Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования «Белорусский государственный университет   
информатики и радиоэлектроники»

Факультет информационных технологий и управления

Кафедра систем управления

Дисциплина: Теория автоматического управления

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовой работе

по теме

Система стабилизации линии визирования видеокамеры

Студент: гр.022441 Пашкевич М.В.

Руководитель: Хаджинов М.К.

Минск 2025

Содержание

[Введение 3](#_Toc184726732)

[1. Теория работы трехосевого гиростабилизированного карданова подвеса 4](#_Toc184726733)

[1.1. Гироскоп 4](#_Toc184726734)

[1.2. Акселерометр 4](#_Toc184726735)

[1.3. Трехосевой гиростабилизированный карданов подвес 6](#_Toc184726736)

[2. Задача ТАУ 8](#_Toc184726737)

[2.1. Описание стенда ССН 8](#_Toc184726738)

[2.2. Математическая модель 9](#_Toc184726739)

[Заключение 16](#_Toc184726740)

[Список использованных источников 17](#_Toc184726741)

# **Введение**

В настоящее время при поиске и сопровождении различных целей c борта подвижных объектов широкое применение получили системы стабилизации и наведения линии визирования.

В первом разделе курсовой работы представлена конструктивная схема датчика. Рассматриваются конструктивные особенности компенсационного акселерометра с электростатической обратной связью.

Во втором разделе представлена структурная схема датчика. Описывается роль отрицательной обратной связи, а также необходимость применения корректирующего устройства.

В третьем разделе представлена математическая модель датчика. Рассматриваются передаточные функции подвижного узла акселерометра и корректирующего устройства, формулы для расчета коэффициентов.

# **1. Теория** **работы трехосевого гиростабилизированного карданова подвеса**

# **1.1. Гироскоп**

Гироскоп – устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела, на котором оно установлено, относительно инерциальной системы отсчёта.

Принцип работы гироскопа основан на законе сохранения углового момента. Когда вращающееся тело (например, ротор гироскопа) подвергается моменту силы, вызванному изменением угловой скорости, оно стремится сохранить свою ориентацию в пространстве. Это создает угловой момент, который можно измерить и использовать для определения угловой скорости вращения объекта.

В контексте трехосевых гиростабилизированных карданных подвесов, гироскопы используются для обнаружения изменений в угловой скорости, что позволяет системе поддерживать стабильность камеры или другой нагрузки в пространстве.

# **1.2. Акселерометр**

Акселерометр ­­- это устройство, предназначенное для измерения ускорения объекта, к которому оно прикреплено. Ускорение - это изменение скорости объекта со временем.

Акселерометры измеряют ускорение, что на практике означает изменение скорости или направления. Это могут быть удары и вибрации, резкое увеличение или уменьшение скорости, силы, которые могут указывать на слишком быстрый поворот.

Датчик механического акселерометра содержит элемент инертной массы или грузик, который удерживается пружинами (от одной до трех, в зависимости от количества осей). Пружины фиксируются на неподвижной детали. Они измеряют движение элемента относительно устройства. Чем больше прогиб пружин, тем больше отклонение и, следовательно, тем выше регистрируемое ускорение. При этом скорость высчитывается исходя из изменений этого ускорения во времени с учетом сил гравитации.

В гиростабилизированных карданных подвесах акселерометры используются в сочетании с гироскопами для обеспечения более точной и полной стабилизации. Вот как это обычно работает:

1. Обнаружение ускорения:

- Акселерометры в кардановом подвесе измеряют ускорение, которое возникает из-за изменения положения камеры или другой нагрузки.

2. Определение изменения положения:

- Измеренное ускорение помогает определить изменение положения камеры в пространстве. Например, если камера начинает двигаться вниз, акселерометр обнаружит ускорение в направлении, противоположном силе тяжести.

3. Коррекция с помощью гироскопа:

- Гироскопы в то же время измеряют угловую скорость вращения камеры вокруг своих осей. Эти данные используются для компенсации изменений положения, предсказывая, как камера будет двигаться в следующий момент времени.

4. Совмещение данных:

- Данные от акселерометра и гироскопа объединяются в алгоритме управления. Этот алгоритм определяет необходимые коррекции для моторов карданного подвеса, чтобы удерживать нагрузку (камеру) в стабильном положении.

5. Реакция на изменения:

- Когда камера двигается или подвергается воздействию вибрации, акселерометр регистрирует ускорение, и гироскоп измеряет угловую скорость. Эти данные используются для регулировки моторов кардана, чтобы компенсировать любые изменения положения.

Таким образом, акселерометры в карданных подвесах помогают системе быстро реагировать на изменения положения и управлять моторами таким образом, чтобы удерживать нагрузку в нужном положении в пространстве. Это обеспечивает стабильные и плавные видеозаписи, даже при движении камеры или другой нагрузки.

# **1.3. Трехосевой гиростабилизированный карданов подвес**

Трехосевой гиростабилизированный карданный подвес (или трехосевой гимбал) представляет собой механическую систему, используемую для стабилизации и управления направлением камер, датчиков или других нагрузок в трех осях пространства. Эта технология широко применяется в аэросъемке, фотографии и видео, робототехнике и других областях, где необходимо удерживать нагрузку в нужном положении. Главным свойством карданова подвеса является то, что если в него закрепить вращающееся тело, то оно в большинстве ситуаций будет сохранять направление оси вращения независимо от ориентации самого подвеса.

Основные компоненты трехосевого гиростабилизированного кардана:

1. Гимбальный механизм (кардан):

- Курс (Yaw): Отвечает за вращение нагрузки вокруг вертикальной оси.

- Тангаж (Pitch): Обеспечивает наклон нагрузки вверх или вниз.

- Крен (Roll): Осуществляет вращение нагрузки вокруг продольной оси.

2. Гироскопы и акселерометры;

3. Система управления: Задачей системы управления трехосевым гиростабилизированным кардановым подвесом является управление ДС.

4. Микроконтроллер или вычислительное устройство: Обрабатывает данные от гироскопов и акселерометров и формирует управляющие сигналы для двигателей, удерживая нагрузку в заданном положении.

При работе с трехосевым подвесом рассматривается одноконтурная скоростная система управления. Структурная схема системы представлена на рисунке 1.1.

Объектом управления является рамка, которая меняет свое положение под управлением двигателя стабилизации (ДС). ДС управляется от вычислительного устройства (ВУ), на вход которого подается сигнал управления (УПР) и сигнал обратной связи с датчика угловой скорости (ДУС). Для вывода текущего угла положения рамки с датчика угла (ДУ) используется экран.



Рисунок 1.1 – Обобщенная структурная схема системы

5. Двигатели:

Двигатели по осям (Yaw, Pitch, Roll): Приводят в движение гимбал и, таким образом, корректируют положение нагрузки. ДС служат для коррекции положения камеры, то есть ее стабилизации по линии визирования.

Принцип работы трехосевого гиростабилизированного кардана:

1. Обнаружение движения: Гироскопы и акселерометры регистрируют изменения положения и вращательные движения нагрузки.

2. Анализ данных: Микроконтроллер обрабатывает полученные данные и определяет необходимые коррекции для удержания нагрузки в заданном положении.

3. Управление двигателями: Двигатели на каждой оси гимбала активируются так, чтобы компенсировать обнаруженные движения, сохраняя нагрузку стабильной и ориентированной в нужном направлении.

Преимущества трехосевых гиростабилизированных карданных подвесов включают в себя высокую стабильность и точность управления, что делает их идеальным инструментом для создания плавных и стабильных видеозаписей и фотографий.

# **2. Задача ТАУ**

# **2.1. Описание стенда ССН**

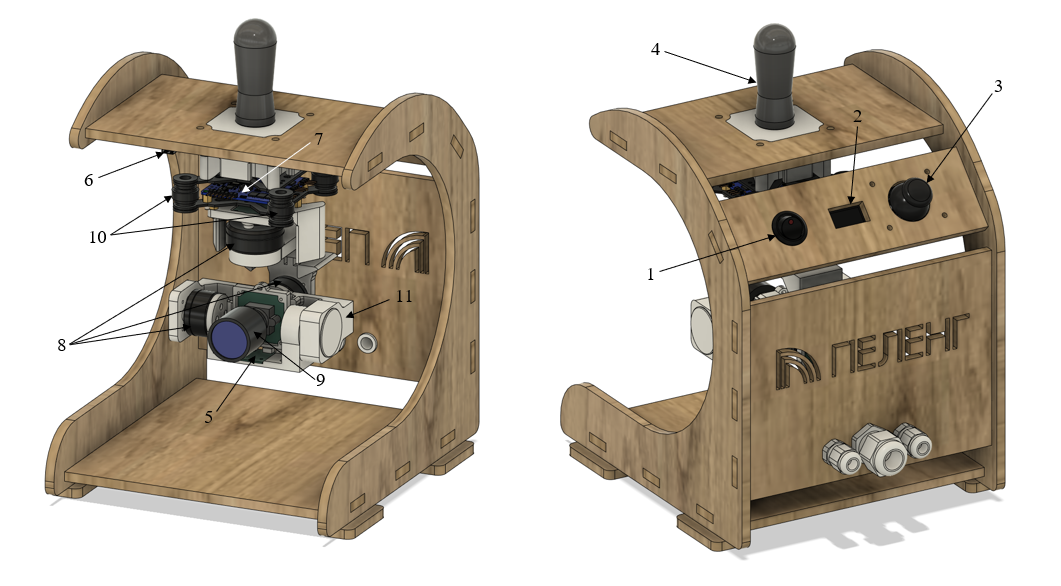
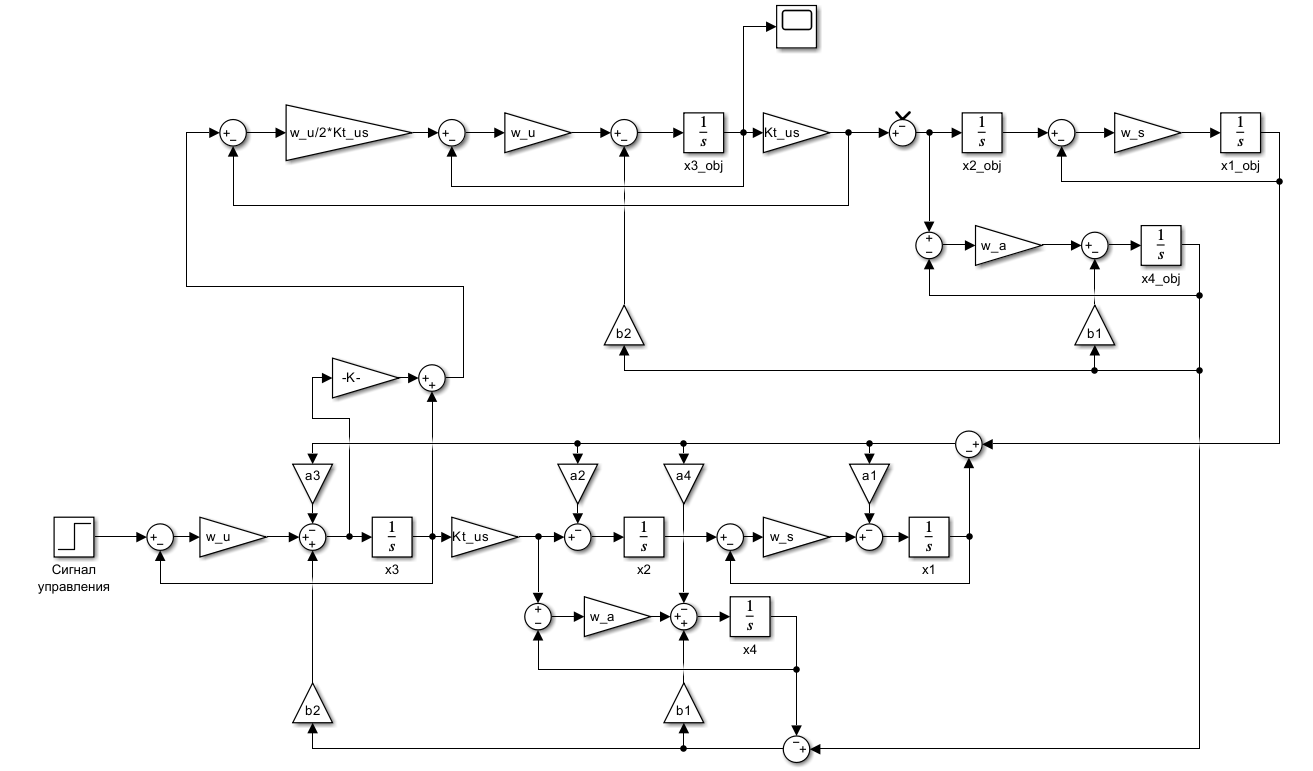


Рисунок 2.1 – Стенд для изучения систем стабилизации и наведения

Стенд представляет собой трехосевой гиростабилизированный карданов подвес. Основание подвеса установлено на демпфирующем устройстве. На основании подвеса расположен контроллер подвеса, который обрабатывает показания датчика IMU и управляет ДС. Карданов подвес имеет три степени свободы. По каждой оси установлен ДС и датчик угла. Карданов подвес включает внутреннюю, дополнительную и внешнюю рамки. В составе датчика IMU 3 акселерометра и 3 гироскопа, которые измеряют ускорения и угловые скорости по трем взаимно перпендикулярным осям XYZ.

Стенд предназначен для изучения систем стабилизации и наведения. Стенд должен обеспечивать возможность настройки контуров управления подвеса, стабилизацию линии визирования в диапазоне углов не менее от -30° до +30° по всем осям, отображение видео с камеры, управление наведением при помощи джойстика, отображение показаний датчиков угла.

## **2.2. Математическая модель**



Регулятор предназначен для преобразования сигнала ошибки e(t) в управляющий объектом управления сигнал u(t) так, чтобы замкнутый контур работал бы максимально быстро, но с малым (< 5 %) перерегулированием.

Суть модального управления состоит в определении численных значений коэффициентов передачи безынерционных ОС по всем переменным состояния объекта с целью обеспечения заданного распределения корней характеристического уравнения замкнутой САУ.

Модальные регуляторы – наилучшие линейные регуляторы по своим возможностям. Модальные регуляторы представляют собой набор безинерционных обратных связей (K = [k1, k2, k3, … kn]), позволяющий заменить характеристический полином объекта управления на любой желаемый.

A — матрица, определяющая динамические свойства объекта управления, размерности n × n;

B — матрица входа управляющих воздействий размерности n × m;

C — матрица выхода размерности l × n;

D – матрица влияния входа непосредственно на выход системы;

n — порядок объекта управления.

addpath 'c:/trenag'

Исходные данные

w\_s = 8000; % Chastota giroskopa

w\_a = 1000; % chastota akselerometra

w\_ab = 830; % chastota dlya rascheta koefficientov b1 i b2

w\_st = 24000; % Chastota sreza kontura toka

w\_u = 20000; % chastota upravleniya

ksi = 0.7; % koefficient kolebaniya

Kt\_us = 0.5/10^(-5)\*5;

Коэффициент

b1 = 2\*ksi\*w\_ab

b2 = w\_ab\*w\_ab/Kt\_us/40

Запишем матрицы объекта

% koefficienti s upravleniem po toky

A\_model = [-w\_s w\_s 0 0; 0 0 Kt\_us 0; 0 0 -w\_u -b2; 0 0 Kt\_us\*w\_a -w\_a-b1]

B\_model = [0; 0; w\_u; 0]

C\_model = [1 0 0 0]

D\_model = [w\_u/w\_st]

А:

В:

С:

[

%koefficienti s upravleniem po skorosti

A\_model = [-w\_s w\_s 0 0; 0 0 Kt\_us 0; 0 -w\_u/(2\*Kt\_us) -w\_u -b2; 0 0 Kt\_us\*w\_a -w\_a-b1]

B\_model = [0; 0; w\_u\*w\_u/(2\*Kt\_us); 0]

C\_model = [1 0 0 0]

D\_model = [w\_u/w\_st]

polinom = pol(4, 'l');

zamk = tf(1,polinom);

figure; step(zamk);

Чтобы рассчитать модальный регулятор

Для этого необходимо выбрать эталон (содержащийся в функции pol) качества (‘a’, ‘b’, ‘k’, ‘l’), определяющий форму переходной характеристики, и задаться масштабирующим множителем mt для желаемых полюсов замкнутой системы. Для сохранения в модальном регуляторе эквивалента единичной обратной связи задаем масштабирующий множитель равным w\_u, т.е. mt = w\_u. Затем желаемые полюса korni упрощенной модели объекта можно вычислить как корни полинома, умноженные на w\_u.

polinom = pol(4, 'l');

korni = roots(polinom);

korni\_mashtab = korni \* w\_u;

Модальный регулятор объекта:

regulator = acker(A\_model,B\_model,korni\_mashtab)

Коэффициенты модального регулятора:

a1 = regulator(1); a2 = regulator(2); a3 = regulator(3); a4 = regulator(4);

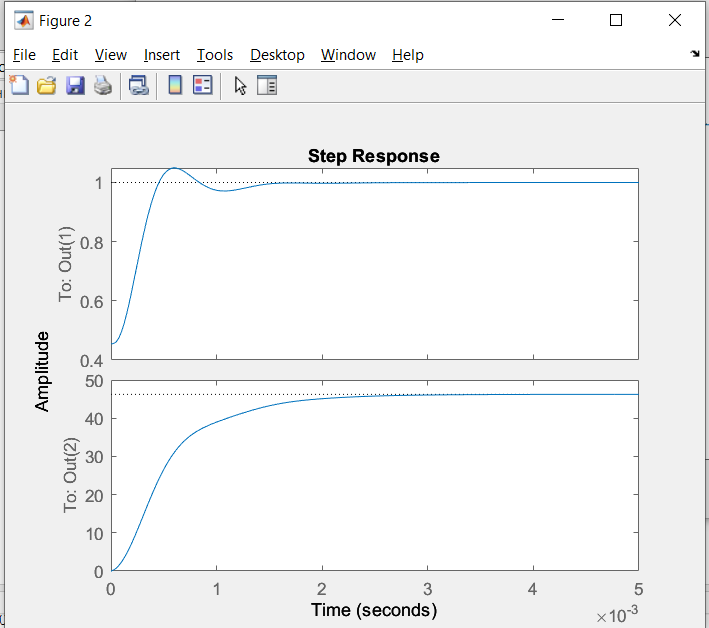
Модель объекта с модальным регулятором

Так, добавив строку regulator коэффициентов модального регулятора в матрицу C ( в Матлабе это будет [C;regulator] ), получаем дополнительный выход виртуального модального регулятора, встроенного в модель. Замкнув выход виртуального регулятора на вход модели объекта управления получаем виртуальный контур управления внутри контроллера.

model = ss(A\_model,B\_model,[C\_model;regulator],[D\_model;0])

model\_zamkn = connect(model,[1 -1],1,[1 2])

figure; step(model\_zamkn);



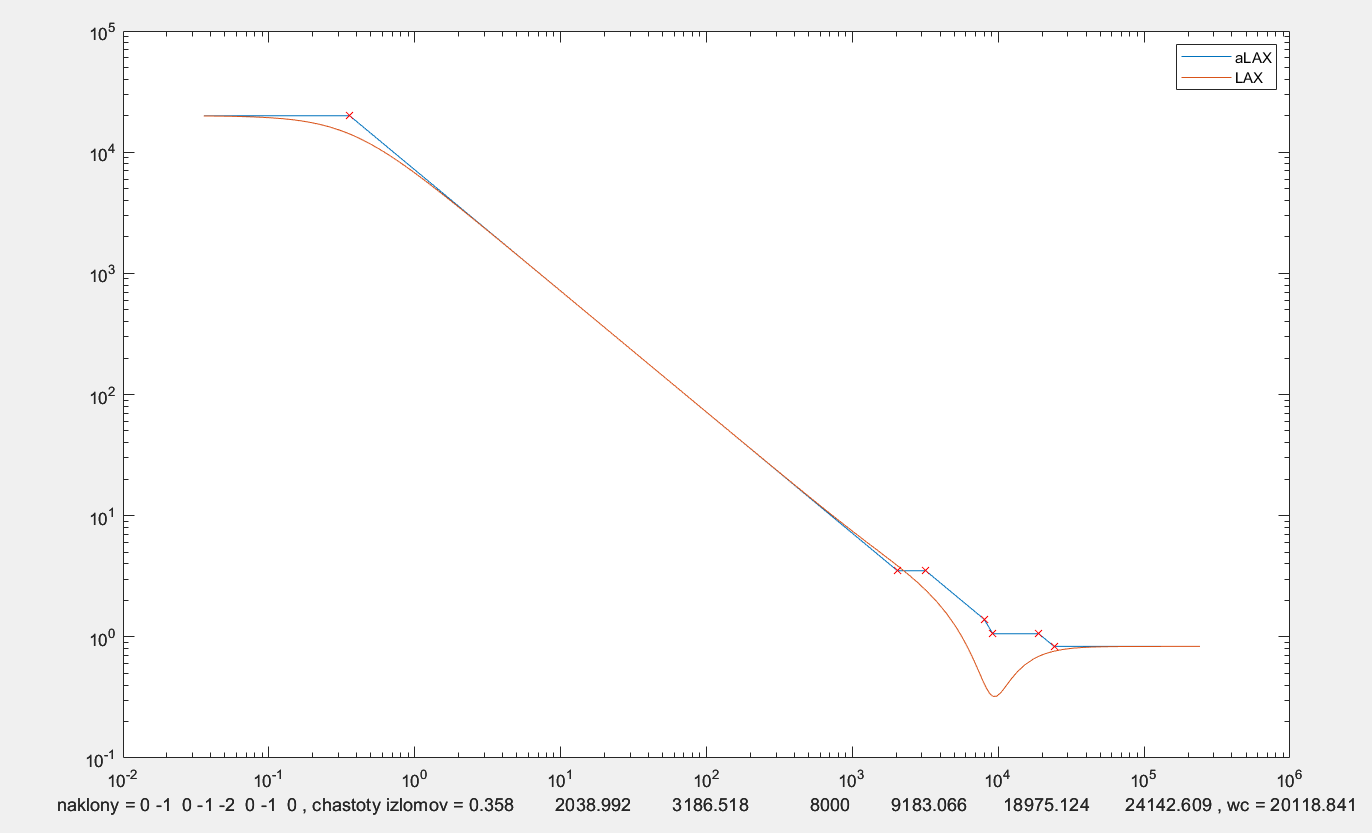
obj = ss(A\_model,B\_model,C\_model,D\_model);

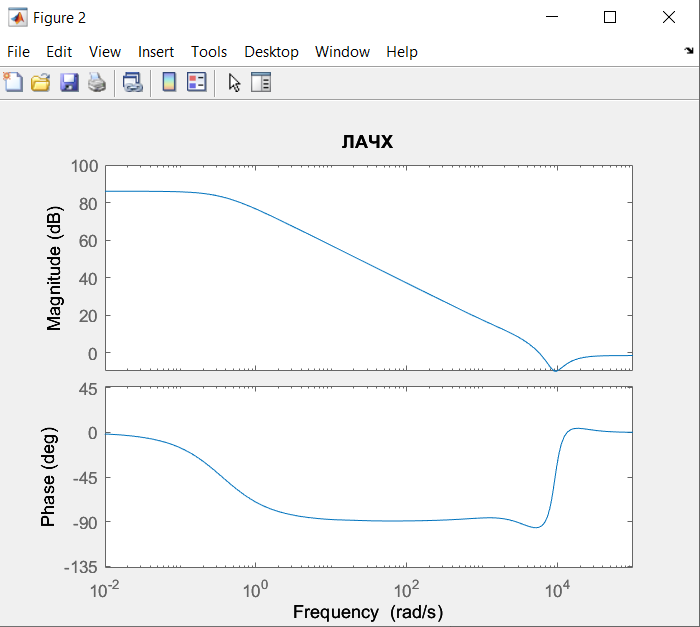
zpk(obj);

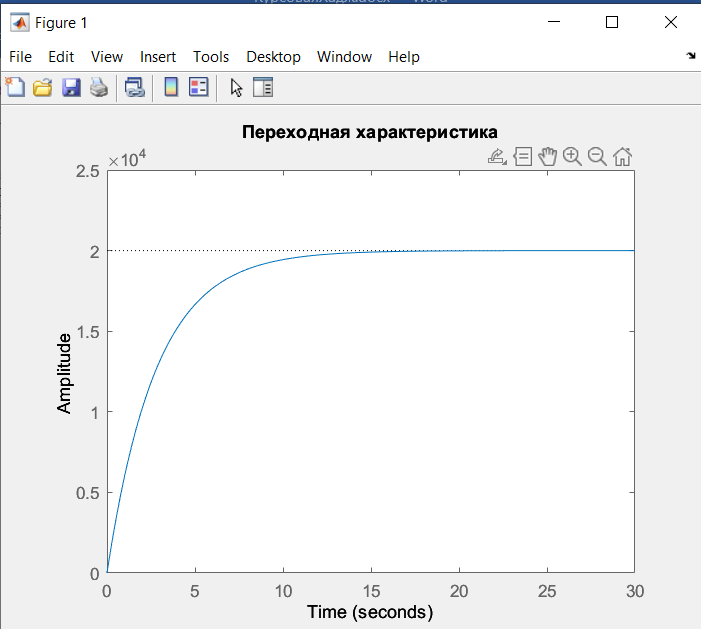
figure; step(obj);title('Переходная характеристика');

figure;bode(obj);title('ЛАЧХ');

aLAX(obj);







# **Заключение**

В данной курсовой работе был описан компенсационный акселерометр с электростатической обратной связью. Рассмотрена конструктивная схема и особенности строения датчика; структурная схема; роль отрицательной обратной связь; необходимость введения в схему корректирующего устройства и выбор типа регулятора.

Представлена математическая модель датчика. Приведены общие формулы для расчета передаточных функций подвижного узла и корректирующего устройства (с расчетом постоянных времени). Рассчитаны коэффициенты чувствительного элемента датчика, а также коэффициент передачи преобразователя перемещения.

Были проведены расчеты для конкретных исходных данных. Сформирована передаточная функция акселерометра, подвижного узла и корректирующего устройства (ПИД-регулятора). По полученным передаточным функция построены графики: переходная характеристика ЛАХ подвижного узла, ЛАХ корректирующего устройства (ПИД-регулятора), ЛАХ разомкнутого контура с регулятором, переходная характеристика и ЛАЧХ акселерометра.

# **Список использованных источников**

1. Вавилов В.Д. Микросистемные датчики физических величин: монография в двух частях/Вавилов В.Д., Тимошенков С.П., Тимошенков А.С. – Москва: Техносфера, 2018. – 550 с.

2. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.

3. Вавилов В.Д. Интегральные датчики: учебное пособие. –НГТУ. – Н. Новгород, 2003. – 503 с.

4. Солодовников В. В. Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Книга 1. Измерительные устройства, преобразующие элементы и устройства/Андреева Л.Е., Браславский Д.А, Галимов Б.Х., Лазарев Л.П., Пельпор Д.С., Римский-корсаков А.В, Рыбин В.М., Солодовников В.В., Уланов Г.М, Шорыгин А.П. – М.: Машиностроение, 1973. – 680 с.

5. Волков В.Л. Обоснование требований к параметрам микромеханического акселерометра. – Статья. – НГТУ, Н. Новгород, 2011. – 8 с.