

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)

Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Системы автоматического управления»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____/ В.И. Ширяев

« ____ » _____ 2017 г.

ДВУХОСНЫЙ ГИРОСТАБИЛИЗАТОР АНТЕННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВЕРТОЛЕТНОЙ
РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ, ПОСТРОЕННЫЙ НА БАЗЕ ДАТЧИКА УГЛОВОЙ
СКОРОСТИ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 24.03.02.2017.886.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы

д.т.н., профессор

_____/ А.Н.Лысов

« ____ » _____ 2017 г.

Автор работы

студент группы КЭ-433

_____/ В.А. Хлыстова

« ____ » _____ 2017 г.

Нормоконтролер

к.т.н., доцент

_____/ В.В. Седышев

« ____ » _____ 2017 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 7 |
| 1 ВЫБОР И АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ..... | 10 |
| 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВУХОСНОГО ГИРОСТАБИ- ЛИЗАТОРА..... | 16 |
| 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА..... | 29 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 37 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 38 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | |

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 6 |

ВВЕДЕНИЕ

Для управления движением того или иного объекта (самолет, ракета, управляемый снаряд и т.д) необходима первичная информация о параметрах его движения. Гироскопы позволяют получить информацию как о параметрах, характеризующих вращательное движение объекта (углы поворота, угловые скорости и ускорения), так и о параметрах, характеризующих его поступательное движение (линейное ускорение, скорость и перемещение).

В настоящее время в гироскопических системах ориентации, навигации и стабилизации подвижных объектов в основном применяются двухстепенные и трехстепенные гироскопы, основанные на использовании свойств быстровращающегося ротора. Также интенсивно разрабатываются и получают применение некоторые новые типы гироскопов, например оптические или лазерные.

Гиростабилизатором называется устройство, в котором гироскоп осуществляет слежение за внешним моментом и с помощью двигателя компенсирует его, удерживая стабилизируемую массу в неизменном положении. Гиростабилизаторы применяются в качестве чувствительного элемента прибора или для непосредственной стабилизации измерительных устройств на подвижном объекте.

Стабилизация сводится к определению параметров углового положения платформы с установленными на ней приборами (чувствительными элементами) и выработке соответствующих сигналов управления, обеспечивающих требуемое положение платформы в выбранной системе координат. Платформу, предназначенную для размещения объектов стабилизации и гироскопов, обеспечивающих ее стабилизацию в совокупности с некоторыми элементами автоматики, принято называть гироскопическим стабилизатором или гиростабилизатором (ГС). Наряду со стабилизацией объектов ГС используются и для измерения угловых отклонений объектов, на которые они установлены т.е выполняют роль систем ориентации.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 7 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

В соответствии с числом степеней свободы платформы различаются на одноосные, двухосные, трехосные.

Известны двухосные гиросtabilизаторы для стабилизации приборов в заданном направлении, содержащие платформу, на которой установлены два двухстепенных гироскопа, и связанный с платформой стабилизируемый прибор. Векторы кинетических моментов гироскопов, установленных на платформе, в не отклоненном положении ориентированы параллельно стабилизируемому направлению. Роль платформы выполняет внутренняя рама карданова подвеса гиросtabilизатора, которая может занимать произвольное положение относительно наружной рамы.

Радиолокационные системы, предназначены для использования в качестве вертолетной или самолетной радиолокационной станции (РЛС). Для обзора земной и водной поверхности и обнаружения на ней объектов, в том числе и малоразмерных.

В работе многих радиолокационных устройств большую роль играют отражения от распределенных пассивных атмосферных помех. В радиолокации одной из важнейших задач является обнаружение движущихся целей.

Известны вертолетные радиолокационные станции для ударных вертолетов, предназначенные для обзора земной и водной поверхности и обнаружения расположенных на ней объектов, осуществляющие обзор путем секторного качания луча антенны в азимутальной плоскости. Зона обзора такой РЛС представляет собой сектор с радиусом, соответствующим дальности действия РЛС.

Цель выпускной квалификационной работы: Разработка двухосного гиросtabilизатора антенного модуля для вертолётной радиолокационной станции построенного на базе датчика угловой скорости.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 8 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Выбор расположения осей стабилизации относительно осей объекта и чувствительных элементов на платформе;
- Вывод уравнений движения ГС и их анализ;
- Анализ влияния линейных перекрестных связей на устойчивость ГС;
- Вывод уравнений движения и передаточных функций канала ГС;
- Определение возмущающих моментов по осям стабилизации;
- Определение параметров цепи стабилизации;
- Моделирование динамики ГС;
- Разработка конструкторской документации.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 9 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

1 ВЫБОР И АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Для разработки двухосного гиросtabilизатора необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- Анализ технического задания (ТЗ);
- Выбор расположения осей стабилизации относительно осей объекта и чувствительных элементов на платформе;
- Принцип работы чувствительного элемента.

1.1 Анализ технического задания

В выпускной квалификационной работе необходимо разработать двухосный гиросtabilизатор антенного модуля для вертолётной радиолокационной станции построенного на базе датчика угловой скорости. Двухосный ГС обеспечивает управление, стабилизацию РЛС антенны, защищает ее от внешних воздействий (ударов, вибраций и т.д) что, в свою очередь, значительно увеличивает точность работы радиолокационного комплекса.

Основные функции двухосного ГС антенного модуля вертолётной РЛС:

- Стабилизация углового положения антенны по курсу и тангажу;
- Управляемый разворот ГС платформы по сигналам РЛСУ для;
- Обеспечения целеуказания – наведения линии визирования антенны;
- Поиска цели – изменение положения платформы по расходящейся или сходящейся спирали;
- автоматического сопровождения подвижной цели;
- Измерение и выдача в РЛСУ текущих угловых координат.

Технические требования:

- Углы прокачки, ° ±15;
- Угловая скорость дрейфа, °/час 1,0;
- Частота колебаний объекта, Гц 1;
- Точность стабилизации (амплитуда колебаний платформы), угл. мин 3;
- Линейная перегрузка, g 2;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 10 |

- Скорость управления, °/с 30.

1.2 Выбор расположения осей стабилизации относительно осей объекта и чувствительных элементов на платформе

Когда необходимо обеспечить стабилизацию платформы с установленными на ней объектами относительно двух осей, применяются двухосные гиросtabilизаторы. На платформе такого ГС устанавливаются два гироскопа. При этом оси чувствительности гироскопов параллельны соответствующим осям стабилизации. Платформа двухосного ГС имеет две степени свободы относительно объекта, вращение платформы вокруг оси, перпендикулярной плоскости, заключающей оси стабилизации, происходит вместе с объектом.

Двухосные гиросtabilизаторы применяются для стабилизации платформы с установленными на ней объектами относительно двух осей. Существует две кинематические схемы двухосного ГС представленные на рисунках 1.1 и 1.2 с различным расположением чувствительных элементов на платформе:

- 1) Векторы кинетических моментов гироскопов располагаются параллельно стабилизируемой оси (см. рисунок. 1.1).
- 2) Оси прецессии гироскопов располагаются параллельно стабилизируемой оси (см. рисунок 1.2).

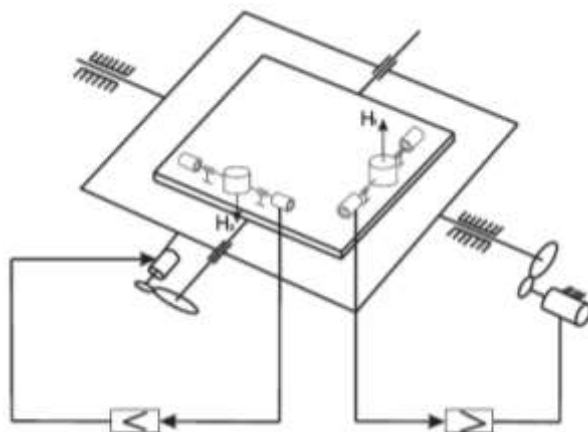


Рисунок 1.1– Кинематическая схема двухосного ГС, оси роторов гироскопов параллельны стабилизируемой оси платформы

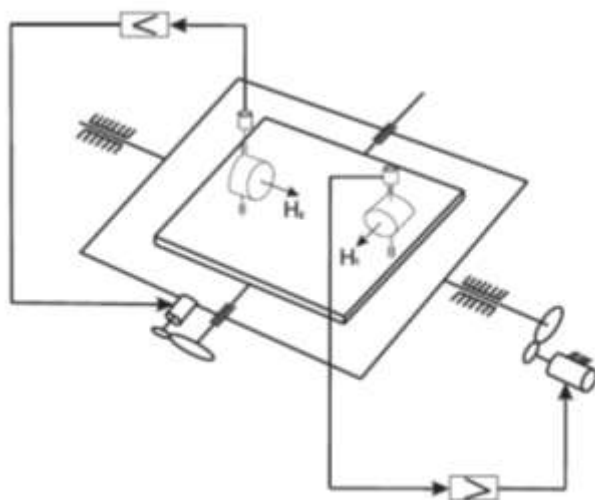


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема двухосного ГС, оси прецессии гироскопов параллельны стабилизируемой оси платформы

Недостатком схемы ГС, оси прецессии гироскопов которого располагаются параллельно стабилизируемой оси, является дополнительная нагрузка на двигатели стабилизации при наличии углового движения вокруг стабилизированной оси.

Для построения ГС антенного модуля вертолетной радиолокационной станции примем кинематическую схему ГС изображенную на рисунке 1.3, у которого оси роторов гироскопов параллельны стабилизируемой оси платформы.

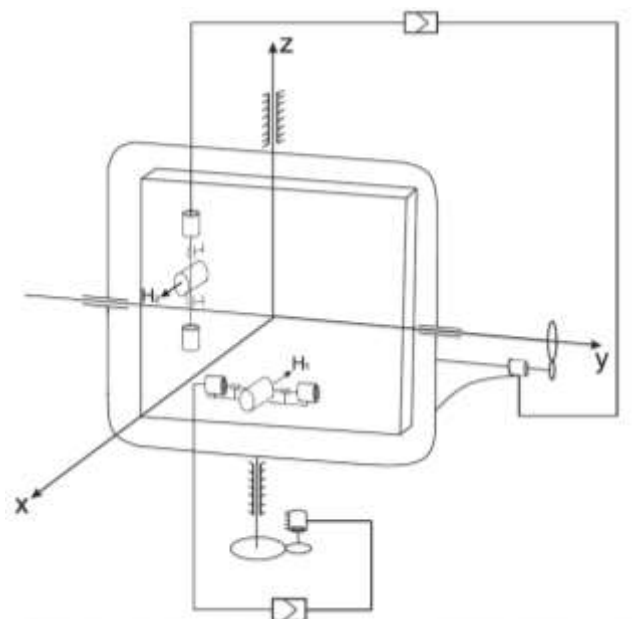


Рисунок 1.3 – Кинематическая схема

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

24.03.02.2017.886.00 ПЗ

Лист

12

1.3 Принцип работы чувствительного элемента

Чувствительным элементом ГС является датчик угловой скорости (ДУС). Он представляет собой гироскоп с двумя степенями свободы. При этом движение гироскопа относительно оси подвеса рамки ограничено упругой связью с корпусом прибора. Такой датчик угловой скорости условно можно отнести к приборам первого поколения. К более совершенным приборам относятся поплавковые приборы (второе поколение), приборы, созданные на новых физических принципах (третье поколение) – динамически настраиваемые, осцилляторные, лазерные и др.

На современных самолетах, ракетах и космических кораблях датчики угловой скорости (ДУС) используют в демпферах рыскания, тангажа и крена для улучшения характеристик устойчивости и управляемости самолета, а в автопилотах и системах автоматического управления – для введения в управляющую функцию сигнала, пропорционального угловой скорости. Кроме того, ДУС широко применяют в счетно-решающих приборах управления, наведения и стабилизации самонаведения снарядов, а также в системах прицеливания танков и самоходных установок и авиационных прицелах для выработки угла упреждения встречи снаряда с целью. На спутниках и космических кораблях ДУС могут быть использованы для демпфирования колебаний объекта относительно центра его масс, а также в системах ориентации объекта в пространстве.

Рассматриваемый гироскопический измеритель угловой скорости представляет собой гироскоп с двумя степенями свободы, движение которого вокруг оси рамки (кожуха) ограничено пружиной, связанной с корпусом.

Уравнение движения рамки ДУС относительно корпуса прибора [1]:

$$J_x \ddot{\beta} + B \dot{\beta} + k\beta = H\omega_\zeta \cos \beta - H\omega_\eta \sin \beta + (J_z - J_y) \times \\ (0.5\omega_\zeta^2 \sin 2\beta - 0.5\omega_\eta^2 \sin 2\beta + \omega_\zeta \omega_\eta \cos 2\beta) - J_x \omega_\xi \pm M_\beta + M_x, \quad (1.1)$$

где J_x, J_y, J_z — моменты инерции подвижной системы (рамки и гиromотора) прибора относительно осей x, y, z ; B — удельный момент демпфирования;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 13 |

k — угловая жесткость пружины; M_β — величина приведенного момента трения; M_x — сумма всех внешних неучтенных моментов.

На рисунке 1.4 приведена кинематическая схема ДУС

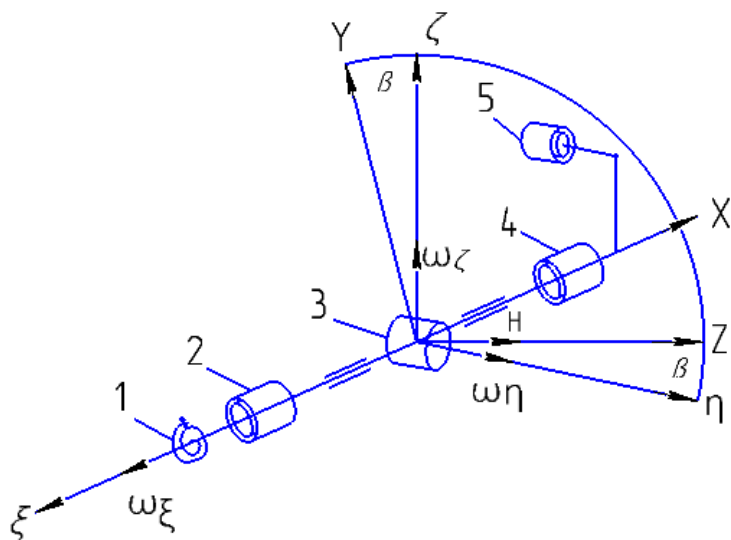


Рисунок 1.4 – Кинематическая схема датчика угловой скорости:

- 1– Пружина; 2 – датчик угла; 3 – гиروزел; 4 – датчик момента;
- 5 –демпфирующее устройство.

На рисунке 1.4 обозначено: $\xi\eta\zeta$ – система координат, связанная с основанием прибора; $\omega_\xi, \omega_\eta, \omega_\zeta$ – проекции угловой скорости вращения основания на оси ξ, η, ζ ; x, y, z – система координат, связанная с гиروزлом. Ось z – является осью собственного вращения ротора гироскопа, а ось y – осью чувствительности прибора.

Рассмотрим принцип работы ДУС. При вращении основания вокруг оси ζ с угловой скоростью ω_ζ вокруг оси рамки возникает гироскопический момент M_2 , под действием которого рамка гироскопа поворачивается так, что стремится совместить кратчайшим путем вектор кинетического момента H с вектором угловой скорости ω_ζ . По мере поворота рамки вокруг оси x , под действием гироскопического момента происходит деформация пружины, в результате чего возникает момент M_{np} , который препятствует отклонению рамки гироскопа. Когда момент пружины уравнивает гироскопический момент, рамка остановится в новом положении равновесия, а ее угол отклонения β будет характеризовать величина измеренной угловой скорости. Основными

элементами ДУС являются: гиromотор, рамка или кожух гиromотора с полуосями, моментный датчик или механическая пружина, создающая вокруг оси рамки прибора момент, пропорциональный углу ее отклонения; демпфирующее устройство, съемное устройство для регистрации угла отклонения рамки.

Вместе с тем в уравнениях, описывающих движение гиروزла и формирование выходного сигнала реальных ДУС, содержится целый ряд членов и коэффициентов, наличие и нестабильность которых нарушают это условие и приводят к образованию погрешностей прибора.

Для ДУС основную погрешность создают моменты трения $M_{тр}$ и тяжения $M_{тяж}$ и момент, возникающий при отклонении подвижного узла прибора от нулевого положения $M_{\beta} = k\beta$. Погрешности от указанных моментов полностью аналогичны соответствующим погрешностям акселерометра:

Порог чувствительности прибора

$$\omega_{\zeta min} = \sqrt{M_{тр}^2 + \frac{\Delta M_{тяж}^2}{H}},$$

(1.2)

где, $\Delta M_{тяж}$ – переменная составляющая момента тяжения; погрешность нелинейности ДУС, вызванная наличием $M_{тр}$

$$\delta_{тр} = \frac{2M_{тр}}{H\omega_{\zeta max}} 100\%.$$

(1.3)

Воспользуемся уравнением (1.1) чтобы исследовать динамику ДУС, промоделируем уравнение движения рамки ДУС относительно корпуса прибора (ПРИЛОЖЕНИЕ В).

Вывод по первой главе: произведен анализ технического задания и предложена кинематическая схема двухосного ГС. Рассмотрен чувствительный элемент ГС и предложена кинематическая схема ДУС которым является датчик угловой скорости.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 15 |

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВУХОСНОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА

Для разработки двухосного гиростабилизатора в данной главе необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- Вывод уравнений движения двухосного ГС;
- Анализ влияния линейных перекрёстных связей на динамику гиростабилизатора;
- Уравнения движения и передаточные функции канала гиростабилизатора;
- Определение возмущающих моментов по осям стабилизации;
- Определение параметров цепи стабилизации.

2.1 Вывод уравнений движения гиростабилизатора

Для вывода уравнений движения двухосного ГС введем систему координат связанную с основанием $O\xi\eta\xi$, систему координат связанную с рамой Ox_p, y_p, z_p , систему координат связанную с платформой $Ox_{п}, y_{п}, z_{п}$, и системы координат связанные с гироблоками $Ox_1, y_1, z_1; Ox_2, y_2, z_2$.

На рисунке 2.1 представим систему координат, связанные с основанием $O\xi\eta\xi$, рамой Ox_p, y_p, z_p и платформой $Ox_{п}, y_{п}, z_{п}$.

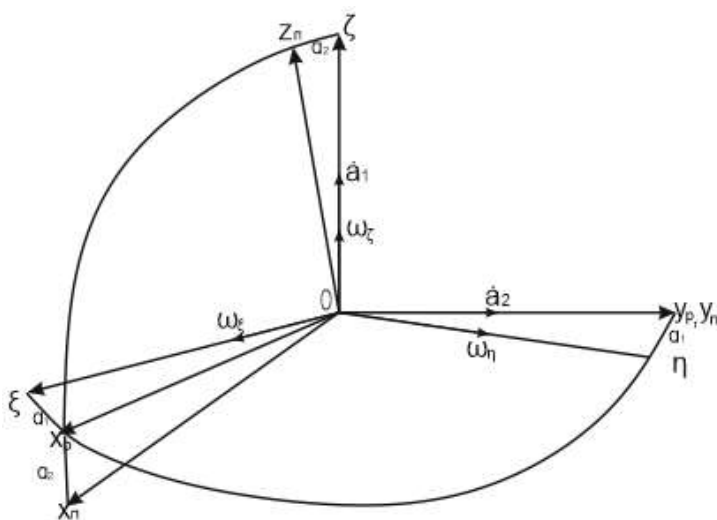


Рисунок 2.1– Система координат, связанная с основанием, рамой и платформой

Введем некоторые обозначения:

$J_{x_{п}}, J_{y_{п}}, J_{z_{п}}$ – Моменты инерции платформы относительно оси $x_{п}, y_{п}, z_{п}$;

$J_{x_p}, J_{y_p}, J_{z_p}$ – Моменты инерции платформы относительно оси x_p, y_p, z_p ;

B_1, B_2 – моменты инерции гироблоков относительно осей прецессии;

α_1 – угол поворота рамы ГС относительно основания;

α_2 – угол поворота платформы относительно рамы;

β_1, β_2 – углы поворота гироблоков.

Получим проекции абсолютных угловых скоростей рамы и платформы:

$$\omega_{z_p} = \omega_z + \dot{\alpha}_1;$$

$$\omega_{x_p} = \omega_\xi \cdot \cos \alpha_1 + \omega_\eta \cdot \sin \alpha_1;$$

(2.1)

$$\omega_{y_p} = \omega_\eta \cdot \cos \alpha_1 - \omega_\xi \cdot \sin \alpha_1;$$

$$\omega_{y_{п}} = \omega_{y_p} + \dot{\alpha}_2;$$

$$\omega_{z_{п}} = \omega_{z_p} \cdot \cos \alpha_2 + \omega_{x_p} \cdot \sin \alpha_2;$$

(2.2)

$$\omega_{x_{п}} = \omega_{x_p} \cdot \cos \alpha_2 - \omega_{z_p} \cdot \sin \alpha_2;$$

Для вывода уравнений движения ГС воспользуемся методом кинетостатики.

На рисунках 2.2, 2.3, 2.4 представлены моменты по осям прецессии гироблоков, платформы и рамы:

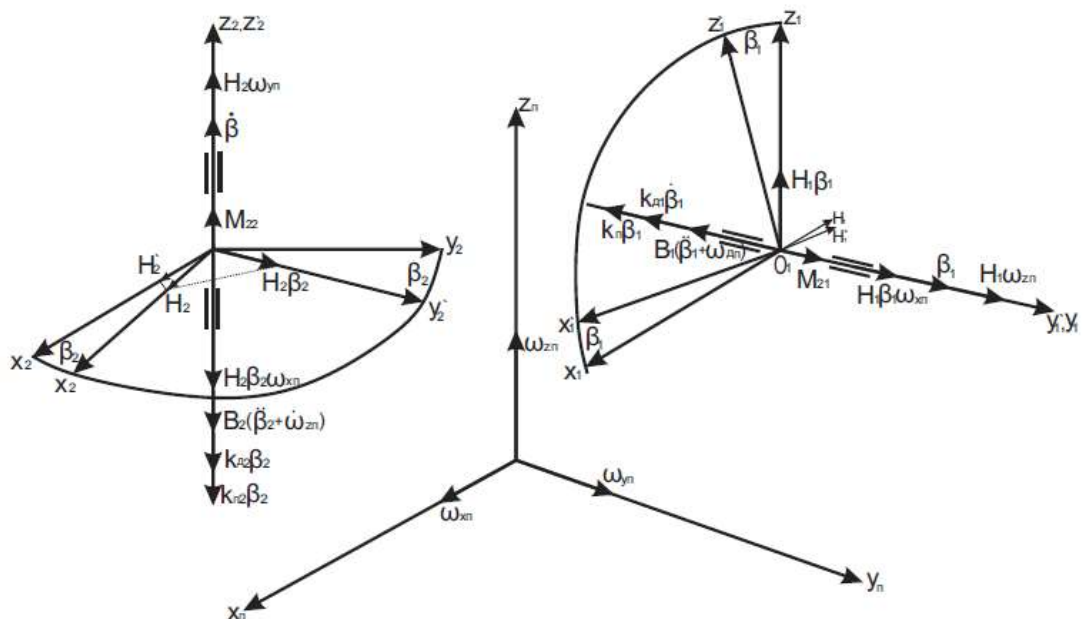


Рисунок 2.2 – Моменты по осям прецессии гироблоков

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

$$\sum \text{mom } y_1 = 0;$$

$$-B_1(\ddot{\beta}_1 + \dot{\omega}_{y\Pi}) + H_1\beta_1\omega_{x\Pi} + H_1\omega_{z\Pi} - k_{д1}\dot{\beta}_1 - k_{\Pi}\beta_1 + M_{21} = 0.$$

(2.3)

$$\sum \text{mom } z_1 = 0;$$

$$-B_2(\ddot{\beta}_2 + \dot{\omega}_{z\Pi}) + H_2\omega_{y\Pi} - H_2\beta_2\omega_{x\Pi} - k_{д2}\dot{\beta}_2 - k_{\Pi}\beta_2 + M_{22} = 0.$$

(2.4)

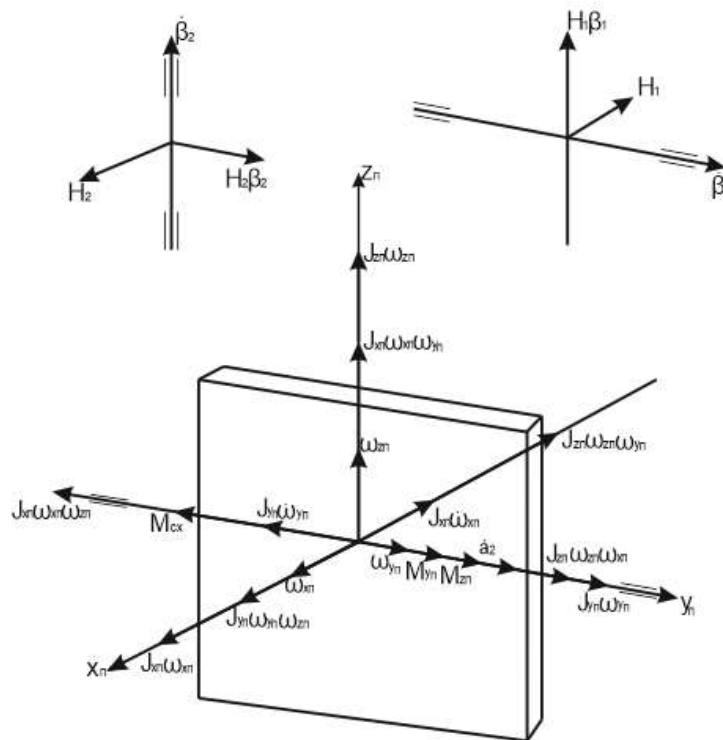


Рисунок 2.3 – Моменты по осям платформы

Запишем сумму динамических моментов по осям платформы:

$$M_{x\Pi} = -J_{x\Pi}\dot{\omega}_{x\Pi} + (J_{y\Pi} - J_{z\Pi})\omega_{y\Pi}\omega_{z\Pi} - H_1\beta_1(\dot{\beta}_1 + \omega_{y\Pi}) + H_2\beta_2(\dot{\beta}_2 + \omega_{z\Pi});$$

$$M_{y\Pi} = J_{y\Pi} \cdot \dot{\omega}_{y\Pi} + (J_{z\Pi} - J_{x\Pi})\omega_{z\Pi}\omega_{x\Pi} - H_2(\dot{\beta}_2 + \omega_{z\Pi});$$

(2.5)

$$M_{y\Pi} = -J_{z\Pi}\omega_{z\Pi} + (J_{x\Pi} - J_{y\Pi})\omega_{x\Pi}\omega_{y\Pi} - H_1(\dot{\beta}_1 + \omega_{y\Pi}).$$

Сумма моментов относительно оси y_{Π} платформы:

$$\sum \text{mom } y_{\Pi} = 0,$$

$$M_{y\Pi} + M_{12} - M_{c2} - h_2\dot{\alpha}_2 + k_{д1}\dot{\beta}_1 + k_{\Pi}\beta_1 = 0.$$

(2.6)

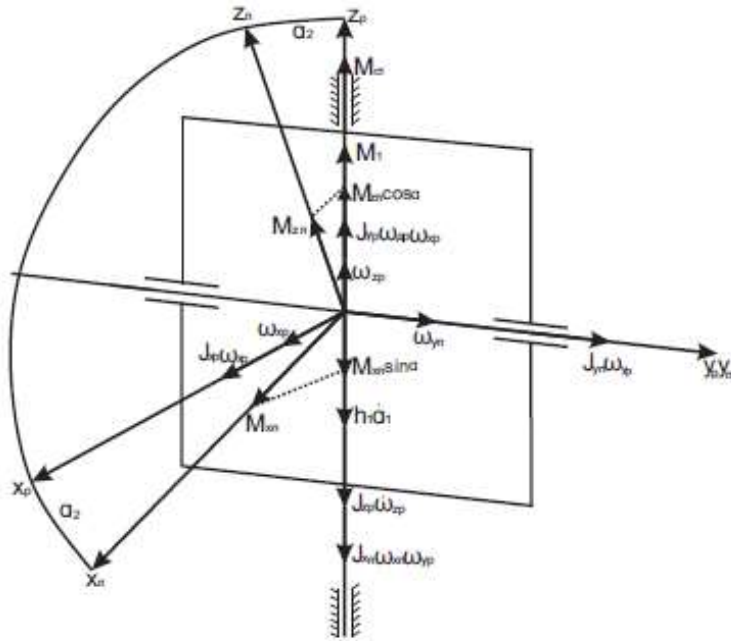


Рисунок 2.4 – Моменты по оси рамы

Сумма моментов относительно оси z_p рамы:

$$\sum \text{mom } z_p = 0;$$

$$-J_{zp}\dot{\omega}_{zp} + J_{yp}\omega_{yp}\omega_{xp} - J_{xp}\omega_{xp}\omega_{yp} - M_{xn} \sin \dot{\alpha}_2 + M_{zn} \cos \alpha_2 - h_1\dot{\alpha}_1 + k_{d1}\dot{\beta}_2 + k_{п}\beta_2 + M_{c1} + M_{11} = 0. \quad (2.7)$$

Перепишем уравнения (2.2), (2.3), (2.6) и (2.7) в виде системы:

$$J_{zp}\dot{\omega}_{zp} + h_1\dot{\alpha}_1 + M_{xn} \sin \alpha_2 + (J_{yp} - J_{xp})\omega_{yp}\omega_{xp} - M_{c1} - M_{zn} \cos \alpha_2 - k_{d1}\dot{\beta}_2 - -k_{п}\beta_2 = M_{11};$$

$$B_1(\ddot{\beta}_1 + \dot{\omega}_{yn}) + K_{d1}\dot{\beta}_1 + K_{п}\beta_1 - H_1\beta_1\omega_{xn} - H_1\omega_{zn} = M_{21}; \quad (2.8)$$

$$J_{yn}\omega_{yn} - (J_{xn} - J_{zn})\omega_{zn}\omega_{xn} + H_2(\dot{\beta}_2 + \omega_{zn}) + M_{c2} + h_2\dot{\alpha}_2 - k_{d1}\dot{\beta}_1 + k_{п}\beta_1 = M_{12};$$

$$H_2\beta_2\omega_{xn} + B_2(\ddot{\beta}_2 + \dot{\omega}_{zn}) + K_{d2}\dot{\beta}_2 + K_{п}\beta_2 - H_2\omega_{yn} = M_{22}.$$

Из системы уравнений (2.8) следует, что между каналами существуют перекрестные связи.

В гиросtabilизаторе, построенного на базе ДУС, в цепь стабилизации необходимо включить интеграл от угла поворота гиروزла [2].

$$M_{c1} = K_{11} \int \beta_1 dt + K_{12} \beta_1;$$

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|
| | | | | | Лист |
| | | | | | 19 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ |

$$M_{c2} = K_{21} \int \beta_2 dt + K_{22} \beta.$$

Произведем линеаризацию уравнений для случая малых отклонений ГС от равновесного состояния, которое характеризуется следующими постоянными значениями переменных

$$\omega_{xp} = \omega_{yp} = 0;$$

$$\omega_{zp} = \dot{\alpha}_1.$$

Линеаризованные уравнения движения примут вид:

$$A_1 \Delta \ddot{\alpha}_1 + h_1 \Delta \alpha_1 + H_1 \Delta \dot{\beta}_1 \cos \alpha_{20} + H_1 \Delta \dot{\alpha}_2 \cos \alpha_{20} + K_{11} \int \beta_1 dt + K_{12} \beta - K_d \Delta \dot{\beta}_1 - K_p \Delta \beta_1 = M_{11};$$

$$B_1 \Delta \ddot{\beta}_1 + B_1 \Delta \ddot{\alpha}_2 - H_1 \alpha_1 \cos \alpha_{20} + K_d \Delta \dot{\beta}_1 + K_p \Delta \beta_1 = M_{21}; \quad (2.9)$$

$$A_2 \Delta \ddot{\alpha}_2 + h_2 \Delta \dot{\alpha}_2 + H_2 \Delta \dot{\beta}_2 + H_2 \Delta \dot{\alpha}_1 \cos \alpha_{20} + K_{21} \int \beta_2 dt + K_{22} \beta - K_d \Delta \dot{\beta}_2 - K_p \Delta \beta_2 = M_{12};$$

$$B_2 \Delta \ddot{\beta}_2 + B_2 \Delta \ddot{\alpha}_1 \cos \alpha_{20} - H_2 \Delta \dot{\alpha}_2 + K_d \Delta \dot{\beta}_2 + K_p \Delta \beta_2 = M_{22}.$$

В ходе данного раздела были выведены уравнения движения двухосного ГС, для более глубокого рассмотрения ГС произведем анализ влияния линейных перекрестных связей на динамику ГС.

2.2 Анализ влияния линейных перекрестных связей на динамику гиросtabilизатора

Из уравнения (2.9) следует, что двухосный гиросtabilизатор можно рассматривать как двухканальную систему автоматического регулирования с линейными перекрестными связями между каналами. Каждый из каналов системы имеет основные переменные: канал 1 – α_1, β_1 ; канал 2 – α_2, β_2 .

Дополнительные члены уравнений, содержащие переменные соседних каналов, являются перекрестными связями через датчики углов прецессии, демпфирующие моменты и упругие связи.

Рассмотрим влияние перекрестных связей через датчики углов прецессии.

Главный определитель системы (2.9) имеет вид

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 20 |

$$\Delta = \begin{vmatrix} A_1 p^2 + h_1 p & H_1 + \frac{K_{11}}{p} + K_{12} & H_1 p & -K_d p - K_n \\ -H_1 p & B_1 p^2 + K_d p + K_n & B_1 p^2 & 0 \\ H_2 p & -K_d p - K_n & A_2 p^2 + h_2 p & H_2 p + \frac{K_{21}}{p} + K_{22} \\ B_2 p^2 & 0 & -H_2 & B_2 p^2 + K_d p + K_n \end{vmatrix}$$

Примем, что $H_1 = H_2; B_1 = B_2; h_1 = h_2; K_{11} = K_{12}; A_1 = A_2$.

Следовательно,

$$\begin{aligned} \Delta &= (-1)^{1+2+1+2} D_1 D_2 + (-1)^{1+2+1+3} \cdot 0 + (-1)^{1+2+1+4} \cdot 0 + \\ &+ (-1)^{1+2+2+3} \cdot \begin{bmatrix} H_1 p + \frac{K_{11}}{p} + K_{12} & H p \\ B p^2 & B p^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H p & H_1 p + \frac{K_{11}}{p} + K_{12} \\ B p^2 & B p^2 \end{bmatrix} + \\ &+ (-1)^{1+2+2+4} \cdot 0 + (-1)^{1+2+3+4} \cdot 0 = [(H B p^3 + K_1 B p + K_2 B p^2) - \\ &(H B p^3 + K_d H p^2 + K_n H p)] [(H B p^3 + K_d H p^2 + K_n H p) - (H B p^3 + K_1 B p + \\ &K_2 B p^2)] = D_1 D_2 + (K_1 B p + K_2 B p^2 - K_d H p^2 - K_n H p)^2. \end{aligned}$$

Примем параметры каналов ГС одинаковыми: $D_1 = D_2 = D$.

$$\begin{aligned} D &= \begin{bmatrix} A p^2 + h p & H p + \frac{K_1}{p} + K_2 \\ -H p & B_1 p^2 + K_d p + K_n \end{bmatrix} = [(A p^2 + h p)(B p^2 + K_d p + K_n)] + \\ &+ H p \left(H p + \frac{K_1}{p} + K_2 \right) = [A B p^4 + A K_d p^3 + A K_n p^2 + B h p^3 + K_d h p^2 + K_n h p] + \\ &+ [H^2 p^2 + H K_1 + H K_2 p]. \end{aligned}$$

$$\Delta = D^2 + (K_1 B p + K_2 B p^2 - K_d H p^2 - K_n H p)^2 = [D + j(K_1 B p + K_2 B p^2 - K_d H p^2 - K_n H p)] [D - j(K_1 B p + K_2 B p^2 - K_d H p^2 - K_n H p)]$$

Заменяем $p=j\omega$, получим:

$$\begin{aligned} \Delta(j\omega) &= A B \omega^4 - A K_d j \omega^3 - A K_n \omega^2 - B h j \omega^3 - K_d h \omega^2 + K_n h j \omega - H^2 \omega^2 + \\ &+ H K_1 + H K_2 j \omega \mp K_1 B \omega \mp K_2 B j \omega^2 \pm K_d H j \omega^2 \pm K_n H \omega. \end{aligned}$$

Приведем подобные члены по степеням ω :

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 21 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | | |

24.03.02.2017.886.00 ПЗ

$$\Delta(j\omega) = AB\omega^4 - j\omega^3(AK_d + Bh) - \omega^2[(AK_n + K_d h + H^2) + j(\mp K_2 B \pm K_d H)] + \\ + \omega[\mp K_1 B \pm K_n h + jHK_1] + HK_1.$$

(2.10)

Рассмотрим влияние перекрестных связей через демпфирующие и упругие моменты.

$$\Delta = \begin{vmatrix} A_1 p^2 + h_1 p & H_1 p + \frac{K_{11}}{p} + K_{12} & 0 & -K_d p - K_n \\ -H_1 p & B_1 p^2 + K_d p + K_n & 0 & 0 \\ 0 & -K_d p - K_n & A_2 p^2 + h_2 p & H_2 p + \frac{K_{21}}{p} + K_{22} \\ 0 & 0 & -H_2 p & B_2 p^2 + K_d p + K_n \end{vmatrix}$$

$$= (-1)^{1+2+1+2} D^2 + (-1)^{1+2+1+3} \cdot 0 + (-1)^{1+2+1+4} \begin{bmatrix} Ap^2 + h_1 p & -K_d p - K_n \\ -Hp & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -K_d p - K_n & Ap^2 + hp \\ 0 & -Hp \end{bmatrix} + (-1)^{1+2+2+3} 0 + (-1)^{1+2+2+4} 0 + (-1)^{1+2+3+4} 0 =$$

$$= D^2 + [(Ap^2 + hp) \cdot 0] - (-Hp(K_d p - K_n)) \left[((-K_d p - K_n)(-Hp)) - \right. \\ \left. - (0 \cdot (Ap^2 + hp)) \right] = D^2 + [HK_d p^2 + HK_n][HK_d p^2 + HK_n].$$

$$D^2 = [D + j(-HK_d \omega^2 + HK_n \omega)][D - j(-HK_d \omega^2 + HK_n \omega)].$$

$$D = [ABp^4 + AK_d p^3 + AK_n p^2 + Bhp^3 + K_d hp^2 + K_n hp] + [H^2 p^2 + HK_1 + \\ + HK_2 p].$$

Заменяем $p=j\omega$, получим:

$$\Delta(j\omega) = AB\omega^4 - AK_d j\omega^3 - AK_n \omega^2 - Bhj\omega^3 - K_d h\omega^2 + K_n hj\omega - H^2 \omega^2 + \\ + HK_1 \mp HK_d j\omega^2 \mp HK_n.$$

Приведем подобные члены по степеням ω :

$$\Delta(j\omega) = AB\omega^4 - j\omega^3(AK_d + Bh) - (AK_n \omega^2 + K_d h\omega^2 + H^2 \omega^2 \mp HK_d j\omega^2) + \\ + (K_n hj\omega + HK_2) + HK_1 \mp HK_n.$$

(2.11)

Из выражений (2.10), (2.11) следует, что коэффициенты канала главного определителя ГС значительно больше коэффициентов перекрестных связей через датчики углов прецессии, демпфирующие моменты и упругие связи. При реальных параметрах ГС $H^2 > NK_d$, $NK_1 > NK_p$.

В грубой динамической системе [3] при малых изменениях параметров системы мало изменяются ее динамические свойства. Данная динамическая система (двухосный ГС) относится к грубой динамической системе. Следовательно, можем сделать вывод, что перекрестные связи через датчики углов прецессии и через демпфирующие и упругие моменты незначительно влияют на динамические характеристики ГС.

2.3 Уравнения движения и передаточные функции канала гиросtabilизатора

ГС представляет собой систему автоматического регулирования, в которой объектом регулирования является платформа с чувствительным элементом, а регулятором – цепь стабилизации, необходимо составить структурную схему ГС и определить его передаточные функции.

Уравнения движения гиросtabilизатора имеют вид:

$$A\ddot{\alpha} + h\dot{\alpha} + N\dot{\beta} + K_2\beta + K_1 \int \beta dt = M_1;$$

$$B\ddot{\beta} + K_d\dot{\beta} + K_p\beta - N\dot{\alpha} = M_2.$$

(2.12)

Структурная схема системы автоматического регулирования дает графическое представление о зависимостях между изображениями по Лапласу для внешних возмущений и для переменных рассматриваемой системы. Поэтому для построения структурной схемы используются дифференциальные уравнения системы, записанные в изображениях по Лапласу.

Применяем к системе уравнений (2.12) преобразования по Лапласу, получим:

$$(Ap^2 + hp)\alpha(p) + \left(Np + K_2 + \frac{K_1}{p}\right)\beta(p) = M_1(p);$$

$$(Bp^2 + K_d p + K_n)\beta(p) - Hp\alpha(p) = M_2(p). \quad (2.13)$$

По полученным уравнениям структурная схема ГС будет иметь вид:

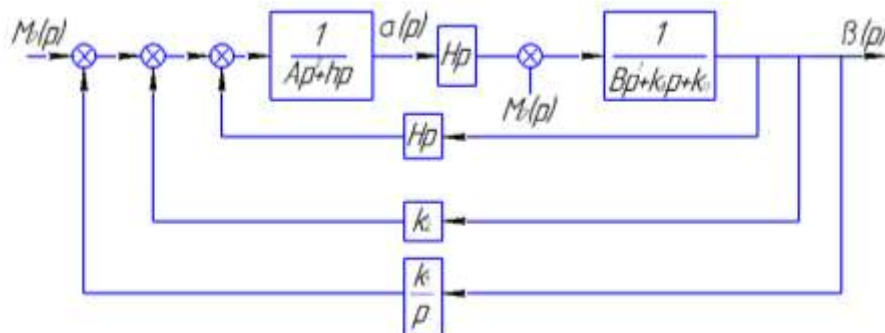


Рисунок 2.5 – Структурная схема ГС построенного на базе датчика угловой скорости

Для устранения вращения стабилизатора под действием момента M_1 в цепь стабилизации включается интегрирующее звено. Передаточная функция цепи стабилизации будет иметь вид:

$$W_c(p) = K_2 + \frac{K_1}{p} = \frac{K_2 p + K_1}{p}. \quad (2.19)$$

По структурной схеме ГС (рис 2.1), получим передаточные функции:

$$W_{\beta, M_1}(p) = \frac{Hp}{p[ABp^4 + (Bh + AK_d)p^3 + (H^2 + hK_d + AK_n)p^2 + (HK_2 + hK_n)p + HK_1]}; \quad (2.20)$$

$$W_{\alpha, M_1}(p) = \frac{Bp^2 + K_d p + K_n}{ABp^4 + (Bh + AK_d)p^3 + (H^2 + hK_d + AK_n)p^2 + (HK_2 + hK_n)p + HK_1}; \quad (2.21)$$

$$W_{\alpha, M_2}(p) = \frac{Hp^2 + K_1 p + K}{ABp^4 + (Bh + AK_d)p^3 + (H^2 + hK_d + AK_n)p^2 + (HK_2 + hK_n)p + HK_1}. \quad (2.22)$$

Из передаточных функций (2.20, 2.22) следует, что при действии постоянного момента по оси стабилизации:

$$\alpha_{ст} = \frac{K_{п}M_1}{HK_1}. \quad (2.23)$$

Из передаточной функции (2.22) определяем угловую скорость дрейфа:

$$\omega_{др} = \frac{M_2}{H}. \quad (2.24)$$

2.4 Определение возмущающих моментов по осям стабилизации

Для получения динамических характеристик необходимо вычислить возмущающие моменты по осям стабилизации.

По спроектированной в прикладном пакете КОМПАС – 3D модели были определены следующие параметры гиросtabilизатора:

Масса платформы с нагруженной рамой: $m=1,1$ кг;

Момент инерции платформы с наружной рамой : $J_{z_{пр}} = 0,15$ Н · см · с²,

Моменты инерции платформы: $J_{z_{пр}} = 0,09$ Н · см · с²,

По полученной массе и заданным значением перегрузки был выбран шарикоподшипник радиальный однорядный 1000096 [4] .

Найдем возмущающий момент $M_{воз}$, который представляет собой сумму моментов: $M_{воз} = M_{тр} + M_{тп} + M_{нб}$, $M_{тр}$ – момент трения,

$M_{тп}$ – момент тяжения токоподводов, $M_{нб}$ – момент небаланса.

Момент трения определяется по формуле [5]:

$$M_{тр} = M_0 + \left[(1,5Fa + 1,25Fr)\mu \cdot \frac{D_p\omega}{D\omega} \right], \quad (2.25)$$

где $M_0 = 4 \cdot 10^{-3}$ Н · см – момент сил трения ненагруженного шарикового подшипника, определяемый классом точности шарикового подшипника и диаметром посадочного отверстия внутреннего кольца;

$\mu = 3 \cdot 10^{-4}$ см – коэффициент трения качения,

$Fa = 30$ Н , $Fr = 30$ Н – осевая и радиальная нагрузки.

Подставляя значения, получим:

$$M_{тр} = 0,00432 \text{ Нм.}$$

Из-за того, что статическая балансировка производится с точностью до момента трения, то примем $M_{нб} = M_{тр} = 0,00432$ Нм , $M_{воз} = 2 \cdot M_{тр}$, получим

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 25 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

$$M_{\text{воз}} = 0,009 \text{ Нм.}$$

В качестве двигателя стабилизации выбираем двигатель МД71–0,07. Двигатель стабилизации представлен на рисунке 2.6 [6].



Рисунок 2.6 – Двигатель стабилизации МД71–0,07

Для дальнейшего расчета параметров цепи стабилизации необходимо учитывать характеристики выбранного двигателя стабилизации [6], а именно

Пусковой момент $M_{\text{п}} = 0,16 \text{ Н} \cdot \text{м}$, скорость холостого хода $100 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$,
противо – ЭДС $0,2 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$.

2.5 Определение параметров цепи стабилизации

Для определения коэффициента усиления K_1 воспользуемся выражением (2.23).

$$K_1 = \frac{M_{11}}{\alpha_{1\text{ст}}}, \quad (2.26)$$

где $\alpha_{1\text{ст}} = 3 \text{ угл} \cdot \text{мин} = 0,00087 \text{ рад}$ – точность стабилизации, заданная в техническом задании; $M_{11} = M_{\text{воз}}$.

Для определения соотношения между параметрами гиросtabilизатора, при которых ГС устойчив, воспользуемся характеристическим уравнением:

$$a_0 \lambda^4 + a_1 \lambda^3 + a_2 \lambda^2 + a_3 \lambda + a_4 = 0, \quad (2.27)$$

где $a_0 = AB$; $a_1 = Bh + AK_{\text{д}}$; $a_2 = H^2 + hK_{\text{д}} + AK_{\text{п}}$; $a_3 = HK_2 + hK_{\text{п}}$; $a_4 = HK_1$.

Разделим все коэффициенты на АВ, получим:

$$b_0\lambda^4 + b_1\lambda^3 + b_2\lambda^2 + b_3\lambda + b_4 = 0, \quad (2.28)$$

где $b_0 = 1$; $b_1 = \frac{h}{A} + 2d\omega_0$; $b_2 = \frac{H^2}{AB} + \frac{h}{A}2h\omega_0 + \omega_0^2$; $b_3 = \left(K_2\frac{k}{A} + \frac{h}{A}\right)\omega_0^2$;
 $b_4 = K_1\frac{k}{A}\omega_0^2$,

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{K_{\Pi}}{B}}$ – собственная частота датчика угловой скорости;

$k = \frac{H}{K_{\Pi}}$ – коэффициент передачи датчика угловой скорости; $2d\omega_0 = \frac{K_{\Delta}}{B}$,

d – относительный коэффициент демпфирования.

Необходимое условие устойчивости по критерию Гурвица ($b_0 > 0$) выполняется. Достаточным условия устойчивости является положительность определителя Гурвица Δ_3 составленного из коэффициентов характеристического уравнения:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} b_1 & b_3 & 0 \\ b_0 & b_2 & b_4 \\ 0 & b_1 & b_3 \end{vmatrix} = b_1b_2b_3 - b_1^2b_4 - b_3^2 > 0. \quad (2.29)$$

Так как коэффициент K_1 входит в b_3 характеристического уравнения (2.28), неравенство (2.27) запишем в виде:

$$b_3^2 - b_1b_2b_3 + b_1^2b_4 = 0, \quad (2.30)$$

откуда, $b_{3(1,2)} = \frac{b_1b_2}{2} \left[1 \pm \frac{\sqrt{b_2^2 - 4b_4}}{b_2} \right]$.

Условие $b_2^2 > 4b_4$, что соответствует условию $\frac{H^2}{AB} + \frac{h}{A}2d\omega_0 + \omega_0^2 > 2\omega_0\sqrt{K_1\frac{k}{A}}$ выполняется с учетом реальных соотношений параметров

$$\omega_0 > 2\sqrt{K_1 \frac{k}{A}}$$

(2.31)

Запишем выражение (2.28) в виде:

$$f(b_3) = b_3^2 - b_1 b_2 b_3 + b_1^2 b_4 . \quad (2.32)$$

Максимальный запас устойчивости выполняется при максимальном значении определителя Гурвица. Для определения коэффициента b_3 , соответствующего максимальному запасу устойчивости, приравняем производную $df(b_3)/db_3$ к нулю выражение:

$$2b_3 - b_1 b_2 = 0. \quad (2.33)$$

Откуда $b_3^* = \frac{b_1 b_2}{2}$.

При выполнении условия $b_3^* = \frac{b_1 b_2}{2}$, где b_3^* – соответствует максимальному запасу устойчивости, откуда $(K_2 k) = d\omega_0 A$ или

$$K_2 = \frac{d\omega_0 A}{k}. \quad (2.34)$$

Вывод по второй главе: Выведены уравнения движения двухосного ГС, рассмотрено влияние линейных перекрестных связей на динамику ГС. Получены уравнения движения и передаточные функции каналов ГС. Определены возмущающие моменты по осям стабилизации и параметры цепи стабилизации. Коэффициент усиления цепи стабилизации $K_1 = 310345 \frac{\text{Н}\cdot\text{см}}{\text{рад}\cdot\text{с}}$,

коэффициент демпфирования $K_2 = 26552 \frac{\text{Н}\cdot\text{см}}{\text{рад}}$ – по первому каналу;

$K_2 = 15931 \frac{\text{Н}\cdot\text{см}}{\text{рад}}$ – по второму каналу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 28 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА

В данной главе будут рассмотрены следующие вопросы:

- Параметры каналов гиростабилизатора;
- Моделирование динамики ДУС;
- Моделирование динамики двухосного ГС;

3.1 Параметры каналов гиростабилизатора

Для исследования динамики ГС и ДУС запишем следующие параметры:

$\omega = 5,24 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ – максимальная измеряемая угловая скорость ДУС;

$A_1 = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$ – момент инерции гиростабилизатора по первому каналу;

$A_2 = 0,09 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$ – момент инерции гиростабилизатора по второму каналу;

$\beta = 1^\circ$ – максимальный угол поворота гиروزла ДУС;

$K_{\text{п}} = 195 \frac{\text{Н} \cdot \text{см}}{\text{рад}}$ – коэффициент жесткости пружины ДУС;

$B = 0,00028 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$ – момент инерции гиروزла ДУС;

$\omega_0 = 834,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ – собственная частота ДУС;

$K_{\text{д}} = 0,33 \text{ Н} \cdot \text{см} \cdot \text{с}$ – коэффициент демпфирования;

$\alpha_{\text{ст}} = 0,00087 \text{ рад}$ – точность стабилизации (амплитуда колебаний платформы);

Из выражения (2.31) следует, что собственная частота ДУС должна быть больше $2 \sqrt{K_1 \frac{k}{A}}$ следовательно, $834,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}} > 172 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, условие (2.31) выполняется.

3.2 Моделирование динамики чувствительного элемента

Исследование динамики ДУС с техническими характеристиками, выполнена в программе VisSim3.0 (ПРИЛОЖЕНИЕ А). График переходного процесса представлен на рисунке 3.1.

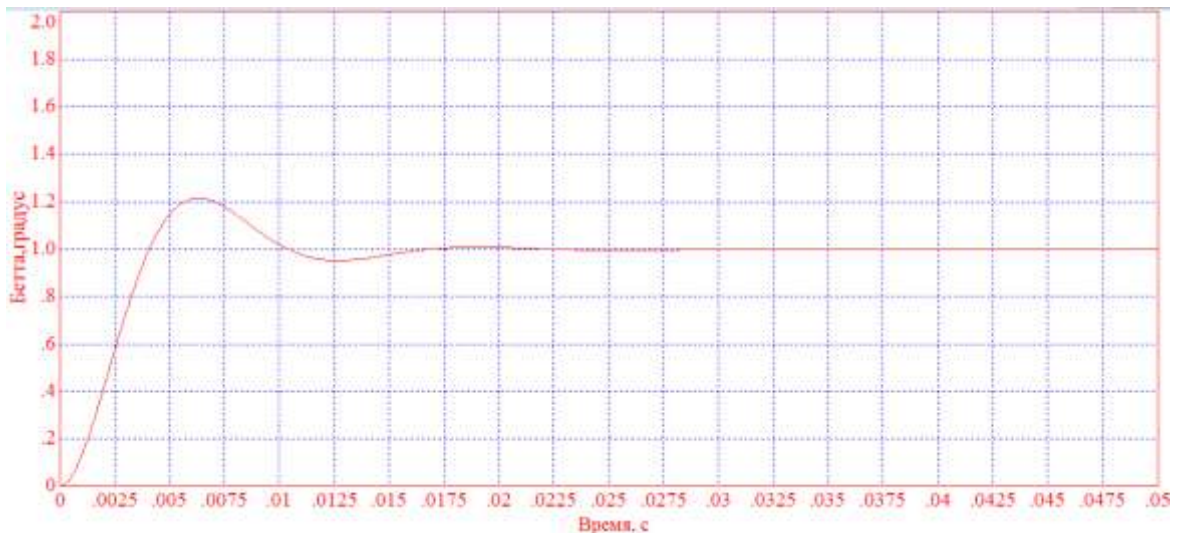


Рисунок 3.1 – Переходный процесс динамики датчика угловой скорости

Из графика переходного процесса (см. рисунок 3.1) следует, что перерегулирование по координате β :

$$\sigma = \frac{h_{max} - h_{уст}}{h_{уст}} 100\% = \frac{1,22 - 1}{1} 100\% = 22\%,$$

время регулирования $t_p = 0,0125$ с.

3.3 Моделирование динамики гиросtabilизатора

Динамическая модель каналов двухосного ГС без учета перекрестных связей, выполнена в программе VisSim3.0 (ПРИЛОЖЕНИЕ Б). Графики переходных процессов представлены на рисунках (3.2, 3.3, 3.4, 3.5).

Графики переходных процессов первого канала:

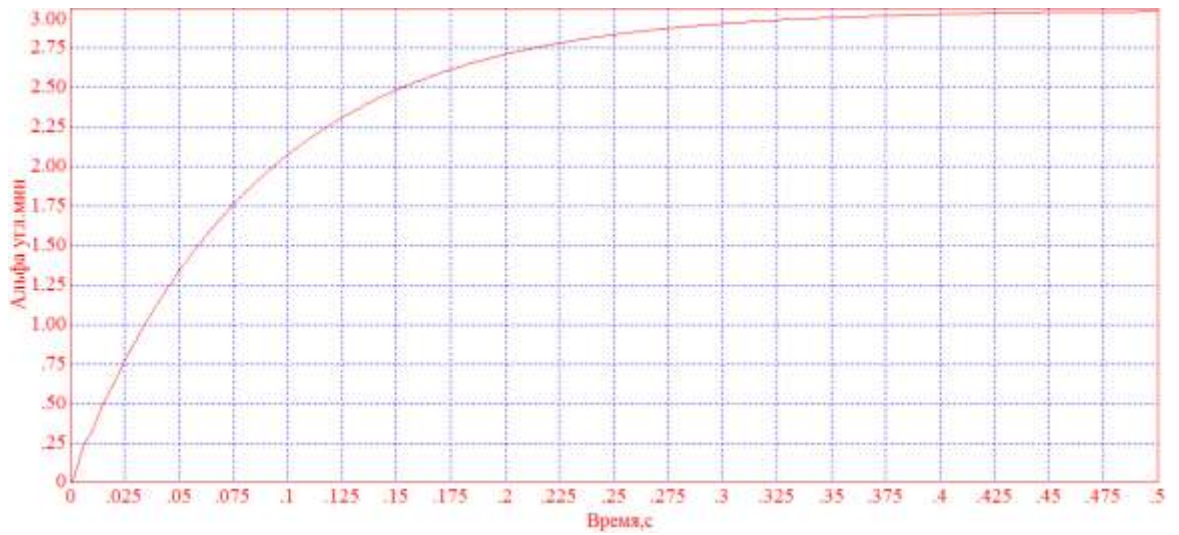


Рисунок 3.2 – Переходный процесс без учёта перекрестных связей по первому каналу

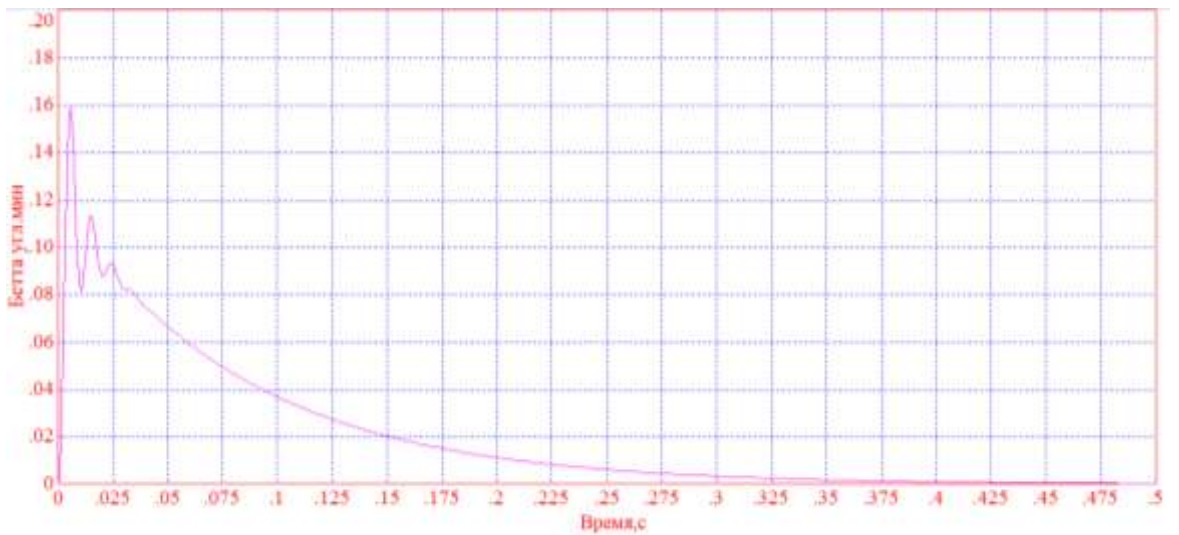


Рисунок 3.3 – Переходный процесс без учёта перекрестных связей по первому каналу

Графики переходных процессов второго канала:

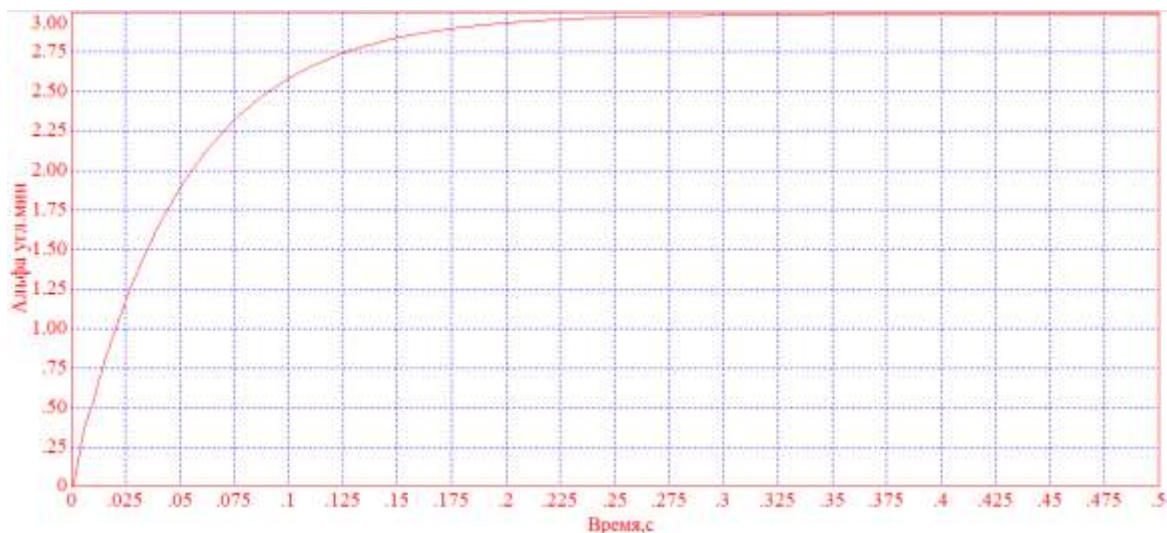


Рисунок 3.4 – Переходный процесс без влияния перекрестных связей по второму каналу

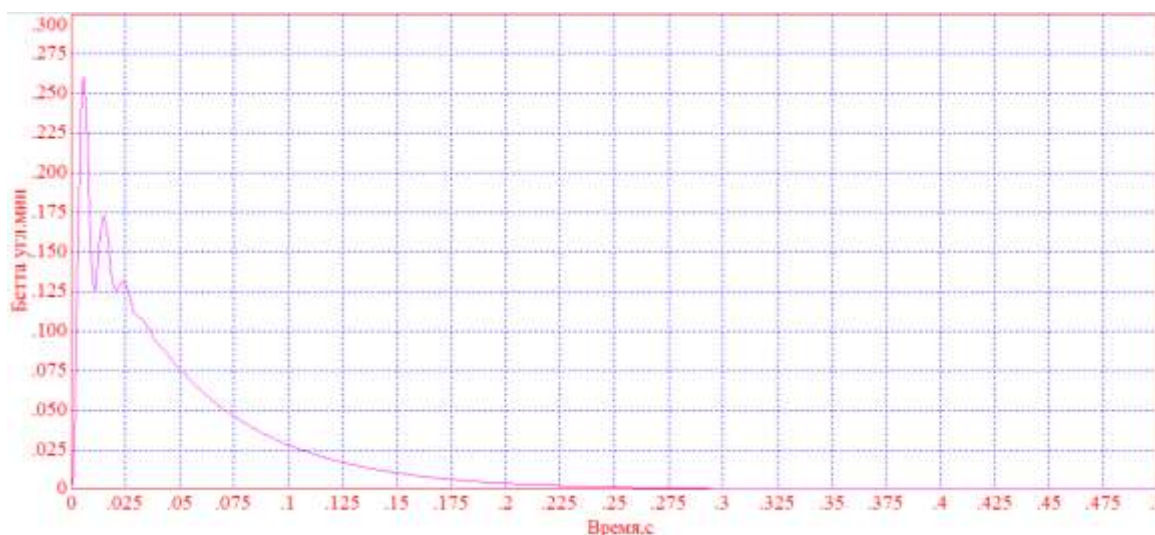


Рисунок 3.5 – Переходный процесс без влияния перекрестных связей по второму каналу

Из графика переходных процессов (см. рисунок 3.2, 3.4) перерегулирование по координатам α_1 и α_2 отсутствует, точность стабилизации $\alpha_{ст1}$ и $\alpha_{ст2} = 3$ угл.мин, что соответствует ТЗ.

В (ПРИЛОЖЕНИЕ В) представлена динамическая модель ГС с учетом перекрестных связей. Для оценки влияния перекрестных связей на динамические свойства двухосного ГС, возмущающий момент приложен только по оси наружной рамы. Графики переходных процессов представлены на рисунках (3.6, 3.7, 3.8, 3.9).

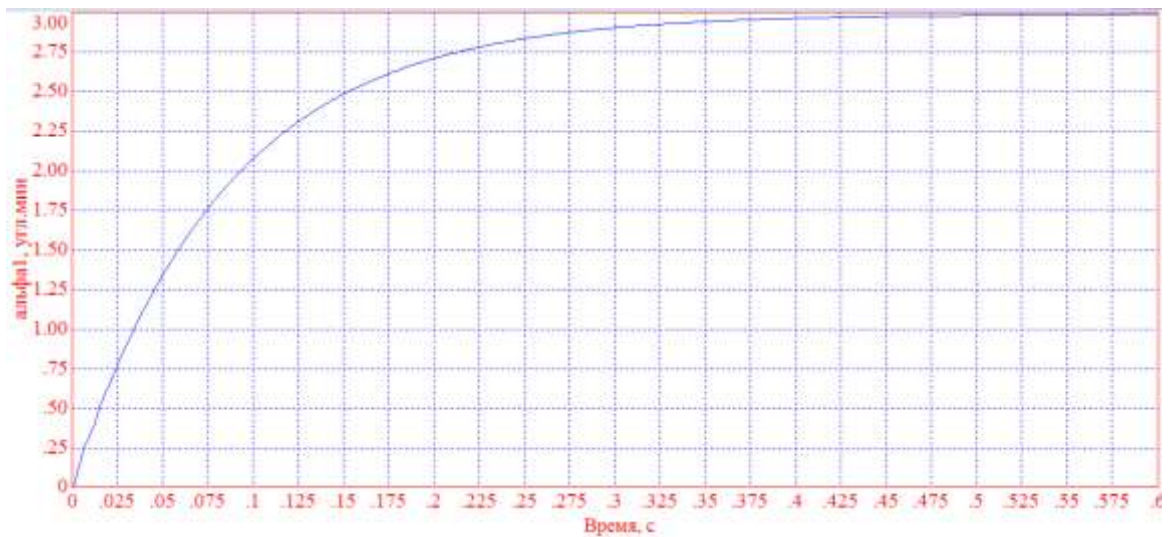


Рисунок 3.6 – Переходный процесс с учетом влияния перекрестных связей по первому каналу

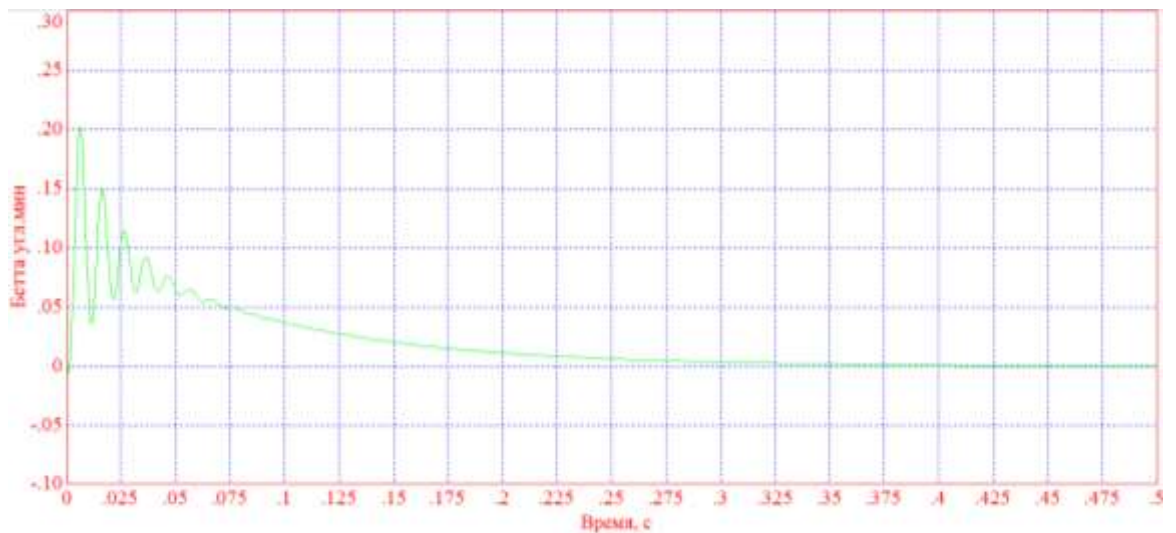
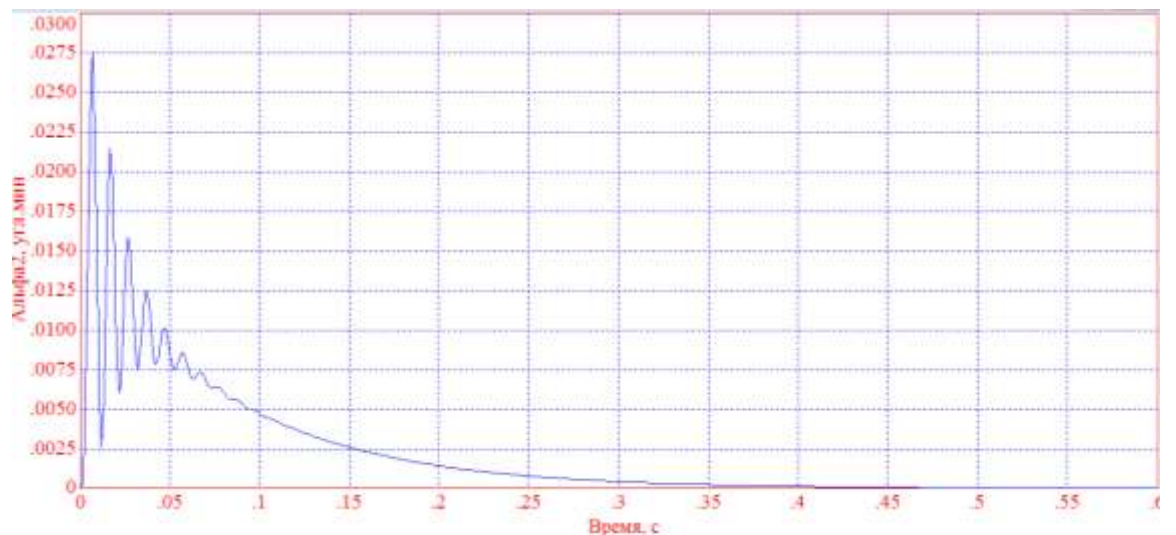


Рисунок 3.7 – Переходный процесс с учетом влияния перекрестных связей по первому каналу



| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

24.03.02.2017.886.00 ПЗ

Лист

33

Рисунок 3.8 – Переходный процесс с учетом влияния перекрестных связей по второму каналу

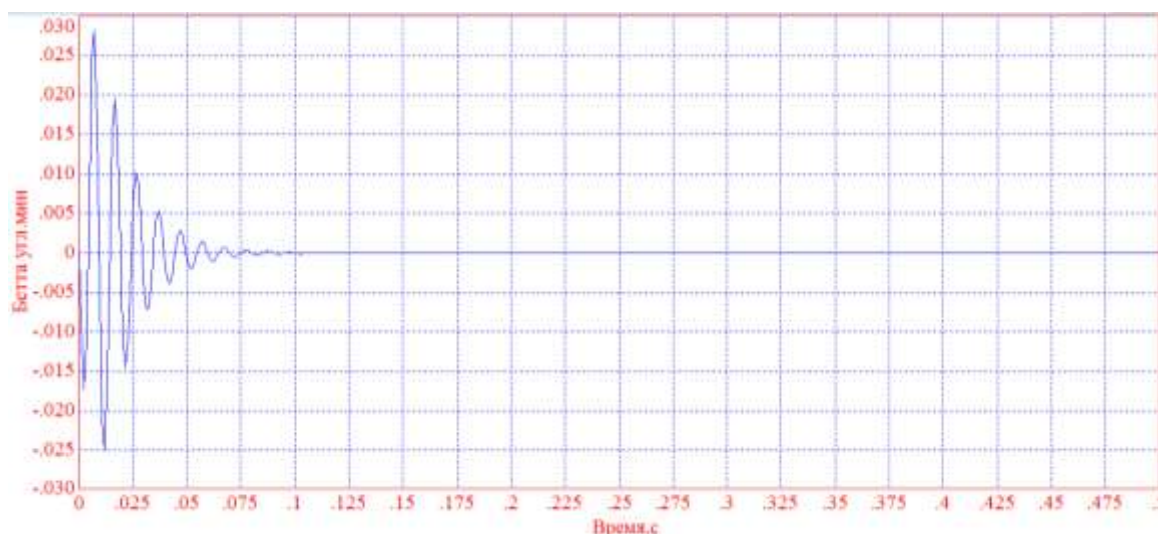


Рисунок 3.9 – Переходный процесс с учетом влияния перекрестных связей по второму каналу

Из графика переходных процессов (см. рисунок 3.6, 3.8) α_1 и α_2 следует, что динамическая ошибка по координате α_2 , обусловленная перекрестными связями, на 3 порядка меньше ошибки стабилизации заданной по ТЗ. Таким образом, перекрестные связи практически не влияют на точность стабилизации.

3.4 Моделирование динамики двухосного гиросtabilизатора в режиме управления

Для управления ГС подается сигнал (напряжения) на датчик момента ДУС. Момент датчика момента определяется по выражению:

$$M_{\text{упр}} = H \cdot \omega_{\text{упр}},$$

где, $\omega_{\text{упр}}$ – угловая скорость управления (задается по ТЗ).

$$M_{\text{упр}} = 0,34 \text{ Н} \cdot \text{см}$$

Динамическая модель ГС в режиме управления приведена в (ПРИЛОЖЕНИЕ Г). Графики переходных процессов представлены на рисунках 3,10, 3,11.



Рисунок 3.10 – Переходный процесс в режиме управления

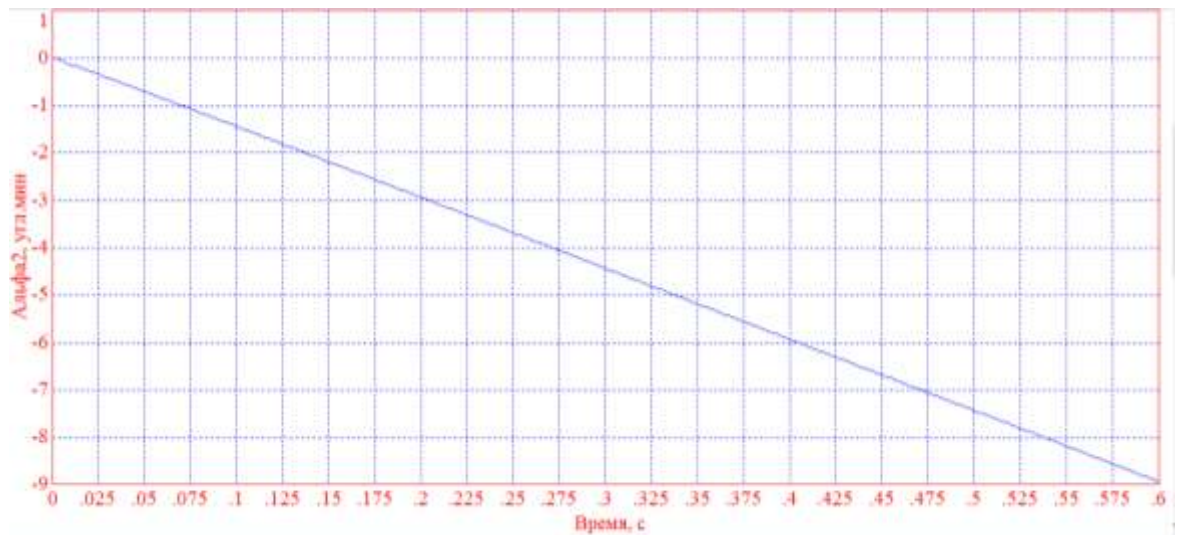


Рисунок 3.11 – Переходный процесс в режиме управления

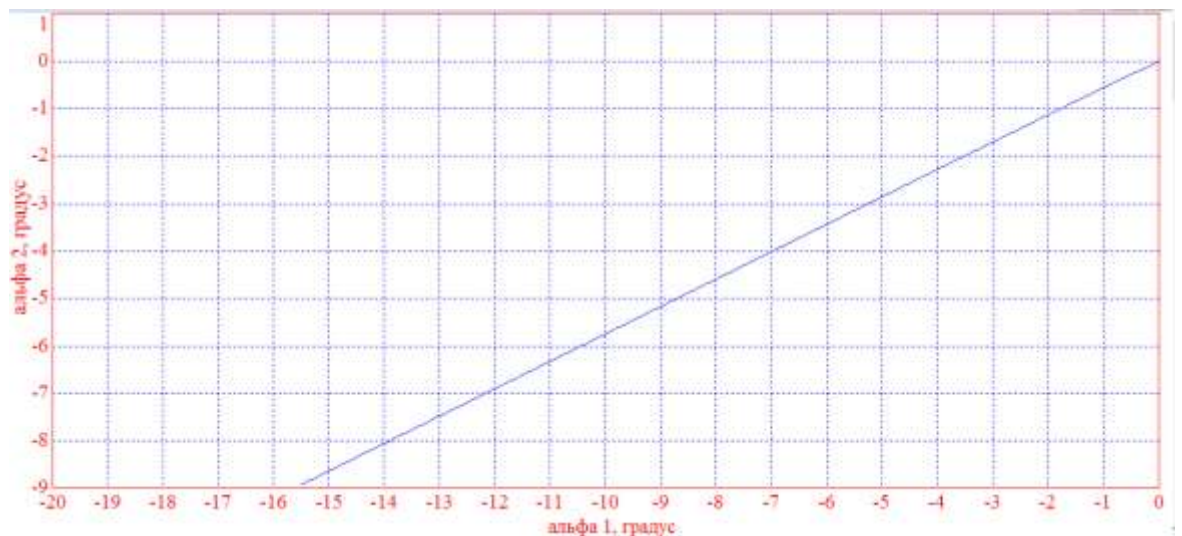


Рисунок 3.12 – Переходный процесс в режиме управления

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

Из графика переходных процессов (см. рисунок 3.10, 3.11 следует, что в режиме управления ГС разворачивается на 15° за 0,6 с.

Вывод по третьей главе: Показано что, при выбранных параметрах цепи стабилизации выполняется заданная точность стабилизации по координатам α_1 и α_2 . Из полученных переходных процессов следует, что перекрестные связи на точностные характеристики ГС практически не влияют.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 36 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для разработки двухосного гиросtabilизатора антенного модуля вертолетной радиолокационной станции решены следующие задачи:

- Обоснован выбор кинематической схемы гиросtabilизатора относительно осей объекта и чувствительных элементов на платформе;
- С помощью прикладного пакета КОМПАС 3D разработана 3D модель и определены масса – центровочные характеристики:

Масса гиросtabilизатора, кг2,4;

Габаритные размеры гиросtabilизатора, мм..... $\emptyset 235 \times 165$;

Моменты инерции $H \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$:

– по оси наружной рамы ,0,15;

– по оси платформы,0,09.

- Выведены уравнения движения двухосного гиросtabilизатора, приведен анализ влияния линейных перекрестных связей на динамику гиросtabilизатора;

– Получены передаточные функции, выражение для статической ошибки канала гиросtabilизатора, коэффициент усиления цепи стабилизации $K_1 = 310345 \frac{H \cdot \text{см}}{\text{рад} \cdot \text{с}}$, и коэффициент демпфирования $K_2 = 26552 \frac{H \cdot \text{см}}{\text{рад}}$ – по первому каналу; $K_2 = 15931 \frac{H \cdot \text{см}}{\text{рад}}$ – по второму каналу;

– По результатам моделирования в программном пакете VisSim 3.0 получено, что при выбранных параметрах цепи стабилизации выполняется заданная точность стабилизации по координатам α_1 и α_2 . Из полученных переходных процессов следует, что перекрестные связи практически не влияют на точностные характеристики гиросtabilизатора.

– Разработана конструкторская документация двухосного гиросtabilизатора антенного модуля для вертолетной радиолокационной станции, построенного на базе датчика угловой скорости.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| | | | | | | 37 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лысов, А.Н. Теория гироскопических стабилизаторов: учебное пособие / А.Н. Лысов, А.А. Лысова. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2009. – 117 с.
2. Коновалов, С.Ф. Гироскопические системы: учебное пособие: часть 3 / С.Ф. Коновалов, Е.А. Никитин, Л.М. Селиванова. – М.: Высшая школа, 1980. – 128с.
3. Ишлинский, А.Ю. Механика гироскопических систем: монография / А.Ю. Ишлинский. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 362с.
4. Бесекерский, В.А. Динамический синтез систем гироскопической стабилизации: монография / В.А. Бесекерский, Е.А. Фабрикант. – М.: Судостроение, 1968. – 348 с.
5. Детали и узлы гироскопических приборов: атлас конструкций / Г.А. Сломьянский, А.В. Агапов, Е.М. Родионов, С.И. Румянцев, А.Д. Тимофеева – М.: Машиностроение, 1975. – 364 с.
6. Пельпор, Д.С. Расчёт и проектирование гироскопических стабилизаторов: монография / Д.С. Пельпор, Ю.А. Колосов, Е.Р. Рахтеенко. – М.: Высшая школа, 1986. – 423 с.
7. Моментные электродвигатели и индукционные датчики угла для прецизионных электроприводов и цифровых безредукторных следящих систем. Государственный научный центр Российской Федерации, федеральное государственное унитарное предприятие центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор». – СПб: Электроприбор, 2005. – 78 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 24.03.02.2017.886.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 38 |