Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации

◄►

**Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции**

**и ордена Трудового Красного Знамени**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н.Э. БАУМАНА**

ФАКУЛЬТЕТ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*ИУ*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

КАФЕДРА \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*ИУ2*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

РАСЧЁТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовой работе на тему:

Гиростабилизатор аэрогравиметра

Москва 2009г.

# Содержание

[Введение 2](#_Toc248096307)

[Назначение прибора 4](#_Toc248096308)

[Описание чувствительных элементов системы 5](#_Toc248096309)

[1. Гироскоп ГПА-Л2 5](#_Toc248096310)

[2. Акселерометр АЛ-3 10](#_Toc248096311)

[Описание гиростабилизатора 14](#_Toc248096312)

[1. Конструкция гироплатформы ПГ-16-1 14](#_Toc248096313)

[2. Система стабилизации гироплатформы 16](#_Toc248096314)

[3. Следящая система взаимного арретирования 17](#_Toc248096315)

[4. Система термостатирования 18](#_Toc248096316)

[Математические модели погрешностей гироскопа и акселерометра 20](#_Toc248096317)

[1. Модель погрешностей акселерометра 20](#_Toc248096318)

[2. Модель погрешностей гироскопа 21](#_Toc248096319)

[Расчет инерционных характеристик 22](#_Toc248096320)

[Расчет возмущающих моментов 27](#_Toc248096321)

[1. Инерционный момент 27](#_Toc248096322)

[2. Моменты трения 27](#_Toc248096323)

[3. Моменты тяжения токоподводов 31](#_Toc248096324)

[4. Моменты остаточной несбалансированности 33](#_Toc248096325)

[5. Моменты неравножесткости карданова подвеса 34](#_Toc248096326)

[6. Определение суммарного возмущающего момента 36](#_Toc248096327)

[Выбор привода стабилизации 38](#_Toc248096328)

[Список использованной литературы 40](#_Toc248096329)

# Введение

Гиростабилизатор предназначен для удержания объекта стабилизации в некотором заданном положении в пространстве, а также для управления положением данного объекта. Гиростабилизаторы нашли широкое применение в авиационной, ракетной и судостроительной технике. С их помощью стабилизируются положение различных приборов и устройств - акселерометров, оптических прицелов, пеленгаторов, киноаппаратуры, визиров и др., - решаются задачи ориентации, стабилизации и навигации судов, летательных аппаратов, в том числе космических.

По количеству степеней свободы платформы в пространстве гиростабилизаторы делятся на:

1. одноосные гиростабилизаторы;
2. двухосные гиростабилизаторы;
3. трёхосные гиростабилизаторы.

По роли гироскопа в процессе стабилизации гиростабилизаторы делятся на:

1. cиловые;
2. индикаторно-силовые;
3. индикаторные.

### Силовые гиростабилизаторы

Примером силового гиростабилизатора может служить трёхстепенной гироскоп с системой разгрузки. При приложении внешнего момента к платформе трёхстепенной гироскоп, прецессируя, противодействует внешнему моменту, отклонение гироблока измеряется датчиком угла (ДУ) и подаётся на систему разгрузки, которая в дальнейшем компенсирует внешний момент.

Преимущества силовых гиростабилизаторов:

* низкие требования к системе разгрузки (допускается релейный закон разгрузки);
* малая динамическая ошибка, так как трёхстепенной гироскоп следит за моментом внешних сил.

Недостатки силовых гиростабилизаторов:

* низкие скорости управления, так как управление осуществляется путём подачи сигналов на датчики момента (ДМ), заставляя гироскоп с большим кинетическим моментом прецессировать;
* для стабилизации массивных объектов требуется большой кинетический момент и, как следствие, увеличение габаритов и массы гиростабилизатора.

### Индикаторно-силовые гиростабилизаторы

В этих гиростабилизаторах гироскопический чувствительный элемент оказывает слабое силовое воздействие на платформу, так как он используется как информационный датчик (индикатор). Обычно в роли чувствительного элемента применяют поплавковые интегрирующие гироскопы (ПИГ) из-за маленькой собственной скорости прецессии. При приложении внешнего момента к платформе, прецессируя, гироскоп немного сопротивляется внешнему моменту. При этом отклонение гироблока пропорционально углу поворота платформы, оно измеряется датчиком угла (ДУ) и подаётся на систему стабилизации, которая компенсирует внешний момент.

Преимущества индикаторно-силовых гиростабилизаторов:

* небольшая скорость прецессии платформы из-за особенностей подвеса ПИГ;
* небольшие габариты ПИГ, так как он слабо участвует в силовом воздействии на платформу;
* большие скорости управления.

Недостатки индикаторно-силовых гиростабилизаторов:

* повышенные требования к системе стабилизации (жесткость механических цепей, отсутствие люфтов, линейный усилитель без запаздывания);
* высокая чувствительность к изменениям температуры (необходима точная система термостатирования).

### Индикаторные гиростабилизаторы

В этих гиростабилизаторах гироскопический чувствительный элемент не оказывает силовое воздействие на платформу, он используется только как информационный датчик (индикатор). При приложении внешнего момента к платформе она двигается как негироскопическое тело, отклонение платформы измеряется чувствительным элементом и пропорциональный ему сигнал подаётся на систему стабилизации, которая компенсирует внешний момент.

Преимущества индикаторных гиростабилизаторов:

* небольшая скорость прецессии платформы, так как гироскоп, являясь индикатором, слабо участвует в силовом воздействии на платформу;
* большие скорости управления из-за малости кинетического момента.

Недостатки индикаторных гиростабилизаторов:

* повышенные требования к системе стабилизации (жесткость механических цепей, отсутствие люфтов, линейный усилитель без запаздывания);
* большие динамические ошибки из-за того, что индикатор “следит” за перемещением платформы, а не за возмущающим моментом.

# Назначение прибора

Назначением проектируемого прибора является стабилизация оси чувствительности гравиметра вдоль местной вертикали с требуемой точностью. Платформа с гравиметром будет использоваться на движущемся объекте – самолете. Из-за этого на прибор будет подвержен действию вибраций и кратковременных ударных ускорений.

Отличительной особенностью гиростабилизатора является то, что он разрабатывался для решения задач автономной навигации и не был предназначен для стабилизации каких-либо приборов. В своем составе он имеет систему акселерометров, датчиков углового положения, счетно-решающее устройство и систему управления, настройки и коррекции погрешностей. Возможность использовать уже имеющийся стабилизатор многократно сократила временные и материальные затраты.

Как будет показано в данной работе, прибор успешно справляется со стабилизацией оси чувствительности гравиметра, не смотря на то, что не был изначально для этого предназначен.

# Описание чувствительных элементов системы

## Гироскоп ГПА-Л2

Гироскоп ГПА-Л2 представляет собой трехстепенной поплавковый астатический гироскоп в кардановом подвесе, являющийся чувствительным элементом углового положения стабиплаты. Принцип действия основан на свойстве трехстепенного гироскопа сохранять неизменным в инерциальном пространстве направление оси кинетического момента и на свойстве прецессировать под действием внешних моментов.

Основными элементами конструкции гироскопа являются:

* гироузел 1, выполненный в виде сферического поплавка с гиромотором на газодинамическом подвесе;
* длинная ось 10 с дополнительным креплением гайками 3, 4 и шайбами 14, что наряду с использованием специального техпроцесса герметичного и прочного склеивания позволяет повысить стабильность центра тяжести;
* датчики угла 19 индукционного типа и датчики момента 18 магнитоэлектрического типа, расположенные по измерительным осям гироскопа;
* токоподводы 12 к гироузлу 1, выполненные в виде спиралей с левой и правой навивкой, что позволяет снизить изменение дрейфа от линейного перемещения поплавка при воздействии линейных ускорений;
* камниевые опоры 11 карданова подвеса со сферическими цапфами 13 повышенной точности изготовления;
* карданное кольцо 6, выполненное в виде жесткого кольца с повышенной точностью расточки отверстий под бушоны 2;
* корпус 8, внутренняя полость которого заполнена фторо-углеродистой жидкостью, в которой взвешен гироузел 1.

Кинематическая вязкость жидкости составляет:

- при нормальной температуре ;

- при рабочей температуре для партии жидкости .

В гироскопе применена система термостатирования с форсированным и точным обогревом. Для контроля температуры прибора использована проволочная катушка-термометр.

Основные детали конструкции гироскопа выполнены из бериллия; применена индиевая герметизация корпуса.

Перечисленные конструктивные особенности позволяют обеспечить высокую точность, стабильность характеристик и большой ресурс гироскопа, т.к.:

* применение бериллия обеспечивает быстрый и равномерный прогрев, временную стабильность и износоустойчивость конструкции;
* газодинамический подвес позволяет исключить трущиеся поверхности, что способствует повышению стабильности параметров благодаря отсутствию смещения центра тяжести и увеличивает технический ресурс гироскопа;
* взвешивание поплавка в жидкости и применение сверхпрецизионных опор карданова подвеса гироузла обеспечивает минимальные моменты трения и виброустойчивость гироскопа;
* индиевая герметизация повышает временную надежность, т.к. предотвращает образование газовых пузырей, ухудшающих точностные характеристики гироскопа.

В гироскопе реализована безрезисторная схема, позволяющая осуществить в системе алгоритмическую компенсацию следующих параметров:

* систематические составляющие скорости дрейфа, зависящие от ускорений;
* перекрестное влияние ДМ;
* дрейф, зависящий от давления окружающей среды.

Электропривод гироскопа ГПА-Л2 включает в себя гиродвигатель (ГД) и источник питания (ИП), состоящий из преобразователя трехфазного напряжения ПТН-УС и обеспечивающих его работу генератора опорной частоты (ГОЧ) и блока стабилизатора питания (БСП), которые в комплексе обеспечивают стабилизированное напряжение и частоту питания, а также помехозащищенность преобразователя ПТН-УС.

Технические характеристики гироскопа ГПА-Л2.

1. Кинетический момент
2. Максимальная скорость прецессии, развиваемая гироскопом .
3. Крутизна характеристик датчиков угла:

1. Крутизна характеристик датчиков момента:
2. Погрешность определения масштабного коэффициента, не более
3. Перекрестное влияние датчиков момента, не более
4. Входное сопротивление цепей датчиков момента
5. Угол поворота гироузла по любой из измерительных осей
6. Температурный коэффициент дрейфа гироскопа
7. Скорость дрейфа гироскопа

* систематическая составляющая скорости дрейфа гироскопа, не зависящая от ускорения, не более
* изменение систематической составляющей скорости дрейфа от запуска к запуску (вариация дрейфа), не более:

по оси Y

по оси Z

* случайная составляющая скорости дрейфа гироскопа в запуске (за время запуска 2ч), не более:

1. Масса гироскопа, не более
2. Энергопотребление

* мощность, потребляемая датчиками угла, не более
* мощность, потребляемая гиромотором, не более:

в пусковом режиме

в установившемся режиме

Режим управляемого скольжения гироскопа ГПА-Л2

Электропривод гироскопа ГПА-Л2 включает в себя гиродвигатель (ГД) и источник питания (ИП), состоящий из преобразователя трехфазного напряжения ПТН-УС и обеспечивающих его работу генератора опорной частоты (ГОЧ) и блока стабилизатора питания (БСП), которые в комплексе обеспечивают стабилизированное напряжение и частоту питания, а также помехозащищенность преобразователя ПТН-УС.

ПТН-УС представляет собой преобразователь постоянного напряжения в переменное трехфазное и позволяет обеспечивать форсированный запуск ГД с напряжением и рабочий режим с с импульсным намагничиванием, обеспечивающим асинхронизацию ротора. Частота выходного напряжения ПТН-УС

ПТН-УС, включающий режим управляемого скольжения, был внедрен на базе ПТН с амплитудным перевозбуждением.

Основанием для разработки ПТН-УС послужило требование повышения точности гироскопа ГПА-Л2.

Повышение точности гироскопа ГПА-Л2 достигается совершенствованием конструкции прибора за счет снижения погрешностей, определяемых подвесом, опорами, токоподводами, решением вопросов термостатирования, экранирования и т.д., а также путем использования алгоритмических средств управления режимами питания гиродвигателя (ГД).

На точностные параметры ГПА-Л2 кроме конструктивных и технологических факторов, заложенных в них на стадии проектирования и изготовления, большое значение оказывают различные дестабилизирующие факторы, связанные с нестабильностью теплового, магнитного и вибрационного полей, создаваемым гиродвигателем.

Чем точнее прибор, тем выше роль гиродвигателя, т.к. он является основным внутренним источником тепла, магнитного поля и вибраций.

Основными дестабилизирующими факторами являются изменение момента нагрузки и параметров ГД – амплитуды, частоты и фазы питающего напряжения.

Воздействие на ГД дестабилизирующих факторов характеристики ГД, что приводит к появлению различного рода погрешностей, снижающих точность ГПА-Л2, которые классифицируются в соответствии с физической природой вызывающих их возмущений:

* нестабильность кинетического момента Н;
* тепловая разбалансировка;
* переменные магнитные воздействия;
* изменение фазового положения ротора относительно синхронной системы координат.

Анализ дестабилизирующих электромагнитных факторов, характеризующих качество источника питания, позволяет выделить три основных фактора, влияющих на точностные параметры гироскопа:

* прерывание питания гиродвигателя, которое дает развозбуждение двигателя с резким изменением тока, а, следовательно, изменением напряжения, магнитного состояния ротора и его поля рассеяния, изменение положения ротора.
* изменение напряжения питания ГД, которое может приводить к изменению тока ГД и связанного с ним магнитного поля рассеяния статора, к изменению теплового состояния ГД и тепловой разбалансировке.
* сбои по частоте питания, которые приводят к изменению тока, магнитного состояния ротора, изменению положения ротора.

В условиях действия дестабилизирующих факторов стабилизирующее действие на точностные параметры гироскопа оказывает режим импульсного перевозбуждения со скольжением ротора, который обеспечивает стабилизацию токов при любых возмущениях и может создать режим скольжения для усреднения положения ротора.

Определение точного уровня погрешностей ГПА-Л2, зависящих от ГД и их систематизация по максимальным значениям вариаций от прерываний питания ГД показала, что максимальную долю вариаций скорости дрейфа составляет погрешность, связанная с развозбуждением ротора ГД, которое составляет:

по оси Y -

по оси Z -

и погрешность, связанная с неоднозначным положением ротора, которая находится в пределах:

по оси Y -

по оси Z -

Средством исключения ошибки, связанной с развозбуждением ротора ГД и уменьшением погрешности, связанной с неоднозначным положением ротора, явилось введение режима управляемого скольжения (ПТН-УС), которое осредняет ее, уменьшая вариацию скорости дрейфа по обеим осям гироскопа до , т.е. в 3-6 раз по сравнению с режимом амплитудного перевозбуждения, реализованного в штатном источнике ПТН.

Суть импульсного регулирования возбуждением ГД состоит в создании по цепям статора импульсов намагничивающего тока в течение доли периода частоты питания, строго дозированных по амплитуде и “привязанных” к определенному временному интервалу, отсчитываемому от напряжения одной из фаз. Импульсное питание обеспечивает стабилизацию магнитного состояния ротора на уровне перевозбужденного режима.

В результате этого обеспечивается стабилизация:

* магнитного состояния ротора и соответствующего магнитного роля рассеяния ротора;
* тока двигателя, а, следовательно, и стабилизация теплового состояния;
* стабилизируется мгновенная частота вращения, т.е. демпфируются качания ротора.

Суть режима скольжения состоит в том, что выбором фазы импульсов, создается периодическое смещение положения намагниченности ротора, что, в свою очередь, приводит к скольжению ротора.

Режим управляемого скольжения обеспечивает:

* сохранение режима перевозбуждения с минимальным током;
* минимальное возмущение момента;
* стабильность средней скорости;
* простоту технической реализации.

Внедрение в электропривод источника питания ПТН-УС с режимом управляемого скольжения для снижения вариаций скорости дрейфа, связанных с неоднозначностью положения ротора ГД, позволило:

* обеспечить стабилизацию энергетических характеристик ГД, особенно в условиях действия дестабилизирующих факторов, обеспечивая устойчивый режим перевозбуждения ГД с токами на уровне ;
* уменьшить вариации систематической составляющей скорости дрейфа и изменение величины скорости дрейфа при прерывании питания ГД в раз по сравнению с режимом без перевозбуждения (ПТН) и в раза по сравнению с режимом импульсного перевозбуждения;
* обеспечить отсутствие развозбуждения ГД, вызванное случайными сбоями в системе питания.

Таким образом, разработка и внедрение источника питания ПТН-УС дала возможность улучшить основные точностные параметры гироскопа ГПА-Л2 и уменьшить вариацию скорости дрейфа от запуска к запуску в 2 раза.

## Акселерометр АЛ-1

Акселерометр А-Л1 представляет собой жидкостной, поплавковый прибор маятникового типа. Датчик акселерометра представляет собой герметичную камеру, образованную корпусом и крышкой, сваренными между собой лазерной сваркой.

Во внутренней полости датчика акселерометра, заполненной жидкостью Б2-П, размещены:

* поплавок 3 с катушками датчика угла 4 и датчика момента 5;
* две магнитные системы статоров датчика момента;
* два статора датчика угла;
* кронштейн 7 подвески поплавка с парой электромагнитов 11 осциллятора;
* два сильфона 12 - компенсаторы объемного расширения жидкости;
* гибкие пружины токоподводы, соединяющие электрические цепи поплавка с корпусными электрическими цепями.

Соединение внутренних электрических цепей датчика акселерометра с внешними осуществляется через герметичные стеклянные изоляторы, впаянные в корпус.

Поплавок - прямоугольной формы, состоит из корпуса и крышки, герметично склеенных между собой. Корпус и крышка поплавка изготовлены из магниевого сплава МА-2 и образуют герметичный объем, обладающий избыточной плавучестью в жидкости Б2-П.

На поплавке расположены:

* две сигнальные катушки датчика угла 5;
* две катушки датчика момента 6;
* два бушона 8 с камнями опоры ПО-0.2;
* тяжелый груз (из золота), обеспечивающий заданную маятниковость;
* тяжелые грузы (из сплава золото+серебро) - винты, и легкие грузы (винты из магния) - для точной регулировки температурной компенсации дрейфа нулевого сигнала акселерометра.

Катушки, а также бушоны с камнями, закреплены на поплавке клеем ВК-9 (наполнитель: для катушки - кварцевый, для бушонов - электрокорунд).

С целью повышения точностных характеристик прибора поплавок подвергается термической и механической приработке.

Статоры датчика угла - состоят из двух П-образных ферритовых сердечников с катушками каждый. Сердечники вклеены в корпус из титанового сплава и могут перемещаться по направляющим корпуса прибора в процессе регулировки. После выполнения регулировки каждый статор закрепляется на корпусе двумя винтами. В корпусах статоров установлены регулируемые упоры, ограничивающие угол отклонения поплавка. На боковых поверхностях корпусов приклеены планки из фольгированного стеклотекстолита для распайки электромонтажа.

Кронштейн осциллятора выполнен в виде камертона из стали 16Х16НЗМАД. В резонирующих ветвях камертона устанавливаются при окончательной сборке прибора оси опор ПО-0.2. Кронштейн настраивается на воздухе на резонансную частоту , с тем, чтобы в жидкости получить частоту резонанса .

Настройка производится удалением металла с резонирующих ветвей кронштейна. Амплитуда колебаний осей в жидкости составляет несколько мкм.

Электромагниты 11 осциллятора представляют собой катушки, установленные на постоянные магниты, и вклеены в гнезда корпуса.

Наличие постоянного подмагничивания позволяет возбуждать кронштейн на основной частоте питания, т.е. . Обмотки катушек соединены последовательно и запитываются током частоты при напряжении от внешнего источника питания. С этого же источника подается питание на статоры датчика угла. Экспериментально подтверждено, что при таком включении питания осциллятора и статоров ДУ минимизируются помехи на выходе ДУ.

Сильфоны компенсации объемного расширения жидкости выполнены в виде герметичных коробок, одна из которых герметизируется при нормальном давлении, а вторая - при пониженном; в соответствии с этим, один сильфон компенсирует изменение объема жидкости при нагреве, а второй - при охлаждении. Сильфоны установлены в специальных гнездах крышки прибора и имеют ограничители хода.

Гибкие пружинные токоподводы выполнены из медной проволоки в виде витой пружины и длиной . Изготовляются по спец. технологии. После распайки в приборе - отжигаются током для уменьшения тяжения.

Взвешенный в жидкости поплавок позволяет уменьшить нагрузку на опоры.

Разнесение центра тяжести и центра давления в разные стороны от оси поплавка позволяет обеспечить стабильность масштабного коэффициента, т.к. на поплавок действует не только момент маятниковости (за счет смещения центра тяжести), но и момент выталкивающий (за счет смещения центра давления), поворачивающий поплавок в ту же сторону, что и момент маятниковости.

Применение осцилляции опор позволяет исключить неопределенный момент статического трения определенным и стабильным моментом динамического трения, что существенно повышает стабильность нулевого сигнала как в запуске, так и от запуска к запуску.

Симметричный дифференциальный датчик угла трансформаторного типа позволяет достичь высокой стабильности геометрического положения «нулевого» сигнала, что способствует сохранению неизменными корпусных моментов и «нулевого» сигнала.

Кроме перечисленных факторов в приборе предусмотрена система термостатирования, состоящая из обогревателей и термодатчика, обеспечивающих поддержание рабочей температуры в пределах , а также предусмотрены элементы электрической регулировки нулевого сигнала ДУ и точной температурной компенсации масштабного коэффициента.

# Описание гиростабилизатора

## Конструкция гироплатформы ПГ-16-1

Платформа ПГ-16-1 предназначена для стабилизации осей чувствительности акселерометров, для выдачи сигналов углов ориентации (углов курса, крена и тангажа).

В гироплатформе применена классическая схема карданова подвеса - наружный карданов подвес. Для обеспечения работы платформы при любых маневрах самолета предусмотрена дополнительная (четвертая) рама карданова подвеса. Последовательность рам карданова подвеса соответствует принятой в авиации: стабиплата, жестко связанная с рамой курса , за которой следуют рама «внутреннего крена» , рама «тангажа» и рама «наружного крена» - дополнительная рама. Названия рам соответствуют осям самолета, параллельно которым они расположены.

В платформе применена встроенная система амортизации, т.е. амортизирующая только карданов подвес, позволяющая повысить резонансную частоту конструкции и уменьшить уровень виброперегрузок на стабиплате.

Углы поворота рам курса и наружного крена не ограничены. Углы поворота тангажной рамы и рамы внутреннего крена ограничены и составляют соответственно и .

На стабиплате расположены три датчика акселерометра типа А-ЛЗ таким образом, что оси чувствительности акселерометров ортогональны (соответственно Ах, Ay, Az), и два трехстепенных поплавковых астатических гироскопа типа ГПА-Л2.

Акселерометры Ах, Ау используются для решения навигационной задачи (измеряют ускорения вдоль горизонтальных осей объекта) - для определения составляющих путевой скорости и координат местоположения.

Акселерометр Az служит для выдачи сигналов, пропорциональных вертикальному ускорению объекта.

Чувствительными элементами углового положения стабиплаты являются два трехстепенных гироскопа, расположенные таким образом, что оси их кинетических моментов ( и ) параллельны осям чувствительности горизонтальных акселерометров.

Гироскоп Г1, оси прецессии которого параллельны осям X и Z, а вектор кинетического момента ориентирован по оси Y называется «северным». Гироскоп Г1 является датчиком углового положения стабиплаты относительно вертикальной и одной из горизонтальных осей.

Гироскоп Г2, оси прецессии которого параллельны осям Y и Z, а вектор кинетического момента ориентирован по оси X называется «восточным». Гироскоп Г2 является датчиком углового положения стабиплаты относительно второй горизонтальной оси.

Для выдачи информации об угловом положении объекта по каждой из осей карданова подвеса платформы установлен сдвоенный синусно-косинусный трансформатор (СКТ): СКТД- 6477 - по каналам

При развороте самолета по курсу оси кардановых рам меняют свое направление относительно осей стабиплаты (т.е. осей гироскопов и акселерометров), поэтому датчики угла каналов стабилизации относительно горизонтальных осей стабиплаты включены в контур стабилизации через преобразователь координат (ПК). Преобразователь координат перераспределяет сигналы датчиков углов гироскопов Г1 и Г2 между контурами стабилизации по тангажу и внутреннему крену пропорционально синусу и косинусу угла разворота стабиплаты относительно курсовой оси.

В качестве преобразователя координат используется СКТ1-277Б, статор которого укреплен на стабилизированной платформе, а ротор связан с рамой внутреннего крена зубчатой передачей с передаточным отношением 1:1. На вход СКТ подаются сигналы с датчиков гироскопов и , предварительно усиленные в цепях усиления, смонтированными непосредственно на гироскопе. Преобразованные сигналы с ПК через усилители и , подаются на двигатели стабилизации и , установленные на соответствующих осях карданова подвеса.

В качестве двигателей стабилизации в платформе использованы датчики момента постоянного тока, по одному в каждом канале стабилизации, установленные на осях вращения рам внутреннего крена, тангажа и курса.

Применение дополнительной рамы - рамы наружного крена - обеспечивает работоспособность платформы при любых эволюциях самолета, исключая возможность «сложения» рам, т.е. совмещения осей X и Z. Следящая система канала наружного крена, предназначенная для поддержания перпендикулярности осей X и Z, включает в себя датчик угла , усилитель и двигатель . Статор жестко связан с рамой тангажа, а ротор - с рамой внутреннего крена, так что выходной сигнал пропорционален углу отклонения от перпендикулярности осей X и Z - .

## Система стабилизации гироплатформы

Система стабилизации платформы состоит из четырех следящих систем, каждая из которых обеспечивает стабилизацию соответственно осей курса, внутреннего крена, тангажа и наружного крена. Кроме того, в систему стабилизации также включена следящая система взаимного арретирования гироскопов, обеспечивающая взаимную перпендикулярность осей кинетических моментов гироскопов.

Следящие системы работают в двух режимах:

1) режим «Грубая выставка» (грубое приведение платформы в исходное положение. В этом режиме входными сигналами следящих систем по каналам курса, внутреннего крена, тангажа и наружного крена являются сигналы с синусно-косинусных трансформаторов (СКТ).)

2) режим «Стабилизация» (входными сигналами следящих систем (кроме следящей системы ) являются сигналы датчиков углов гироскопов. Входным сигналом следящей системы является сигнал с )

Принцип действия следящих систем аналогичен для всех каналов и сводится к следующему: при действии внешнего возмущающего момента происходит разворот стабиплаты и закрепленных на ней корпусов гироскопов на некоторый угол. На сигнальной обмотке соответствующего датчика угла гироскопов (на сигнальной обмотке ) появляется напряжение, которое подается на усилитель стабилизации, либо непосредственно (по каналам курса и наружного крена), либо через преобразователь координат (для каналов тангажа и внутреннего крена). После усиления и преобразования в усилителе стабилизации напряжение подается на моментный датчик стабилизации по той оси, по которой произошло отклонение.

Отличительной особенностью следящей системы является наличие в ней цепи автоматического регулирования усиления по закону . Это необходимо для поддержания постоянным коэффициента усиления всего контура при любых углах тангажа объекта, т.к. при увеличении угла тангажа коэффициент передачи между углами поворота рамы и рамы изменяется пропорционально . Для этого в усилитель стабилизации заводится сигнал, пропорциональный с грубого отсчета.

Рассмотрим канал курса. В режиме стабилизации любое отклонение платформы под действием возмущающих моментов относительно оси Z приводит к рассогласованию датчика угла ,установленного на наружной оси карданова подвеса гироскопа Г1, так как трехстепенной астатический гироскоп в соответствии с основным свойством сохраняет неизменным направление вектора в пространстве. Выходной сигнал с через усилитель канала курса поступает на обмотку управления двигателя , который разворачивает платформу вокруг оси Z до обнуления выходного сигнала с .

В режиме управления на датчик момента , установленный по внутренней оси карданова подвеса гироскопа Г1, поступает электрический сигнал. Под действием момента, создаваемого гироскоп Г1 прецессирует вокруг оси своей наружной рамки, возникает рассогласование на , выходной сигнал с которого через усилитель поступает на двигатель , с помощью которого платформа разворачивается вокруг оси Z с требуемой скоростью.

Для обеспечения стабилизации и управления относительно осей X и Y при любых значениях используется преобразователь координат ПК, осуществляющий синусно-косинусное преобразование выходных сигналов датчиков угла и гироскопов Г1 иГ2 при изменении ориентации осей карданова подвеса платформы X и Y относительно стабилизированной платформы с гироскопами.

## Следящая система взаимного арретирования

По принципу действия системы ось кинетического момента гироскопа Г2 должна быть перпендикулярна оси кинетического момента гироскопа Г1, что обеспечивается с помощью следящей системы взаимного арретирования гироскопов.

На вход усилителя арретирования подается разность сигналов азимутальных датчиков угла гироскопов Г1 иГ2, пропорциональная отклонению от ортогональности между горизонтальной осью прецессии гироскопа Г2 и горизонтальной осью прецессии гироскопа Г1.

С выхода усилителя арретира сигнал поступает на датчик момента ведомого гироскопа Г2 и заставляет его прецессировать до тех пор, пока сигнал с ДУ ведомого гироскопа не станет равен «нулевому» сигналу.

При этом перпендикулярность осей кинетических моментов обеспечивается даже при неточной работе системы стабилизации курса.

## Система термостатирования

С целью создания необходимых температурных условий для работы элементов предусмотрена система термостатирования, состоящая из четырех каналов:

1. Канал термостатирования гироскопа Г1;
2. Канал термостатирования гироскопа Г2;
3. Канал термостатирования основания;
4. Канал термостатирования корпуса.

Основными элементами первых трех каналов являются термодатчик (ТД), усилитель термостатирования (УТ), блок диодов-тиристоров (БД) и нагревательный элемент.

Работа системы термостатирования состоит в следующем. Сигналы термодатчиков после усиления в усилителе термостатирования управляют тиристорами блока диодов: при температуре ниже требуемой (большой сигнал ТД) тиристор открыт, при температуре равной или выше требуемой (малый сигнал ТД) тиристор закрыт. Включение и выключение нагревательных элементов, питание которых осуществляется через тиристоры, происходит одновременно с изменением состояния тиристора.

Для уменьшения времени обогрева на корпусе и кожухе платформы установлены дополнительные нагревательные элементы, работающие ограниченное время. Эти нагревательные элементы, называемые форсированными, отключаются по команде с усилителя термостатирования (УТ) при достижении корпусом необходимой температуры.

Канал термостатирования гироскопа включает в себя два контура.

* контур точного обогрева;
* контур форсажного обогрева.

Для обеспечения требуемой точности измерения ускорений предусмотрен обогрев акселерометров. Нагревательные элементы этих приборов входят в группу элементов канала гироскопа Г1 и отключаются при нагреве этого гироскопа до рабочей температуры.

По команде отключается форсажный обогрев, и дальнейшее термостатирование осуществляется контуром точного обогрева.

Контур обогрева основания включает в себя ЧЭ (терморезистор), усилитель датчика основания (УДО), усилитель мощности основания (УМО). По достижении рабочей температуры обогрев основания отключается.

Термодатчиками системы термостатирования являются термочувствительные мосты, два плеча которых (медное и константановое сопротивления) находятся на обогреваемом узле, а два других (обычные сопротивления) - в усилителе термостатирования. При требуемой температуре мост сбалансирован и сигнал на выходе усилителя равен нулю; при температуре, не равной требуемой, равновесие моста нарушается и в усилитель поступает сигнал, пропорциональный отклонению температуры узла от требуемой.

Создание равномерного температурного поля внутри гироплатформы достигается установкой в ней вентилятора.

В системе термостатирования предусмотрено аварийное отключение обогрева в случае повышения по тем или иным причинам, рабочей температуры жидкости гироскопов допустимого уровня.

# Математические модели погрешностей гироскопа и акселерометра

## Модель погрешностей акселерометра

Акселерометры инерциальной системы, установленные на гиростабилизированной платформе должны измерять проекции кажущегося ускорения на оси платформы. Однако, измерение ускорения происходит с погрешностью. Погрешность эту называют инструментальной, поскольку ее причиной является несовершенство акселерометра. Погрешности акселерометров можно подразделить на:

1. смещение нуля - величина кажущегося ускорения, сообщаемого акселерометром, когда по оси чувствительность кажущееся ускорение равно нулю. Эта погрешность возникает из-за ошибок непосредственно в самом акселерометре.
2. ошибка масштабного коэффициента - ошибка в показаниях акселерометра, линейно зависящая от кажущегося ускорения по оси чувствительности. Эта погрешность возникает из-за ошибок преобразования сигнала снимаемого с датчика момента акселерометра, и из-за ошибок самого этого датчика момента.
3. неортогональность осей чувствительности - ошибки в показаниях акселерометра, пропорциональные кажущимся ускорениям, действующим по остальным двум осям. Эта погрешность возникает из-за ошибок ориентации акселерометров.

Несмотря на то, что наша система защищена от многих внешних факторов (термостатирована, экранирована и т.д.) мы должны учитывать влияние различных воздействий. В связи с тем, что эти воздействия на систему сложно описать математически введем такое понятие как случайная ошибка. Она включает в себя такие факторы как изменение градиента магнитного поля при развороте платформы и рам друг относительно друга, тепловое воздействие (термостатирование обеспечивает постоянную температуру в пределах 1-3 градусов) и т.д.

Математическую модель погрешности акселерометра, состоящую из описанных компонентов, можно описать в виде следующего соотношения:

Здесь - случайная составляющая.

## Модель погрешностей гироскопа

При подаче на датчики моментов гироскопов управляющих сигналов, пропорциональных вычисленным в алгоритме угловым скоростям гироскопы должны прецессировать с этими скоростями, увлекая за собой платформу. Однако, из-за несовершенства гироскопов управление платформой происходит с погрешностями. Помимо постоянных составляющих дрейфа гироскопа (независящих от ускорения) также есть ряд погрешностей зависящих от первой и второй степеней ускорения.

Каждая из компонент погрешности гироскопа в свою очередь может являться функцией и других параметров, например, - температуры окружающей среды, давления газового заполнения внутри гироскопа и т.п.

В связи с тем, что мы рассматриваем ИНС для тяжелого самолета, ускорения которого составляют порядка (0,2-0,3)g, то влияние погрешностей гироскопа, зависящих от вторых степеней ускорения, малы и мы их в дальнейших расчетах не учитываем.

При подаче управляющего сигнала на гироскоп, при недостаточно точной передаче сигналов и ошибок, возникающих в датчике момента гироскопа, возникает ошибка масштабного коэффициента.

При подаче управляющих сигналов на другие гироскопы при неортогональности установки гироскопов также возникают ошибки.

Как и в случае с акселерометром мы должны учитывать влияние различных воздействий на гироскоп. Для этого также введем такое понятие как случайная составляющая дрейфа гироскопа.

Окончательное выражение модели погрешности, может быть представлено следующим образом:

1. дрейф - скорость ухода гироскопа в инерциальном пространстве при отсутствии управляющих сигналов;
2. ошибка масштабного коэффициента - ошибка в скорости прецессии гироскопа, пропорциональная управляющему сигналу;
3. неортогональность осей чувствительности - ошибка в скорости прецессии гироскопа, пропорциональная управляющим сигналам по другим осям;
4. ошибка дебаланса - скорость ухода гироскопа, пропорциональная ускорениям, действующим на гироскоп.
5. - случайная составляющая.

# Расчет инерционных характеристик

Представим раму наружного крена, раму тангажа и раму внутреннего крена в виде полых цилиндров со следующими параметрами:

– высота цилиндра;

*–* внешний радиус цилиндра;

– внутренний радиус цилиндра.

Момент инерции относительно оси z считается по формуле

Моменты инерции относительно осей x и y равны между собой и вычисляются по формуле

Раму курса будем считать диском радиуса и толщиной .

Для удобства обозначим:

– моменты инерции рамы наружного крена;

– моменты инерции рамы тангажа;

– моменты инерции рамы внутреннего крена;

- моменты инерции рамы курса.

Рассчитаем эти моменты инерции.

**Рама наружного крена:**

;

;

.

Моменты инерции от

Моменты инерции от

**Рама тангажа:**

;

;

.

Моменты инерции от

Моменты инерции от

**Рама внутреннего крена:**

;

;

.

Моменты инерции от

Моменты инерции от

**Рама курса:**

;

Моменты инерции от

*Рассчитаем момент инерции, вызванный приборами, установленными на платформе, а также момент инерции, вызванный гравиметром и противовесом, установленными на раме внутреннего крена.*

Расположение приборов на платформе (два гироскопа ГПА-Л2 и три акселерометра АЛ-1):



|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Г1 | Г2 | А1 | А2 | А3 |
| X, см | 2.95 | 0 | -3.75 | 0 | -1.8 |
| Y, см | 0 | 2.95 | 0 | -3.75 | -5.05 |
| Z, см | 3.2 | -3.2 | 1.7 | -1.7 | 3.55 |

Координаты гравиметра: X=0, Y=0, Z=14 см.

Координаты противовеса: X=0, Y=0, Z=-14 см.

Полученные инерционные характеристики:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Инерционный  момент |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Значение  момента, |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

# Расчет возмущающих моментов

## Инерционный момент

При угловых движениях основания в трехосном гиростабилизаторе вследствие особенностей кинематики карданова подвеса поворачиваются рамы относительно стабилизированной платформы. Движение с переменной угловой скоростью вызывает, так же как и в случае астатического гироскопа, инерционный момент, действующий вокруг оси наружной рамы карданова подвеса стабилизатора. Этот момент в основном определяется угловым ускорением движения основания ЛА и при периодических угловых колебаниях летательного аппарата с высокой частотой достигает больших величин. Если в силовых гиростабилизаторах моменты внешних сил, изменяющиеся с высокой частотой, уравновешиваются как системой разгрузки, так и гироскопическим и инерционным моментами, то в индикаторных стабилизаторах компенсация знакопеременных моментов внешних сил, так же как и постоянных, полностью должна быть обеспечена системой разгрузки и знание инерционного момента при проектировании гиростабилизатора становится весьма существенным.

Инерционный момент вокруг оси внешней рамки будет равен:

Тогда максимальный инерционный момент будет равен:

## Моменты трения

Масса платформы (рамы курса) с установленными на ней дм, гироскопами и акселерометрами:

Масса рамы внутреннего крена с двигателями, гравиметром и противовесом:

Масса рамы тангажа с двигателем и синусно-косинусным трансформатором:

Масса рамы внешнего крена с двигателями и синусно-косинусными трансформаторами:

Моменты трения, действующие вокруг осей карданова подвеса (КП), определяются трением в токоподводах и датчиках угла контактного типа (если таковые используются), трением в опорах КП и моментами трения в двигателях разгрузки, приведенными к осям КП. Моменты трения контактных датчиков и токоподводах, применяемых сравнительно редко, представляют даже при большом количестве токоподводов относительно малые величины из-за небольших контактных давлений. Моменты трения, возникающие в двигателях разгрузки, имеют величины, сравнимые с моментами трения в опорах для приводов разгрузки с пневматическими ДМ, в которых применяют специальные уплотнения для повышения эффективности работы датчиков, и для приводов разгрузки с коллекторными двигателями постоянного тока, где контактные давления щеток являются достаточно большими. Последние моменты указываются в технических условиях (ТУ) на двигатели непосредственно или в виде напряжения трогания двигателя, приводимого к моменту с учетом крутизны моментной характеристики. Моменты трения в контактных датчиках и токоподводах, и моменты трения в двигателях разгрузки на практике мало зависят от условий полета ЛА.

Для большинства конструкций гиростабилизаторов, как показывает практика разработок, эти моменты, приведенные к осям КП, даже при достаточно больших передаточных числах в редукторах разгрузки, имеют меньшие значения, по сравнению с моменты трения в опорах КП.

Как правило, в качестве опор осей КП гиростабилизаторов применяют однорядные шариковые подшипники. Момент трения шарикоподшипников слагается из следующих составляющих:

1. момента трения качения шариков с наружным и внутренним кольцами;
2. момента трения скольжения шариков относительно наружных и внутренних колец;
3. момента трения скольжения шариков относительно сепаратора;
4. момента, вызываемого сопротивлению движения смазки.

Величины указанных составляющих момента трения определяются конструктивными параметрами подшипников, воспринимаемой ими нагрузкой и скоростями вращения его колец, поэтому при выбранном типе подшипника момента трения зависит от нагрузки и угловой скорости относительного движения его колец. Однако, зависимость момента подшипника от угловой скорости его вращения незначительна, особенно при имеющих место в гиростабилизаторах малых скоростях относительного движения, и часто принимают, что этот момент имеет характер "сухого" или кулонова трения. Вычисляется момент трения по формуле:

, где

– момент трения ненагруженного шарикоподшипника;

– осевая нагрузка;

– радиальная нагрузка.

Значения коэффициентов приведены в таблице

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Диаметр**  **оси, мм** |  | |  | |  | |  |
| одно-рядные | двух-рядные | одно-рядные | двух-рядные | одно-рядные | двух-рядные |
| **5** | ----------- | 8,9 | 0,0156 | 0,0163 | 0,0016 | 0,0075 | 0,005 |
| **6** | ----------- | 7,8 | 0,0099 | 0,0110 | 0,0013 | 0,0022 | 0,005 |
| **7** | 5,6 | 7,0 | 0,0094 | 0,0104 | 0,0018 | 0,0026 | 0,006 |
| **8** | ----------- | 7,0 | 0,0091 | 0,0095 | 0,0023 | 0,0035 | 0,006 |
| **10** | 7,2 | 9,2 | 0,0069 | 0,0088 | 0,0035 | 0,0052 | 0,008 |
| **12** | 10,8 | 14,1 | 0,0124 | 0,0160 | 0,0050 | 0,0092 | 0,010 |

На подшипники осей карданова подвеса ГС действует как осевая, так и радиальная нагрузки.

Рабочие перегрузки, действующие по осям на ЛА:

Примем все углы равными 0.

1. Силы реакций в опорах рамы курса
2. Силы реакций в опорах рамы внутреннего крена
3. Силы реакций в опорах рамы тангажа
4. Силы реакций в опорах рамы внешнего крена

Диаметр оси равен 10 мм, следовательно коэффициенты будут равны:

Для устранения люфтов в опорах будем принимать конструкции с односторонним осевым закреплением оси рамы карданова подвеса, в которых другой конец оси имеет возможность свободного смещения вдоль оси вращения.

1. Момент трения вокруг оси рамы курса:

Предварительный натяг:

1. Момент трения вокруг оси рамы внутреннего крена:

Предварительный натяг:

1. Момент трения вокруг оси рамы тангажа:

Предварительный натяг:

1. Момент трения вокруг оси рамы внешнего крена:

Предварительный натяг:

## Моменты тяжения токоподводов

Так как современные гиростабилизаторы являются сложными электромеханическими устройствами, то для обеспечения функционирования, как самих стабилизаторов, так и стабилизируемых приборов, устанавливаемых на платформе (например, акселерометров), требуется передача большого количества электрических сигналов. Количество необходимых токоподводов достигает нескольких десятков и даже сотен, причём передаваемые по ни токи лежат в пределах от долей миллиампера до десятков ампер (в целях питания гиромоторов). Конструкцией токоподводов должна быть обеспечена высокая надёжность передачи сигналов через них в условиях жёстких эксплуатационных воздействиях (линейные ускорения и вибрации) и при больших углах поворота карданова подвеса. При выборе типа токоподводов для гиростабилизаторов величины моментов, создаваемых токоподводами, не играют, в отличии от других гироскопических приборов определяющей роли, так как используются системы разгрузки. Применяют два вида токоподводов: многоконтактные коллекторные и различные виды гибких проводников. Коллекторные токоподводы применяют тогда, когда необходимо получить в стабилизаторе малые величины моментов трения, практически не зависящие от углов поворота рам карданова подвеса и эксплуатационных условий. Токоподводы с гибкими проводниками обеспечивают высокую надёжность работы. Габариты токоподводящего узла при большом количестве токоподводящих проводников малы. Момент, создаваемый такими токоподводами, пропорционален углам поворота рам карданова подвеса и при правильном выборе типа проводников и конструкции токоподвода являются относительно небольшим. Применяют три конструктивных типа гибких токоподводов:

* жгуты проводников, расположенных вдоль оси вращения (для каждой из осей карданова подвеса свой жгут). Для получения малых упругих моментов проводники имеют запас по длине, обеспечивающий их свободное скручивание;
* свободный жгут проводников, который может изгибаться во всех направлениях при поворотах платформы карданов подвеса и имеет соответствующий запас по длине;
* барабан со спирально уложенными рядами проводников, которые при поворотах скручиваются или раскручиваются. Для уменьшения габаритов и упрощения конструкции применяют специальные многожильные ленточные провода. Так же как и в первой конструкции, обеспечивается поворот только вокруг одной оси.

При изгибе и скручивании проводников возникают как упругие моменты, так и моменты трения из-за взаимного перемещения проводников в жгуте. Так как величина моментов сопротивления всех приведённых типов гибких токоподводов существенно зависит от конструкции токоподводов и технологии их изготовления, то моменты сопротивления обычно определяют по данным испытаний макетов узлов токоподводов или по экспериментальным данным для приборов-аналогов. Удельный момент упругих токоподводов по опытным данным

где эмпирический коэффициент для токоподводов первого типа провод МГТФ-0,07);

– количество токоподводов:

* от корпуса к раме внешнего крена =70;
* от рамы внешнего крена к раме тангажа =64;
* от рамы тангажа к раме внутреннего крена =58;

– длина токоподвода между местами заделки проводника, = 5 см;

– угол поворота, рад =30 .

Тогда моменты тяжения т/п:

1. Вокруг оси рамы внутреннего крена
2. Вокруг оси рамы тангажа
3. Вокруг оси рамы внешнего крена

## Моменты остаточной несбалансированности

Балансируют вращающиеся части гиростабилизатора (платформы, рамы карданова подвеса) при сборке приборов либо на собственных подшипниках при уменьшении моментов сопротивления и трения вокруг осей карданова подвеса, либо на специальных приспособлениях. При линейных перегрузках неточность балансировки наряду с моментом трения в опорах создает значительную часть возмущающих моментов, уравновешиваемых системой стабилизации. При расчётах возмущающих моментов определяют максимальную величину моментов от остаточной несбалансированности.

Величина максимального момента несбалансированности равна:

, где

- момент остаточной несбалансированности;

- линейная перегрузка.

Считаем, что балансировка проводится в собственных подшипниках. Тогда будем оценивать как момент трения на неподвижном основании без предварительного натяга (только под действием силы тяжести).

Тогда моменты остаточной несбалансированности будут равны:

1. Вокруг рамы курса

;

;

.

1. Вокруг рамы внутреннего крена

;

;

1. Вокруг рамы тангажа

;

;

1. Вокруг рамы наружного крена

;

;

## Моменты неравножесткости карданова подвеса

Карданов подвес стабилизатора состоит из упругих элементов (рам, осей, цапф, подшипников), при деформации которых появляются силы внутреннего трения. Под влиянием сил инерции, возникающих при движении основания (ЛА) с ускорением, происходят упругие деформации элементов КП и относительные перемещения его рам. Направления перемещений из-за различной жесткости элементов в разных направлениях обычно не совпадают с линией действия сил инерции, вследствие чего возникают моменты вокруг осей КП гиростабилизатора. При вибрации основания, на котором установлен прибор, на величину отклонения элементов его конструкции, т.е. на амплитуду вынужденных колебаний, влияют силы внутреннего трения в элементах, демпфирующие их колебания. Если при разработке гиростабилизаторов применяются специальные меры по обеспечению требуемой жесткости рам КП, то величина упругости КП определяется в значительной мере упругостью подшипников подвеса. Поэтому при расчете гиростабилизаторов принимают упрощенную кинематическую схему КП, в которой предполагают, что элементами, определяющими упругие деформации, являются цапфы и подшипники, т.е. вместо схем с распределенными упругостями рассматривают схемы с упругостью, сосредоточенной в опорах КП. Заметим, что жесткостные характеристики подшипников трудно поддаются расчету и обычно являются экспериментальными данными.

Величины коэффициентов динамичности:



Жесткости подвеса рам по трем осям:

1. Момент вокруг рамы курса
2. Момент вокруг рамы внутреннего крена

1. Момент вокруг рамы тангажа
2. Момент вокруг рамы внешнего крена

## Определение суммарного возмущающего момента

Возмущающие моменты, рассмотренные выше, либо весьма медленно изменяются во времени, как, например, моменты, возникающие при линейных ускорениях центра масс ЛА (от люфта, несбалансированности и др.), либо изменяются с частотами колебаний ЛА вокруг центра масс. Так как частоты изменения этих возмущающих моментов лежат значительно ниже частоты среза привода разгрузки стабилизаторов, то при расчете все эти моменты учитываются как постоянно действующие.

В общем случае каждый из рассмотренных возмущающих моментов является случайной величиной, зависящей как от условий полета ЛА, так и от параметров гиростабилизатора, полученных при его изготовлении. Так, например, момент тяжения токоподводов по величине и направлению зависит от величины и направления поворота ЛА относительно платформы гиростабилизатора. Направление и величина момента несбалансированности зависит от величины остаточного смещения центра тяжести платформы гиростабилизатора, получившегося при изготовлении, и направления и величины линейного ускорения ЛА. Величина составляющей возмущающего момента трения, не зависящая от ускорения, определяется параметрами подшипников, примененных в гиростабилизаторе, а ее направление – направлением угловой скорости вращения ЛА. В тоже время величина составляющей момента трения, зависящая от ускорения, определяется не только характеристиками примененных подшипников, но и величиной ускорения ЛА. Отсюда следует, что величина и знак отдельных составляющих возмущающего момента являются случайными и суммируются как случайные независимые величины. Однако обычно определяют максимальный возмущающий момент арифметическим суммированием составляющих, так как известно, что даже при кратковременном превышении возмущающим моментом максимального момента разгрузки, гиростабилизатор теряет способность стабилизации из-за ограничений по углам прецессии его чувствительных элементов. Так как условия движения ЛА на отдельных участках полета различны и, следовательно, различны величины отдельных составляющих момента, то суммарный возмущающий момент определяется для наиболее характерных участков полета. При таком подходе в определении возмущающего момента и расчете максимального момента разгрузки, получается некоторый реальный запас по моменту привода разгрузки, который необходим вследствие неточного знания эксплуатационных условий работы гиростабилизатора.

1. Суммарный момент вокруг оси рамы курса (платформы):

.

1. Суммарный момент вокруг оси рамы внутреннего крена:

.

1. Суммарный момент вокруг оси рамы тангажа:

.

1. Суммарный момент вокруг оси рамы наружного крена:

.

Т.к. расчеты моментов приближенные (неточные размеры, часть характеристик являются экспериментальными данными, пренебрегаются малые величины и т.д.), то следует увеличить полученные суммарные моменты на 20%., вследствие чего получим значения моментов, более соответствующие реальным. В итоге имеем:

1. Момент вокруг оси рамы курса (платформы):

.

1. Момент вокруг оси рамы внутреннего крена:

*.*

1. Момент вокруг оси рамы тангажа:

*.*

1. Момент вокруг оси рамы наружного крена:

*.*

# Выбор привода стабилизации

В данном проекте в качестве двигателя стабилизации используется безредукторный датчик момента. Это обусловлено тем, что безредукторный датчики момента позволяют получить высокую точность стабилизации, поскольку в них отсутствуют лифтовые погрешности, высокий уровень демпфирования, а также низкая жесткость, свойственные двигателям с редуктором. К тому же безредукторный датчики момента являются стандартным изделием, что снижает себестоимость прибора и повышает его технологичность.

На оси рамы наружного крена установлен ротор датчика момента ДМ-22. На осях рамы тангажа, рамы внутреннего крена и рамы курса установлены датчики момента ДМ-20.

Характеристики датчиков момента

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **ДМ-20** | **ДМ-22** |
| Технические характеристики | | |
| Крутизна, | 2100 | 3500 |
| Макс. потребляемый ток, | 0.7 | 1.0 |
| Допустимое время  прохождения  макс. тока, мин | 1.5 | 1.5 |
| Момент трения, | 0.15 | 0.23 |
| Электрическое  сопротивление  обмотки, Ом | 32 | 32 |
| Физические характеристики | | |
| Габариты (наружный  диаметр, внутренний  диаметр, высота), мм | 60х16х18 | 90х50х12 |
| Масса, г | 215 | 260 |
| Условия окружающей среды | | |
| Диапазон рабочих  температур, | -60/+85 | -60/+85 |
| Линейная нагрузка, g | 10 | 12 |
| Гарантийный ресурс, ч | 3000 | 3000 |

Определим коэффициенты запаса по осям всех рам:

1. Рама наружного крена:
2. Рама тангажа:
3. Рама внутреннего крена:
4. Рама курса:

**Вывод:**

Расчеты показали, что, не смотря на то, что изначально гиростабилизатор предназначался для других целей (часть навигационного комплекса), его возможно использовать и для стабилизации оси чувствительности гравиметра вдоль местной вертикали. При установке гравиметра и противовеса на раму внутреннего крена резко возрастает её суммарная масса (на 4 кг) и моменты инерции, что в свою очередь приводит к увеличению возмущающих моментов (инерционный момент увеличился в 7.5 раз, также значительно возросли моменты трения по всем осям). Но и в этом случае датчики момента уравновешивают увеличившиеся возмущающие моменты.

# Список использованной литературы

1. Пельпор Д.С. - Гироскопические системы. Ч1. - М.: Высшая школа, 1986
2. Пельпор Д.С. - Гироскопические системы. Ч2. - М.: Высшая школа, 1986
3. Пельпор Д.С. - Гироскопические системы. Ч3. - М.: Высшая школа, 1986
4. Пельпор Д.С. - Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем (в двух частях). Ч.II.Гироскопические стабилизаторы - М: Высшая школа,1977