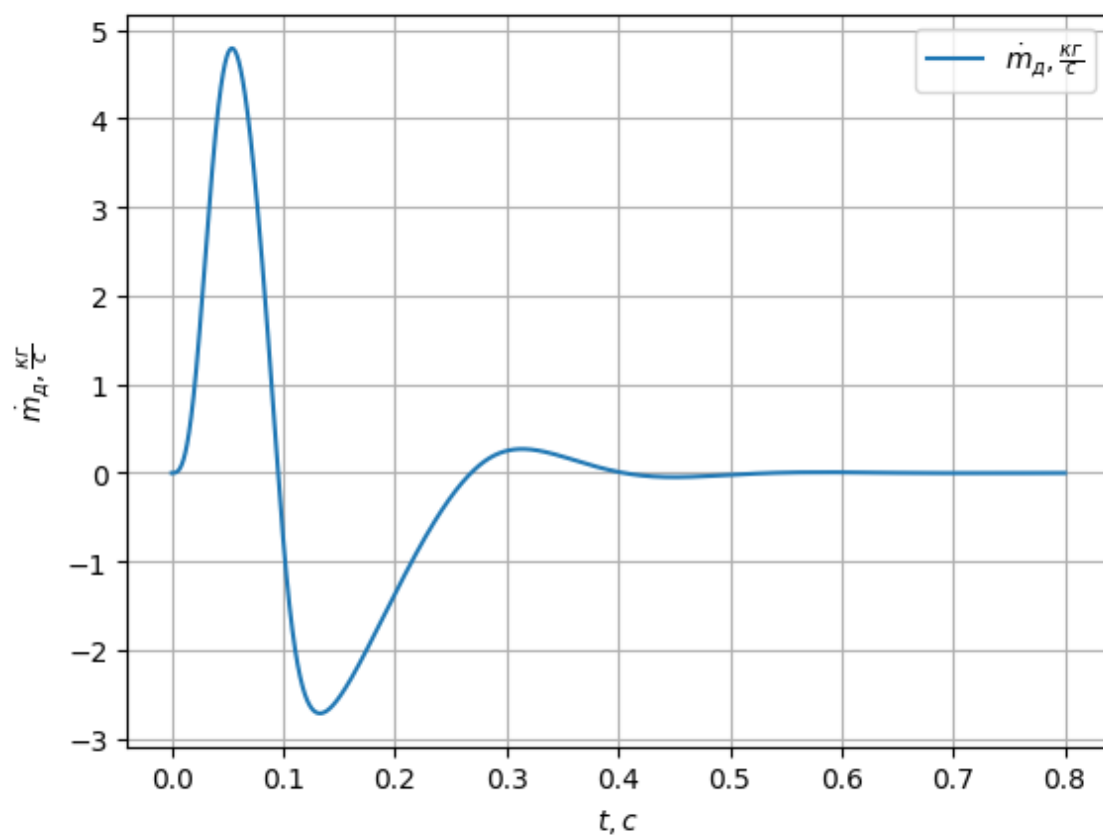


Рис. 2.4 – График зависимости $\dot{m}_d(t)$

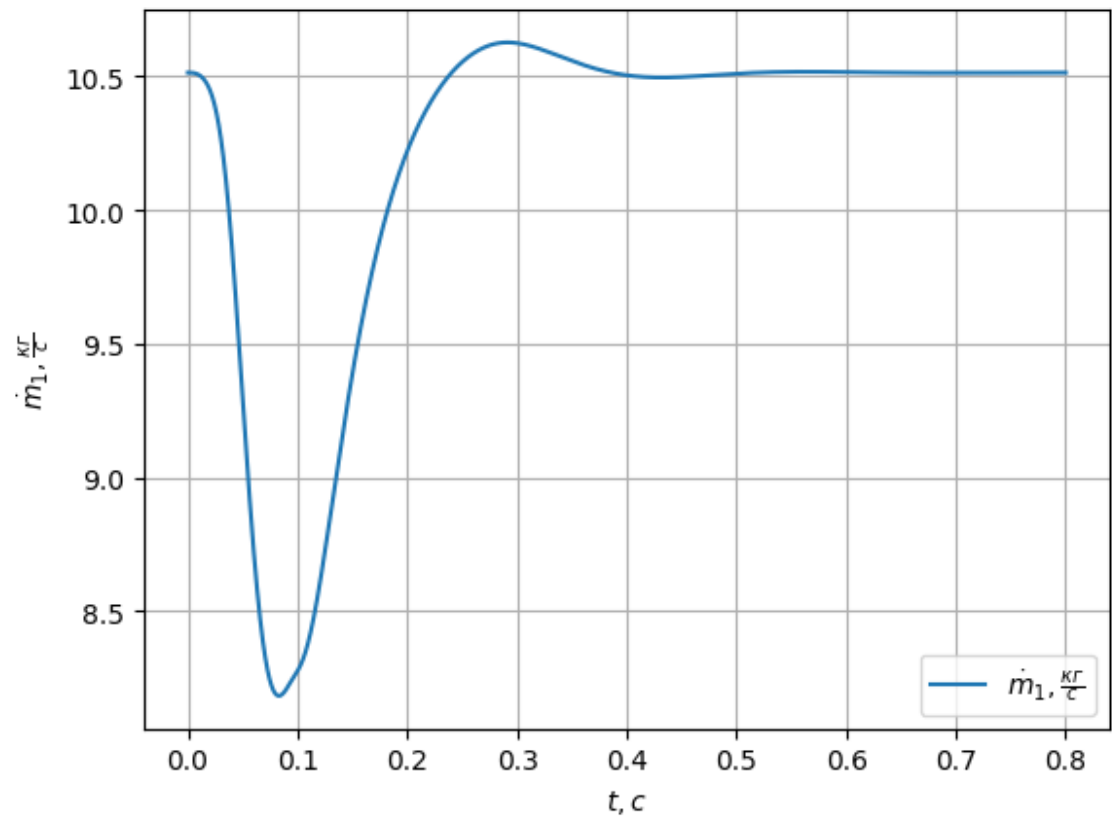


Рис. 2.5 – График зависимости $\dot{m}_1(t)$

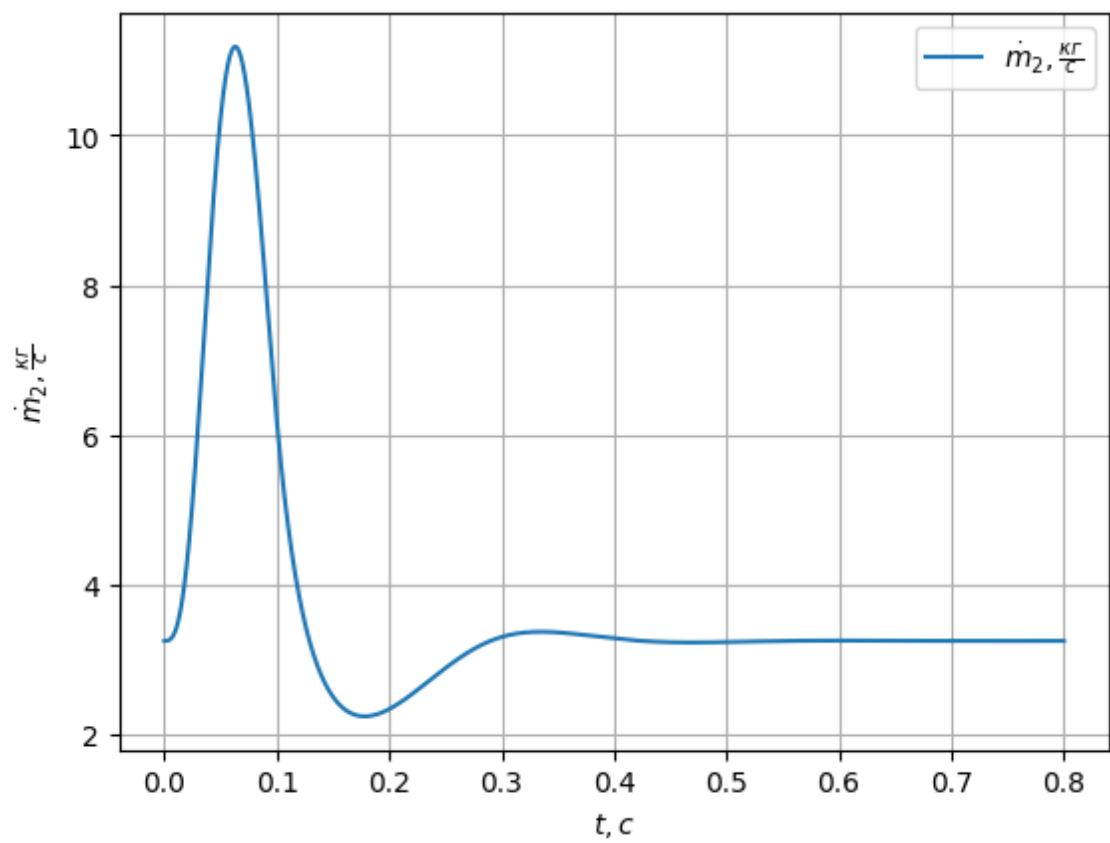


Рис. 2.6 – График зависимости $\dot{m}_2(t)$

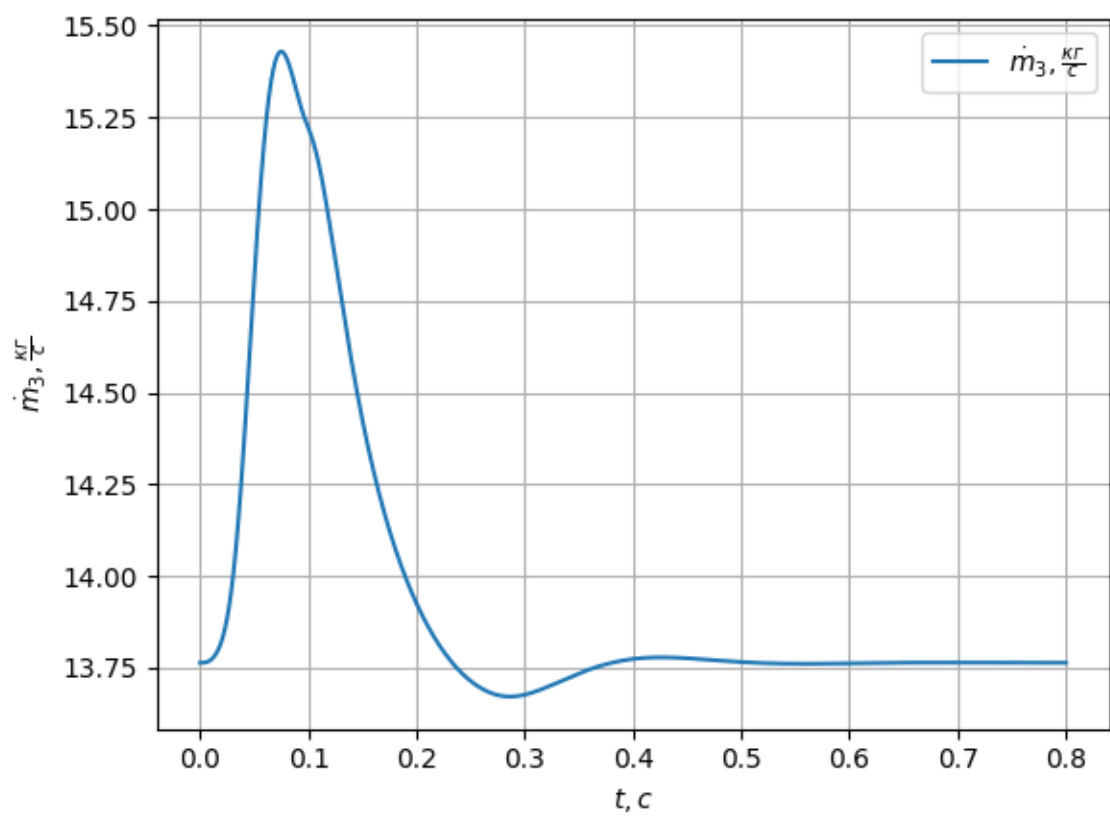


Рис. 2.7 – График зависимости $\dot{m}_3(t)$

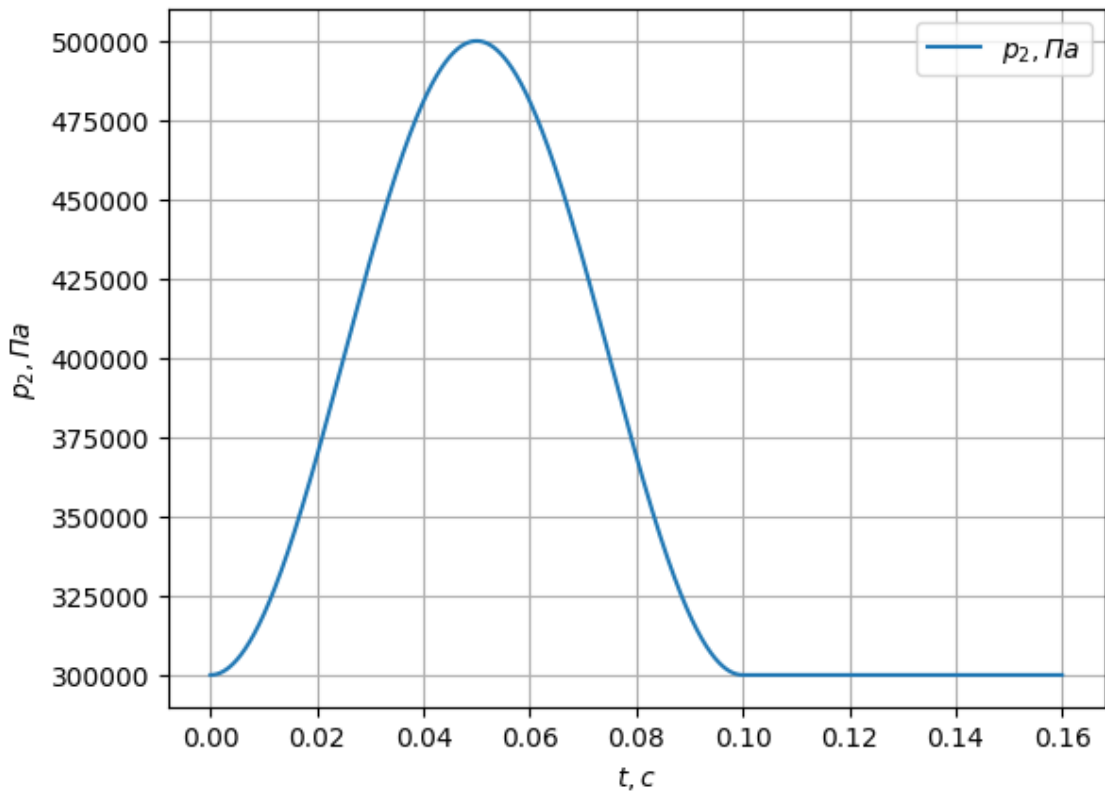


Рис. 2.8 – График зависимости $p_2(t)$

2.2.2 Определение АЧХ системы

Для построения амплитудно-частотной характеристики необходимо знать амплитуду колебаний системы при различных частотах возмущения. Зададим синусоидальное возмущение $p_2(t, f)$ таким образом

$$p_2(t, f) = f \cdot 2\pi \cdot t, \quad (2.7)$$

где f - частота колебаний p_2 .

Тогда АЧХ будем искать в виде

$$АЧХ = \frac{\frac{\max(p_4) - \min(p_4)}{2}}{A}, \quad (2.8)$$

где максимальные и минимальные значения будем искать на установившемся режиме в диапазоне времени от 0.7 до 0.8 секунд.

Подставляя (2.7) в систему уравнений (2.5), находим решения для каждого значения частоты $f = 0..1000$ Гц с увеличивающимся шагом.

График реакции p_4 на синусоидальное возмущение p_2 , заданное в (2.7), при частоте $f = 15$ и возмущения p_2 показаны на рисунке (2.9) и (2.10) соответственно. Амплитудно-частотная характеристика системы показана на рисунке (2.11). Программный код расчета, написанный на языке программирования python, представлен в приложении.

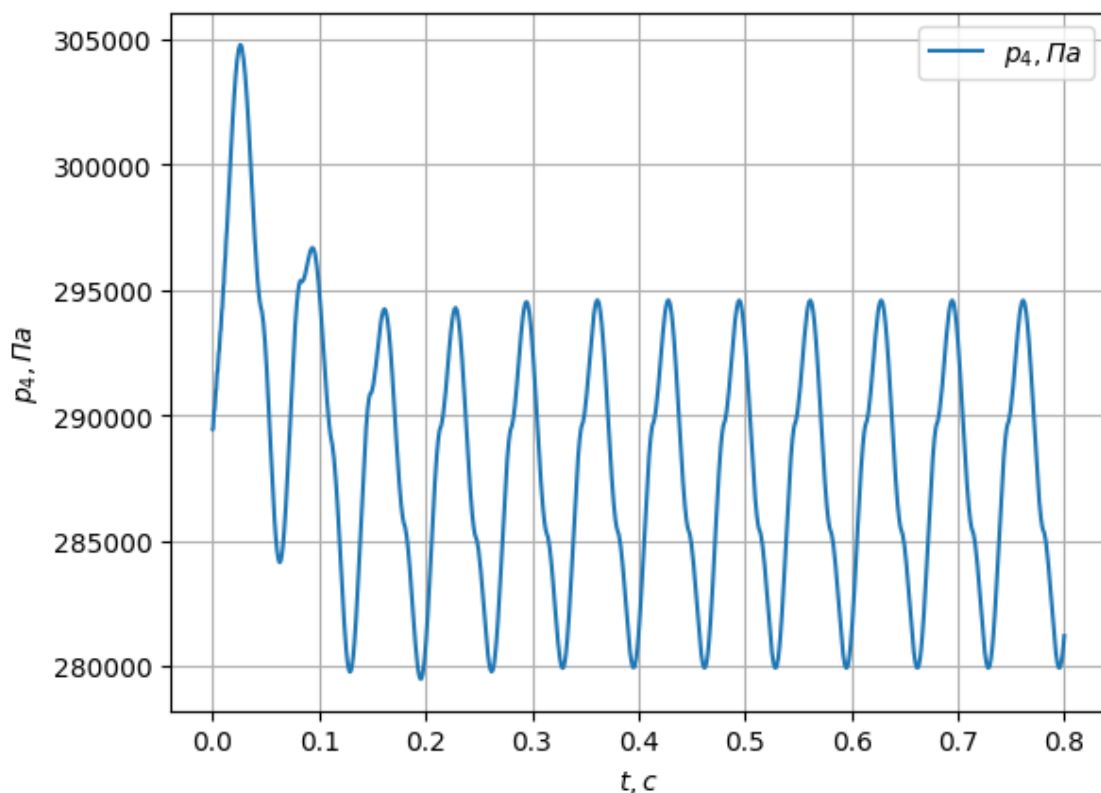


Рис. 2.9 – График зависимости $p_4(t)$ при $f = 15$ Гц

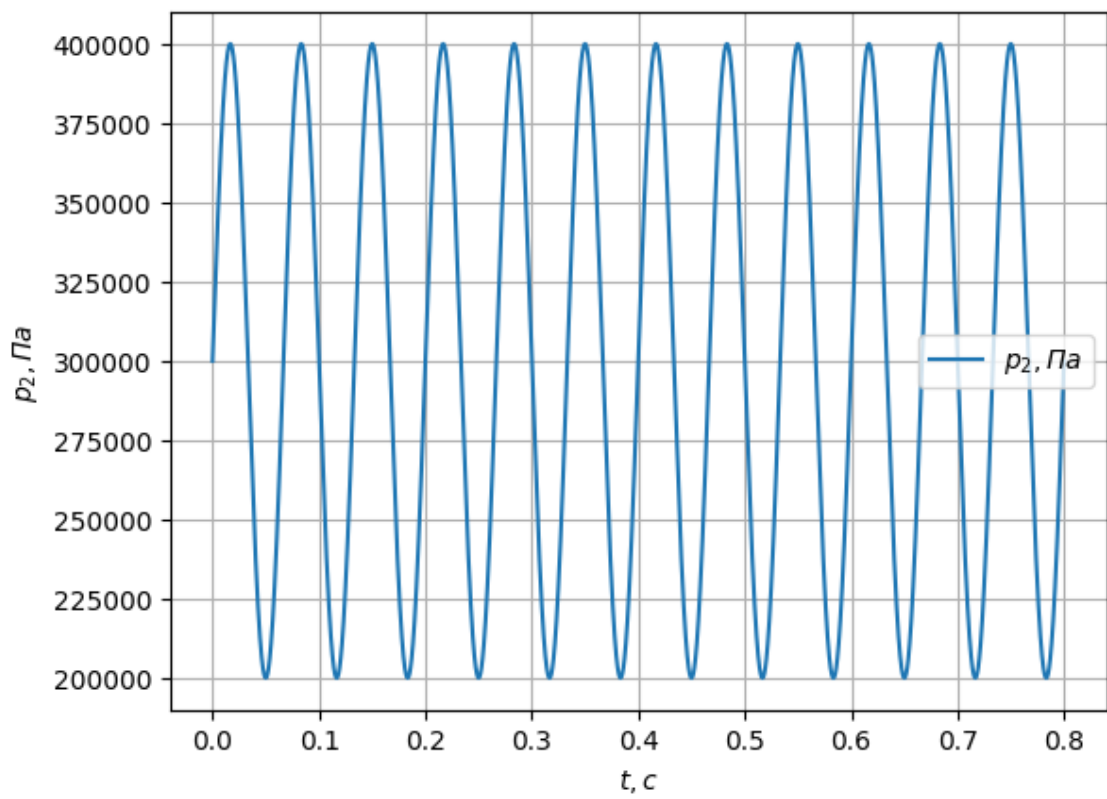


Рис. 2.10 – График зависимости $p_2(t)$ при $f = 15$ Гц

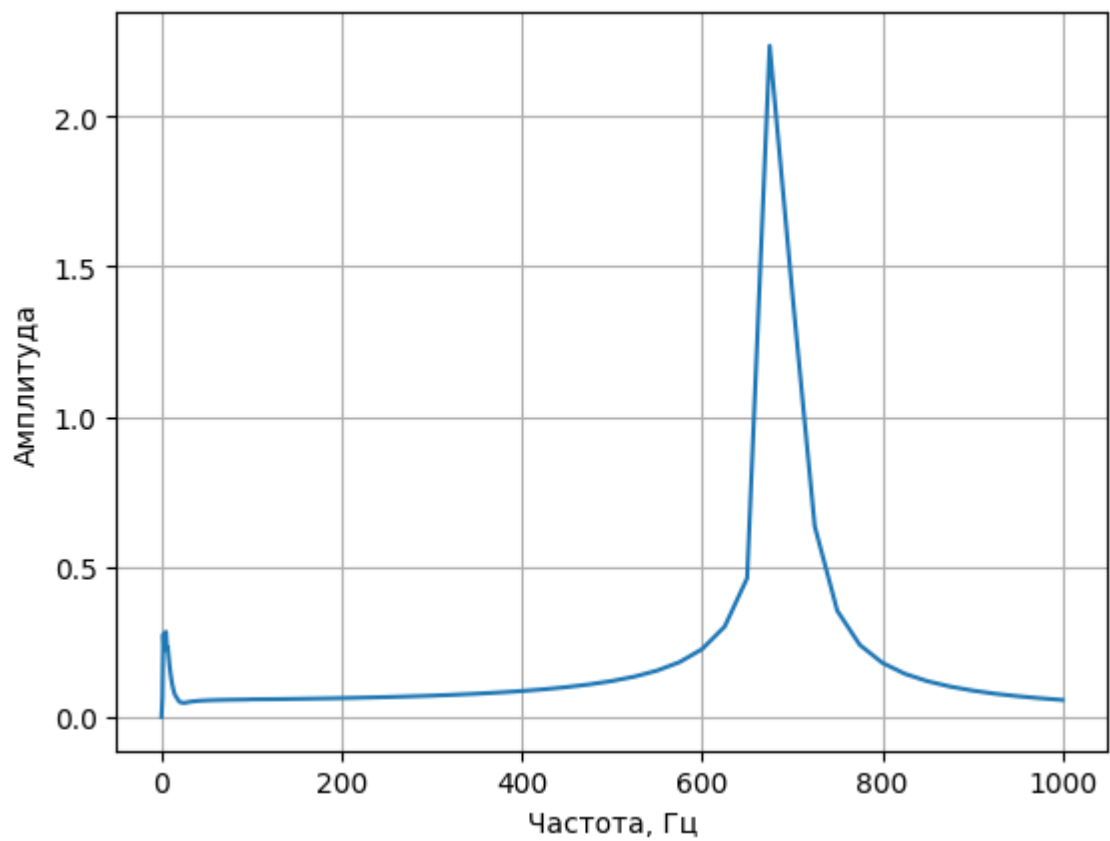


Рис. 2.11 – Амплитудно-частотная характеристика

2.3 Решение динамической задачи без демпфера

2.3.1 Определение математической модели

Запишем математическую модель для динамической системы без демпфера в виде следующей системы дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}p_4 = \frac{(\dot{m}_1 + \dot{m}_2 - \dot{m}_3)}{\frac{V_{ж0}}{c^2}}, \\ \frac{d}{dt}m_1 = \frac{(p_1 - p_4 - \xi_1 \cdot \dot{m}_1 \cdot |\dot{m}_1|)}{j_1}, \\ \frac{d}{dt}m_2 = \frac{(p_2 - p_4 - \xi_2 \cdot \dot{m}_2 \cdot |\dot{m}_2|)}{j_2}, \\ \frac{d}{dt}m_3 = \frac{(p_4 - p_3 - \xi_3 \cdot \dot{m}_3 \cdot |\dot{m}_3|)}{j_3}. \end{cases} \quad (2.9)$$

Зададим закон импульсного возмущения для давления во второй магистрали p_2 такого же вида, как (2.6).

Подставляя (2.6) в систему дифференциальных уравнений (2.9), решаем ее численным методом во временной области t . По получившимся результатам вычислений строим отображающие переходный процесс графики изменения величин p_4 , V_d , \dot{m}_1 , \dot{m}_2 , \dot{m}_3 и \dot{m}_d от времени t . Графики представлены ниже, а программный код расчета, написанный на языке программирования python, представлен в приложении.

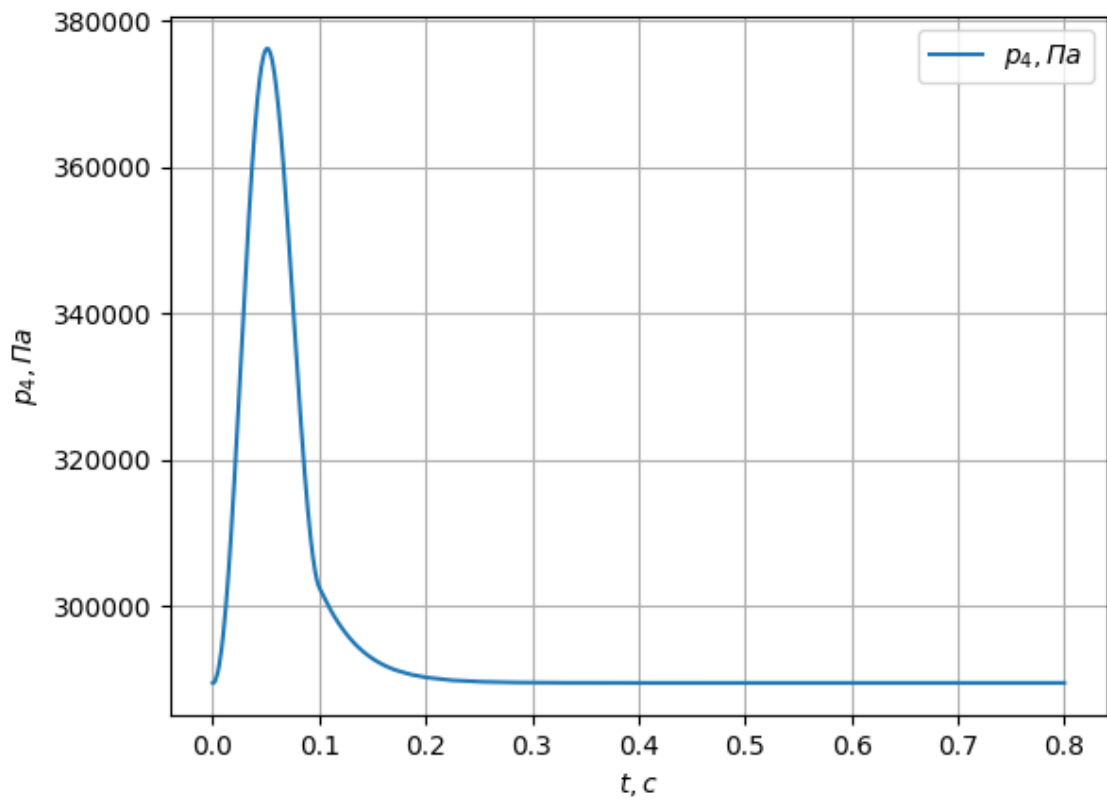


Рис. 2.12 – График зависимости $p_4(t)$

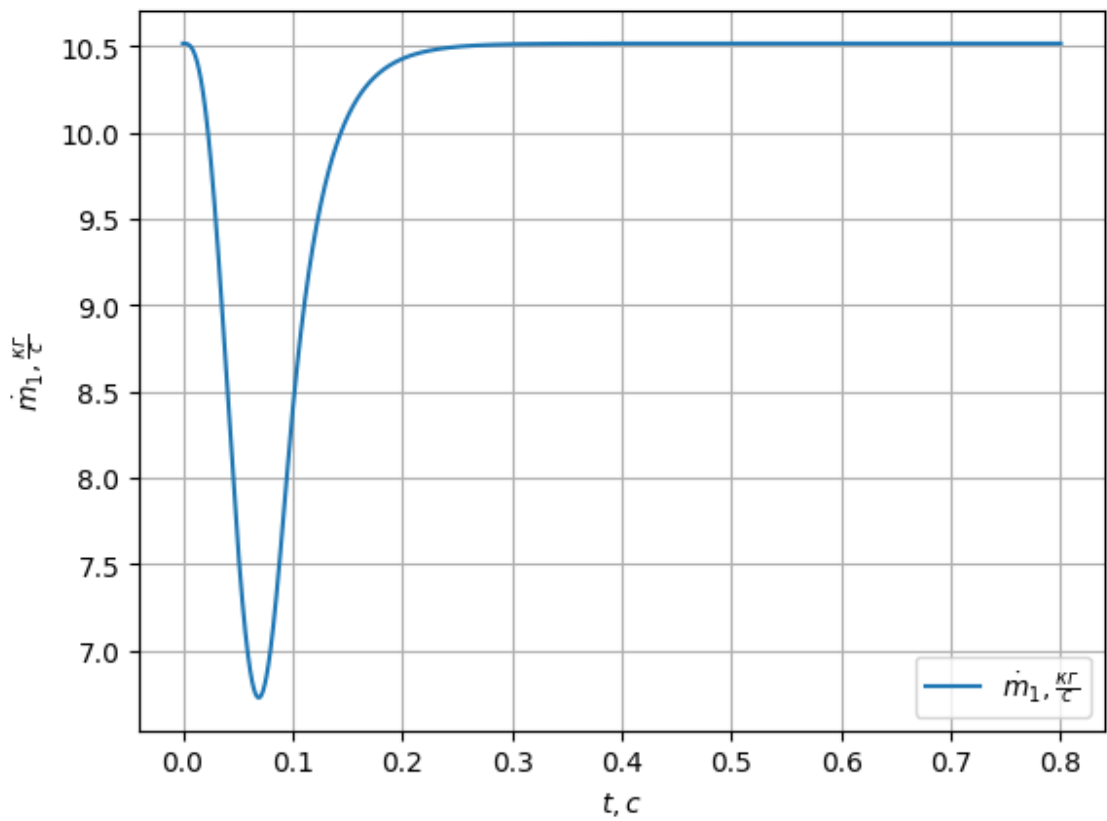


Рис. 2.13 – График зависимости $\dot{m}_1(t)$

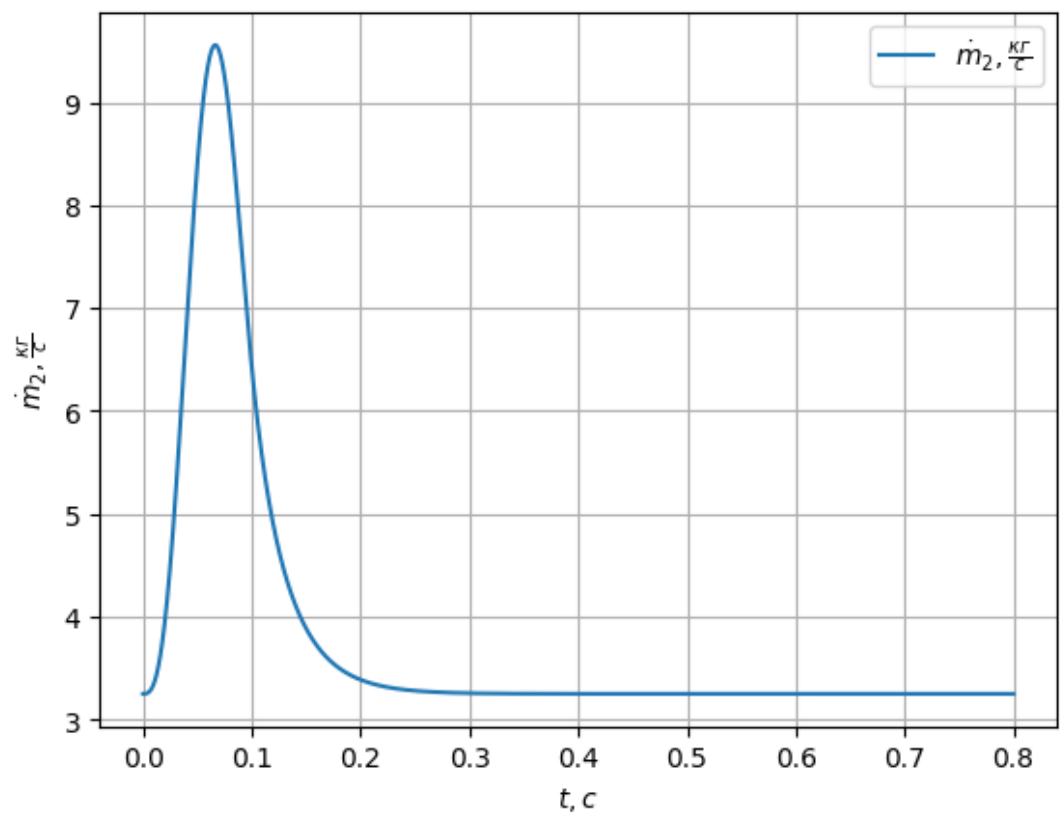


Рис. 2.14 – График зависимости $\dot{m}_2(t)$

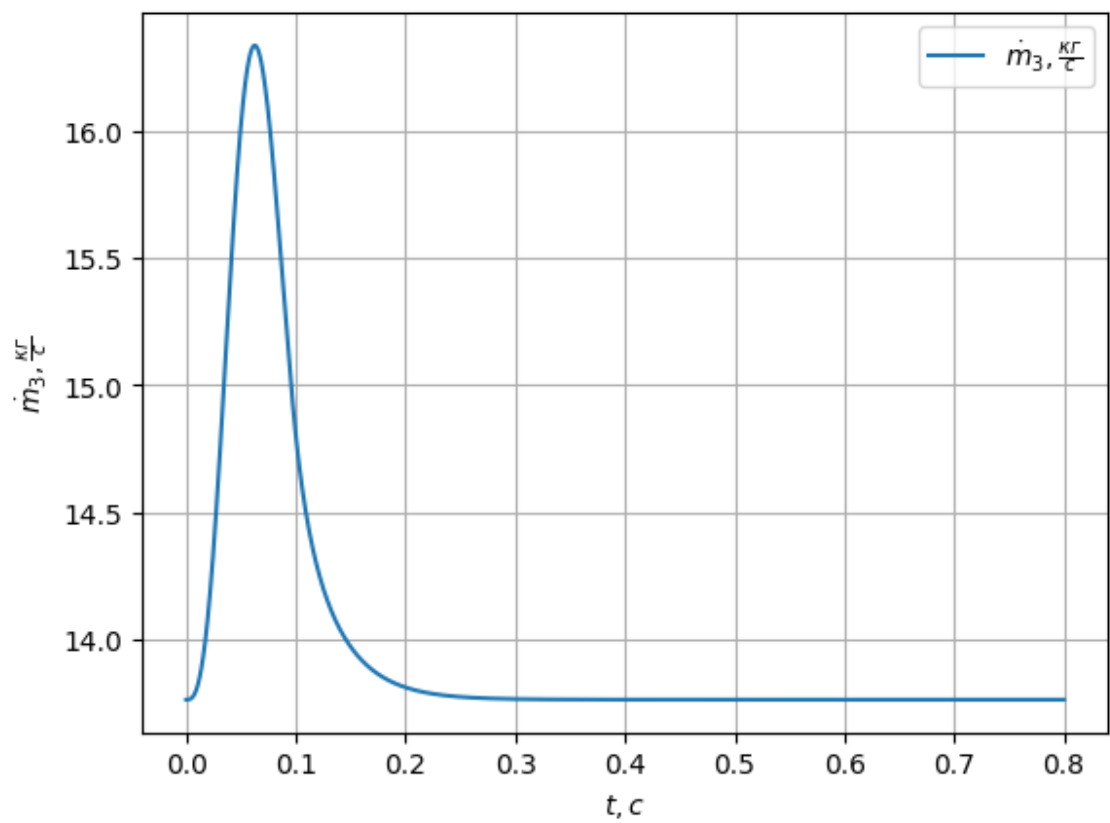


Рис. 2.15 – График зависимости $\dot{m}_3(t)$

2.3.2 Определение АЧХ системы

Для построения амплитудно-частотной характеристики необходимо знать амплитуду колебаний системы при различных частотах возмущения. Зададим синусоидальное возмущение $p_2(t, f)$ таким же образом, как и в (2.7). АЧХ будем искать в виде (2.8), где максимальные и минимальные значения будем искать на установившемся режиме в диапазоне времени от 0.7 до 0.8 секунд.

Подставляя (2.7) в систему уравнений (2.9), находим решения для каждого значения частоты $f = 0..1000$ Гц с увеличивающимся шагом.

График реакции p_4 на синусоидальное возмущение p_2 , заданное в (2.7), при частоте $f = 15$ и возмущения p_2 показаны на рисунке (2.16) и (2.17) соответственно. Амплитудно-частотная характеристика системы показана на рисунке (2.18). Программный код расчета, написанный на языке программирования python, представлен в приложении.

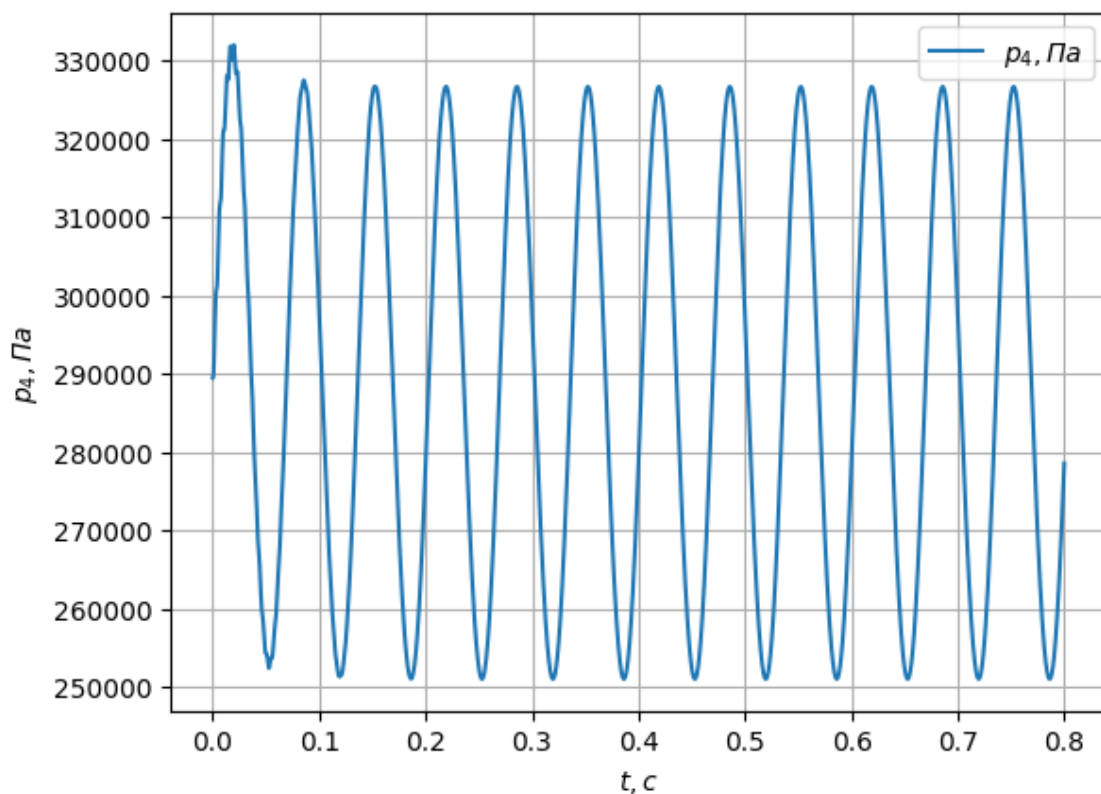


Рис. 2.16 – График зависимости $p_4(t)$ при $f = 15$ Гц

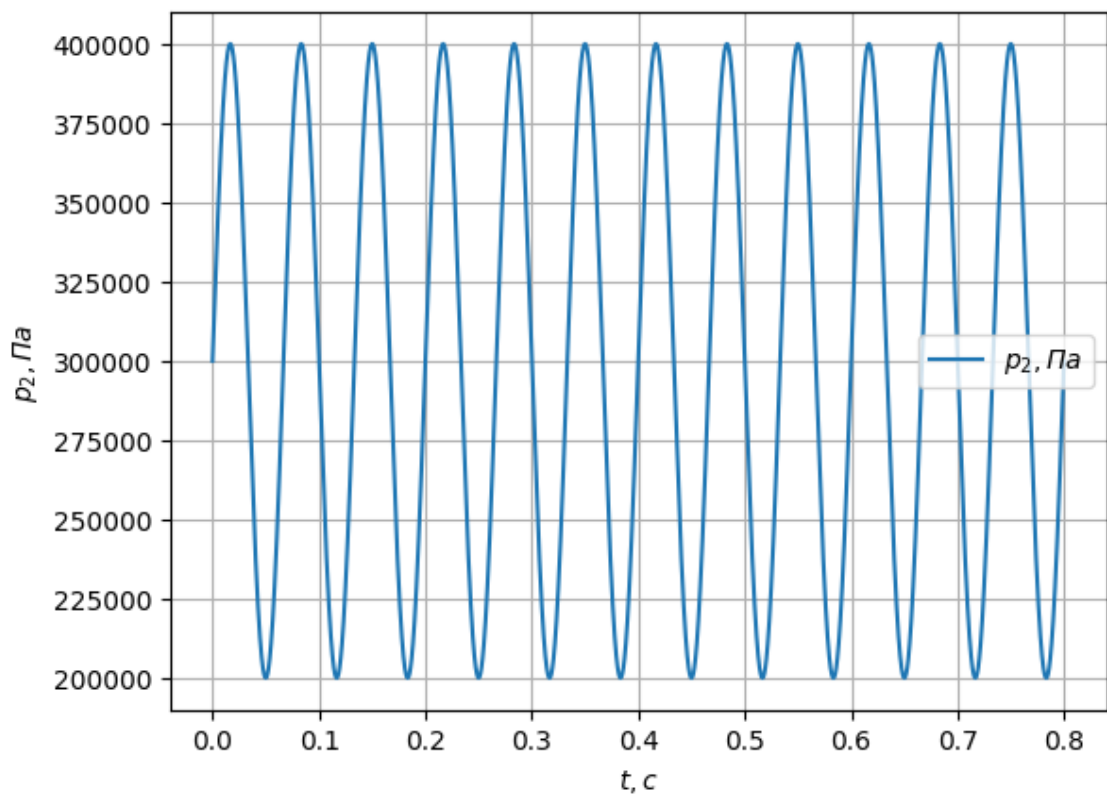


Рис. 2.17 – График зависимости $p_2(t)$ при $f = 15$ Гц

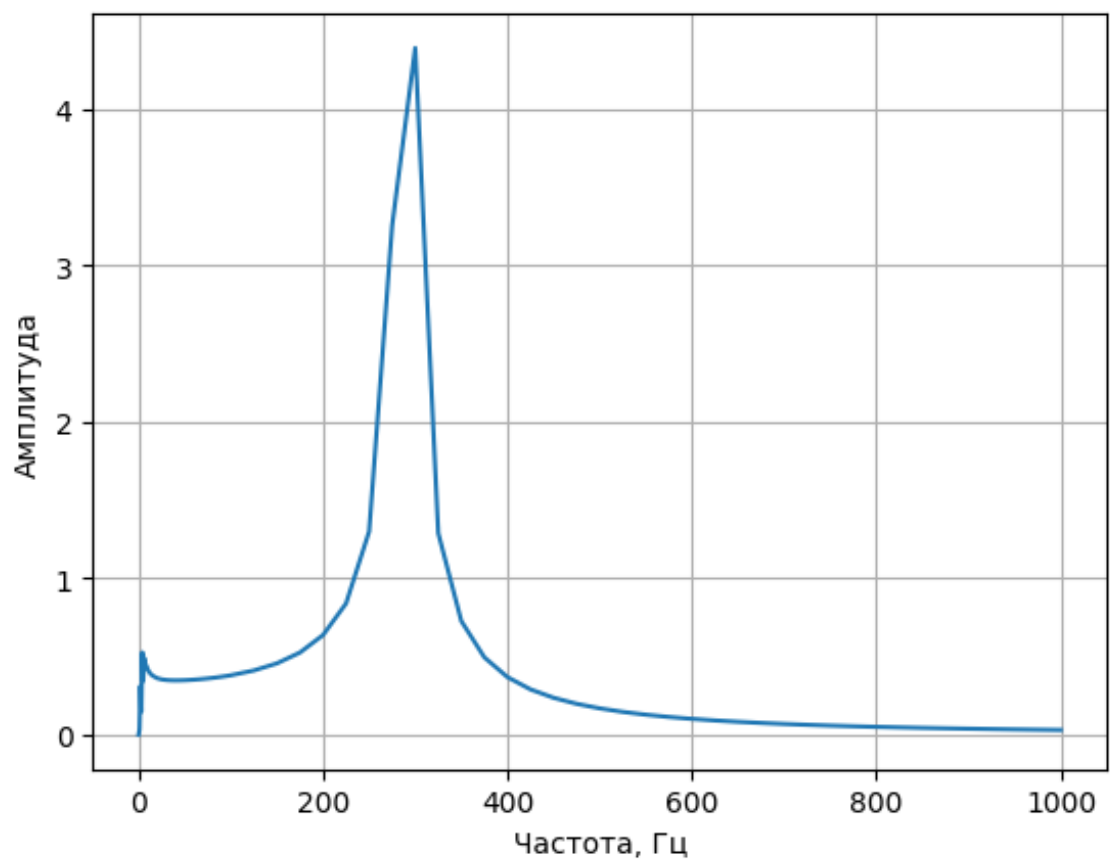


Рис. 2.18 – Амплитудно-частотная характеристика

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была составлена математическая модель гидромагистрали с демпфером и без демпфера, произведен расчет системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы в колебательной системе мат. модели, с помощью численных методов и получены решения для искомым по заданию величин p_4 , V_d , \dot{m}_1 , \dot{m}_2 , \dot{m}_3 и \dot{m}_d и др. Так же были построены амплитудно-частотные характеристики для систем.

Взглянув на полученные графики, отображающие переходные процессы в системе с демпфером и без него (рисунки (2.1), (2.12) соответственно), можно заметить, что демпфер сработал как и ожидалось, то есть уменьшил амплитуду вынужденных колебаний системы.

Все вычисления производились на ЭВМ, программный код на языке программирования python прилагается. Для расчета систем дифференциальных уравнений использовался модуль `scipy`, метод решения - LSODA [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е.П. Попов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1989. - 301 с.

2. SciPy v1.11.4 Manual [Электронный ресурс] // URL: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.integrate.odeint.html> (дата обращения: 10.декабря.2023)

ПРИЛОЖЕНИЕ