

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени

высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

Утверждены
редсоветом МВТУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по курсу
"ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ"

Под редакцией В.А.Матвеева

Москва

1985

Данные методические указания издаются в соответствии с учебным планом. Рассмотрены и одобрены кафедрой П-4 28.11.84г., методической комиссией факультета П 19.12.84г. и учебно-методическим управлением 19.04.85г.

Рецензенты: к.т.н. доц. И.С.Потапчев;
к.т.н. А.Г.Боровков

© Московское высшее техническое училище им.Н.Э.Баумана

Редактор Г.Ф.Хлебникова

Корректор Л.И.Малютина

Заказ 1187. Объем 2,75 п.л. (2,5уч.-изд.л.) Тираж 400 экз.
Бесплатно Подписано в печать 11.09.85г. План 1985г., № 34.

Типография МВТУ, 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.

Работа № I. ДАТЧИК УГЛОВОЙ СКОРОСТИ (ДУС) С МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРУЖИНОЙ

Цель работы - ознакомление с принципом действия, схемой и конструкцией прибора и определение его основных характеристик ДУС-ЛП.

Назначение прибора - измерение угловой скорости объекта вокруг одной из его координатных осей и выдача электрического сигнала, пропорционального измеренной угловой скорости.

Схема прибора и принцип его работы

Датчик угловой скорости представляет собой гироскоп с двумя степенями свободы, движение которого вокруг оси рамки ограничено упругой связью (торсионом).

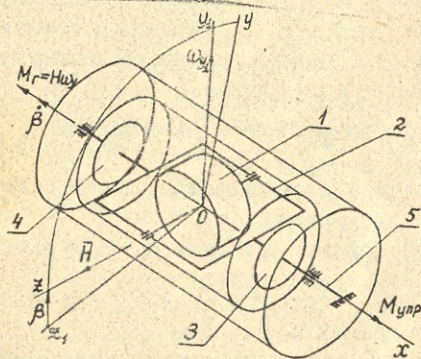


Рис. I

Гироскоп состоит из ротора I (рис. I), подшипники которого размещены в рамке 2. Ось вращения ротора Oz , по которой направлен вектор кинетического момента \vec{H} , перпендикулярна координатным осям рамки Ox и Oy . Система координат Ox_1, y_1, z_1 связана с основанием прибора (объектом), а $Oxyz$ с рамкой гироскопа.

Измерительной осью ДУСа (относительно которой ДУС измеряет угловую скорость поворота объекта), является ось Oy . Ось Oy называется входной осью, а ось рамки Ox - выходной.

Снятие электрического сигнала с ДУС осуществляется датчиком угла (ДУ)3, установленным на оси Ox прибора. На этой же оси размещен датчик момента (ДМ)4. В первоначальном положении оси гироскопа совпадают с координатными осями объекта.

Принцип действия датчика основан на свойстве гироскопа с двумя степенями свободы совмещать вектор кинетического момента с проекцией ω_y вектора угловой скорости вынужденного вращения на измерительную ось oy .

При вращении корпуса прибора (вместе с объектом) вокруг оси oy , ротору гироскопа сообщается принудительное вращение с угловой скоростью ω_y . Вследствие этого возникает гироскопический момент \bar{M}_r , вектор которого направлен вдоль оси ox . Он поворачивает рамку, преодолевая упругий момент торсионов 5. Поворот рамки продолжается до тех пор, пока момент пружины не уравновесит гироскопический момент.

Вектор гироскопического момента \bar{M}_r направлен так, что стремится совместить векторы \bar{H} и $\bar{\omega}$ по кратчайшему расстоянию. При этом вращение \bar{H} в сторону $\bar{\omega}$, наблюдаемое с конца вектора \bar{M}_r , должно происходить против часовой стрелки. Величина гироскопического момента определяется по формуле

$$M_r = H \omega_y \sin(\bar{H}, \bar{\omega}_y) = H \omega_y \sin(90^\circ - \beta) = H \omega_y \cos \beta, \quad (I.1)$$

где β - угол поворота рамки гироскопа вокруг оси ox от начального положения.

Упругий момент вокруг оси ox при малых углах β равен

$$M_{упр} = C_{угл} \beta. \quad (I.2)$$

Здесь $C_{угл}$ - угловая жесткость торсиона.

Приравняв момент торсиона гироскопическому моменту $M_{упр} = M_r$ и принимая $\cos \beta = 1$ (для малых углов), из уравнений (I.1) и (I.2) получим

$$\beta = \frac{H}{C_{угл}} \omega_y.$$

Угол β поворота рамки пропорционален измеряемой угловой скорости вращения корпуса прибора.

Для успокоения собственных колебаний рамки вокруг ее равновесного положения необходим демпфер.

Угол поворота рамки β выбирается малым по следующим соображениям. Если объект, на котором установлен ДУС, совершает также угловое вращение вокруг оси Oz_1 с перекрестной угловой скоростью ω_{z_1} , то вследствие наличия угла β возникает дополнительный гироскопический момент M_{r1} , равный:

$$M_{r1} = H \cdot \omega_{z_1} \sin \beta = H \cdot \omega_{z_1} \beta$$

При этом $M_{упр} = M_r + H \omega_{z_1} \beta$, тогда $\beta = H \omega_y / (C_{угл} + H \omega_{z_1})$.

Угол β зависит в этом случае от ω_{z_1} . Влияние гироскопического момента M_r будет тем меньше, чем меньше угол β .

Важной характеристикой ДУС является порог чувствительности, т.е. минимальная угловая скорость, которая может быть измерена ДУС. Для ДУС с механической пружиной порог чувствительности

$$\omega_{min} = (M + C_{угл} \Delta) / H,$$

где M - сумма момента сухого трения и момента тяжения относительно оси рамки,

Δ - зона нечувствительности датчика угла.

Конструкция ДУС-ЛII

Конструкция прибора представлена на разрезном макете ДУС. Ротор помещен в герметичный поплавок, который опирается на камневые подшипники скольжения, установленные во фланцах цилиндрического корпуса. Внутренняя полость корпуса заполнена жидкостью, ее удельный вес подобран таким образом, что поплавок оказывается взвешенным в ней (гидростатическая разгрузка опор). Это способствует уменьшению трения в опорах, а следовательно, повышению порога чувствительности ДУС. Жидкость также способствует демпфированию колебаний поплавка за счет вязкого трения в зазоре между поплавком и корпусом прибора. Изменение объема жидкости при колебаниях окружающей температуры компенсируется сифоном, внутренняя полость которого сообщается с атмосферой.

Роль пружины выполняет торсион (упругий стержень), одним концом укрепленный на поплавке, а другим - на плате корпуса прибора.

В последнем со стороны торсиона установлен индукционный датчик угла трансформаторного типа (дуалсин). Ротор датчика жестко связан с поплавком. С другой стороны установлен магнитоэлектрический датчик момента, предназначенный для дистанционного управления ДУС. Ротор датчика момента, шестипольсный постоянный магнит жестко связан с поплавком.

Ротор гироскопа приводится во вращение с помощью трехфазного синхронного гистерезисного двигателя обращенного исполнения. Подвод питания к поплавку осуществляется через гермовыводы гибкими токоподводами спиральной формы. Крепление ДУС на объекте осуществ-

вляется с помощью фланца, установленного на корпусе прибора.

Основные технические характеристики ДУС-ЛІІ:

время готовности после включения питания не превышает 1 мин; порог чувствительности не превышает $0,16^\circ/\text{с}$; диапазон измеряемой угловой скорости не менее $18^\circ/\text{с}$; питание по переменному току для гиromотора $U=40_{-4}^{+2} \text{ В}$, $f=1000 \pm 15 \text{ Гц}$; для индукционного датчика угла $U=10 \pm 1 \text{ В}$, $f=1000 \pm 15 \text{ Гц}$; питание по постоянному току для датчика момента 27_{-4}^{+7} В ; крутизна выходной характеристики $0,083 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{град}}$.

Краткое описание лабораторной установки

Для определения основных характеристик ДУС установлен в кронштейне на малогабаритной поворотной установке МПУ-І таким образом, что его измерительная ось совпадает с осью вращения стола МПУ-І. Подвод питания к ДУС и съем показаний с него осуществляется через пульт проверки; исходные положения выключателей и переключателей на пульте перед проверкой ДУС должны быть следующие: ВІ "Чередование фаз" - "Откл"; ВЗ "Питание ГМ" - "Откл"; В4 "Питание ДУ" - "Откл"; В5 "Питание дискриминатора" - "Откл"; В7 "Дискриминатор" - "Откл"; В8 "Нагрузка" - "Вкл"; В9 "Питание ДМ" - "Откл"; В2 "Контроль питания ГМ" - в положении "2".

Подключение пульта и установки МПУ-І к источникам питания осуществляется преподавателем. Против отсчетного индекса установки МПУ-І должно быть выставлено значение угловой скорости - "0".

Порядок проведения лабораторной работы

А. Определение выходной характеристики ДУС-ЛІІ

1. Выключатель пульта ВЗ "Питание ГМ" устанавливается в положение "Вкл".
2. Через 1 мин (время готовности прибора) проверяется правильность чередования фаз поворотом выключателя ВІ в положение "Вкл". При правильном подключении фаз в прорезях бленкера появится белое поле. После этого выключатель ВІ поставить в положение "Откл".
3. Последовательно поставить в положение "Вкл" следующие выключатели: В4 "Питание ДУ"; В5 "Питание дискриминатора"; В6 "Фильтр"; В7 "Дискриминатор".
4. Включить вращение поворотного стола по часовой стрелке. Последовательно менять скорость вращения от 0 до $18^\circ/\text{с}$ через $2^\circ/\text{с}$,

записать показания вольтметра. То же самое проделать при вращении стола против часовой стрелки. Результаты заносит в таблицу по результатам измерения строится график $U=f(\omega)$. Определить крутизну характеристики $\kappa = \frac{U}{\omega}$ (для значения U , при $\omega=18^\circ/\text{с}$).

В случае колебания стрелки вольтметра за истинную величину выходного сигнала считать среднее значение, относительно которого происходит колебание стрелки.

Б. Определение влияния перекрестной угловой скорости

5. Развернуть кронштейн с датчиком угловой скорости ДУС-ЛІІ на поворотном столе установки МПУ-І так, чтобы вектор кинетического момента H гироскопа был параллелен оси вращения стола. Стол неподвижен.

6. Переключатели пульта В9 "Питание ДМ" установить в положение "Вкл", ВІ0 "Пределы изменения тока ДМ" - в "100 мА". При подаче питания правильной полярности (КІ4-"+", КІ5 "-") на пульте должна гореть сигнальная лампа ЛІІ "Питание подано".

7. Поворотом движков потенциометров $R8$ и $R7$ "Регулировка тока ДМ", "Трубо", "Точно" установить в цепи обмотки датчика момента такой ток, чтобы сигнал с ДУС-ЛІІ был аналогичен сигналу с датчика угла на вольтметре U , при угловой скорости $18^\circ/\text{с}$ (см. таблицу предыдущего эксперимента п.4).

8. Установить угловую скорость вращения стола поворотной установки МПУ-І $18^\circ/\text{с}$. Включить вращение стола и записать показание U_2 вольтметра. Определить разность между первоначально выставленным значением напряжения и замеренным.

$$\text{Вычислить } \omega_{\delta 1} = (U_2 - U_1) / \kappa.$$

9. Проделать то же самое при вращении стола в противоположную сторону. Определить $\omega_{\delta 2}$. Подсчитать среднее значение $\omega_{\delta \text{ср}} = 0,5(\omega_{\delta 1} + \omega_{\delta 2})$.

10. Оформить отчет, который должен содержать цель работы, назначение прибора, кинематическую схему рис.І, соотношения, раскрывающие принцип работы прибора и его основные характеристики, результаты эксперимента (таблицы, графики, расчеты).

Контрольные вопросы

1. Каково назначение ДУС?
2. Объяснить принцип работы ДУС.
3. Как влияет на показания ДУС угловая скорость объекта, вектор которой направлен вдоль оси OZ , ?
4. Чем определяется порог чувствительности ДУС-ЛІІ?

Работа № 2. ДАТЧИК УГЛОВОЙ СКОРОСТИ С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРУЖИНОЙ

Цель работы – ознакомление с принципом работы и конструкцией ДУС-Л-7А, исследование его характеристик.

Назначение прибора – измерение угловой скорости объекта вокруг одной из его координатных осей и выдача электрического сигнала, пропорционального по величине и соответствующего по знаку измеряемой угловой скорости.

Принцип работы

Принципиальная схема датчика угловой скорости с электрической пружиной приведена на рис.2. Работа прибора основана на использовании свойства двухстепенного гироскопа совмещать ось собственного вращения Z с проекцией переносной угловой скорости на ось чувствительности Y . Если датчик угловой скорости вращается относительно входной оси Y_1 с постоянной угловой скоростью ω_{y_1} , то возникающий гироскопический момент

$$M_r = H\omega_{y_1} \cos \beta,$$

где $\beta \approx 0$ малый угол поворота гироскопа вокруг выходной оси x , уравновешивается моментом электрической пружины

$$M_{эл} = H\omega_{y_1}.$$

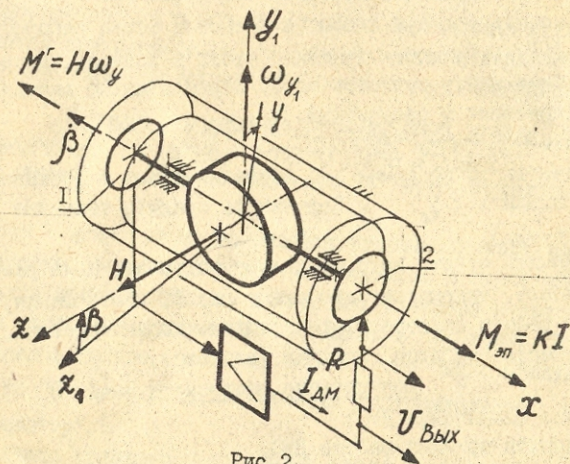


Рис.2

Момент $M_{эл}$ (электрическая пружина состоит из датчика 1 угла β , усилителя и датчика момента 2) зависит от тока в обмотках датчика момента $I_{ДМ}$:

$$M_{эл} = K_{ДМ} \cdot I_{ДМ},$$

8

$K_{ДМ}$ – крутизна датчика момента.

В результате ток в датчике момента оказывается пропорционален проекции скорости вращения основания на входную ось Y_1 (рис.2):

$$I_{ДМ} = \frac{H}{K_{ДМ}} \omega_{y_1}, \quad U_{Вых} = R I_{ДМ}, \quad (2.1)$$

где $U_{Вых}$ – выходной сигнал ДУС; R – сопротивление в цепи датчика момента.

Зависимость выходного сигнала от угловой скорости вращения основания называется выходной характеристикой ДУС.

Как величина тока в обмотке датчика момента, так и момент электрической пружины зависит от угла β поворота гироскопа вокруг оси прецессии (отсюда и название – электрическая пружина)

$$M_{эл} = K\beta.$$

Здесь $K = K_{ДУ} \cdot K_{УС} \cdot K_{ДМ}$ – жесткость электрической пружины;
 $K_{ДУ}$ – крутизна датчика угла;
 $K_{УС}$ – коэффициент усиления усилителя.

Для съема показаний (2.1) применяют калиброванное сопротивление R , включенное в цепь датчика момента (в ДУС-Л-7 $R=300$ Ом). В этом случае при изменении напряжения питания (как усилителя, так и датчика угла) показания ДУС не изменяются. Например, при аварийном уменьшении напряжения питания датчика угла ток $I_{ДМ}$ в датчике момента остается прежним, так как изменение питания компенсируется возрастанием угла β (рис.2).

Независимость показаний прибора от колебаний питающего напряжения является важным преимуществом ДУС с электрической пружиной в сравнении с ДУС с механической пружиной.

Уравнения движения ДУС имеют вид [4]:

$$A\ddot{\beta} + D\dot{\beta} + K\beta = H\omega_{y_1} + M_x, \quad (2.2)$$

где A – момент инерции чувствительного элемента вокруг оси x

D – коэффициент демпфирования;

K – жесткость электрической пружины;

M_x – возмущающий момент вокруг оси прецессии.

Порог чувствительности прибора зависит от трения в опорах по оси x . Как видно из уравнения (2.1), выходной сигнал прибора появится лишь в случае, когда гироскопический момент $H\omega_{y_1}$ будет больше M_x . Для уменьшения возмущающих моментов вокруг выходной оси x в приборе использован поплавковый подвес.

Если ω_y изменяется по гармоническому закону $\omega_y = \omega_y^0 \sin \omega t$, то выходной сигнал ДУС будет зависеть от частоты колебаний ω . Эта зависимость называется амплитудно-частотной характеристикой ДУС.

Амплитудно-частотная характеристика имеет важное значение, так как определяет допустимый диапазон частот колебаний основания, в котором динамическая погрешность ДУС будет находиться в заданных пределах. Допустимое значение частоты ω_M колебаний основания, на котором расположен прибор, зависит от частоты собственных колебаний чувствительного элемента ω_0 и коэффициента относительного демпфирования ξ (обычно $\omega_0 = (3 \dots) \omega_M$).

Конструкция прибора

Основные узлы ДУС-Л7: гиromотор, поплавок, датчик угла, датчик момента — конструктивно смонтированы в корпусе.

Поплавок помещен в цилиндрический корпус и установлен на двух каменных подшипниках. Со стороны одного из торцов корпус закрыт стаканом датчика момента, с закрепленной в нем втулкой с подшипником и подпятником. Со стороны второго торца корпус закрыт основанием датчика угла с установленным в нем подшипником.

Регулировка осевого люфта поплавкового гиromотора осуществляется с помощью специальной втулки.

Подвод питания к поплавку производится посредством гибких ленточных токоподводов полукруглой формы, уложенных в пазы панели. Такие токоподводы обладают сравнительно небольшим возмущающим моментом.

С обеих сторон корпус закрыт крышкой и узлом сильфона. В основании узла сильфона имеется 12 проходных стеклянных изоляторов. Крышка и узел сильфона крепятся накидными гайками. Внутренняя полость прибора заполнена жидкостью Б-ЛП с плотностью 2 г/см^3 , для уменьшения трения в опорах.

Демпфирование частично осуществляется за счет вязкого трения в зазоре между поплавком и корпусом, частично за счет RC ячейки, установленной на выходе усилителя в цепи обратной связи.

Герметизация обеспечивается резиновыми уплотнительными кольцами.

Для компенсации объемных изменений жидкости при колебаниях температуры служит сильфон, смонтированный в основание узла сильфона. С окружающей средой сообщается внутренняя полость сильфона.

10

Корпус прибора установлен во фланце, с помощью которого ДУС-Л7 крепится на объекте, и закрыт двумя кожухами, изготовленными из магнитомягкого материала для защиты прибора от внешних магнитных полей.

Носителем кинетического момента в датчике является синхронный гиromотор ГМС-0,06, представляющий собой трехфазный гистерезисный двигатель обращенного типа.

Гиromотор рассчитан на питание 40 В 500 Гц и имеет кинетический момент 70·10 Н·м·с, скорость вращения 15 000 об/мин, число пар полюсов — 2.

Поплавок выполнен в виде цилиндра, внутри которого с помощью скоб и винтов закреплен гиromотор. Снаружи цилиндр герметично закрыт крышкой. Внутренняя полость поплавка заполнена водородом.

Для подвода питания к гиromотору в торец крышки впаиваются проходные изоляторы из стекла. С этой же стороны на поплавок установлена система балансировки (балансирующие винты и гайки), обеспечивающая статическое равновесие при температуре $20 \pm 0,2^\circ\text{C}$.

Пакет якоря датчика угла закреплен на крышке поплавка на клею. На противоположном торце поплавка установлен шестиполюсный постоянный магнит датчика момента.

В качестве датчика угла в приборе ДУС-Л7 применен индукционный датчик трансформаторного типа. Пакет статора датчика угла с шестью катушками на полюсах устанавливается в основании и со стороны одного из торцов корпуса. Установка в нулевое положение ($U_{\text{дз}} < 30 \text{ мВ}$) осуществляется угловым поворотом статора относительно корпуса, после чего он закрепляется накидной гайкой.

Датчик момента кроме уравнивания гироскопического момента предназначен для компенсации вредных моментов. Он представляет собой магнитоэлектрическую систему, основными элементами которой являются магнит, магнитопровод и стакан с обмотками в виде рамок, по которым протекают управляющие токи. Подвижной частью является постоянный магнит. Шесть обмоток равномерно расположены на цилиндрической поверхности стакана и соединены так, что направление электромагнитных моментов, возникающих при взаимодействии каждой обмотки с полюсом магнита, совпадает.

Основные характеристики ДУС-Л-7А: порог чувствительности $0,005^\circ/\text{с}$; время готовности не более 1 мин; диапазон измеряемых угловых скоростей $0,005 \dots 3^\circ/\text{с}$; нулевой сигнал не более $0,15 \text{ мА}$; крутизна выходной характеристики $10 \text{ мА}/^\circ/\text{с}$; частота собственных

11

колебаний 10 Гц; погрешность при измерении угловой скорости 2% от измеряемой величины.

Порядок проведения лабораторной работы

В экспериментальной части лабораторной работы определяется выходная характеристика ДУС, снимаются показания прибора при несовпадении оси вращения с осью чувствительности и изменении направления питания.

А. Выходная характеристика ДУС

1. Проверить правильность включения пульта и цифровых приборов Щ 4300:

- все кнопки на пульте и приборах Щ 4300 должны быть отжаты,
 - к гнездам "ж" и " U, f_x " первого цифрового прибора Щ 4300 должны быть подключены голубые штекеры, от разъема Ш2 пульта включения,
 - к гнездам "ж" и " U, f_x " второго цифрового прибора Щ 4300 должны быть подключены красные штекеры от разъема Ш2 пульта включения,
 - к задней панели пульта включения ДУС-Л должны быть подсоединены разъемы Ш1, Ш2 и 220 В.
 - разъем Ш3 должен быть подключен к поворотному столу МПУ-1,
 - проконтролировать правильность чередования фаз подвода питания 40 В, 500 Гц к разъему Ш1 по цифрам 1, 2, 3 на штекерах,
 - проконтролировать полярность подвода питания ± 27 В (+ 27 В - черный штекер, - 27 В серый штекер) к разъему Ш1,
 - проконтролировать включение вилки 220 В 50 Гц в сеть.
2. На первом цифровом приборе Щ 4300 нажать кнопки "сеть", " U " " $20V$ " - измерительный прибор готов к измерению постоянных напряжений, не превышающих 20 В.
3. На втором цифровом приборе нажать кнопки "сеть", " U ", " U ", " $2V$ " - измерительный прибор готов к измерению переменных напряжений, не превышающих 2 В.
4. На пульте включения ДУС-Л нажать кнопки " 27 В", " 40 В", "контроль $U_{дy}$ ", "0С" - на ДУС-Л7 и усилитель обратной связи подаются питающие напряжения, второй цифровой прибор контролирует выходное напряжение датчика угла, первый цифровой прибор измеряет напряжение на калиброванном сопротивлении R в цепи датчика момента (обратная связь включена).

5. На пульте включения ДУС-Л нажать кнопку "ГМ" - на прибор подается питание 40 В, 500 Гц, время разгона гиromотора 1 мин.

6. Снять выходную характеристику прибора, задавая вращение поворотного стола "по" и "против" часовой стрелки от 0 до 5 $^{\circ}/с$ с интервалом 0,5 $^{\circ}/с$.

Скорость вращения стола задается воротком, контролируется по шкале в верхней крышке МПУ-1 или с помощью секундомера по времени одного полного оборота на 360 $^{\circ}$.

Показания ДУС-Л записываются с первого цифрового прибора Щ 4300 в таблицу, составленную самостоятельно.

Б. Показания ДУС в случае несовпадения оси вращения стэнда с осью чувствительности прибора

7. В приспособлении для крепления ДУС на поворотном столе вращением прибора вокруг продольной оси отклонить ось чувствительности на угол 45 $^{\circ}$ от оси вращения МПУ-1 (для этого необходимо предварительно отвернуть на 1-2 оборота стопорный винт и оттянуть на себя шток арретира).

8. Записать показания первого цифрового прибора при скорости вращения стола 2 $^{\circ}/с$.

9. Возвратить ДУС в исходное положение на поворотном столе.

В. Влияние изменения напряжения питания на показания ДУС

10. Подготовить второй цифровой прибор к измерению постоянных напряжений в диапазоне 200 В (отжать кнопку Z , нажать кнопку 200V).

11. Нажать кнопку "контроль $U_{пнт}$ " на пульте включения ДУС (второй цифровой прибор показывает величину постоянного напряжения в цепи питания усилителя электрической пружины).

12. Установить скорость вращения стола 2 $^{\circ}/с$ и записать показания первого цифрового прибора (первый цифровой прибор измеряет выходной сигнал ДУС).

13. Нажать кнопку " $\int U_n$ " на пульте включения ДУС (при этом происходит скачок напряжения питания) и записать показания первого цифрового прибора.

14. Подготовить второй цифровой прибор к измерению переменных напряжений в диапазоне 2 В (нажать кнопку \int , нажать кнопку 2V).

15. Нажать кнопку "контроль $U_{дy}$ " на пульте и записать напряжения на выходе датчика угла по показаниям второго цифрового прибора.

16. Отжать кнопку " $\int U_n$ " на пульте и записать величину напряжения на выходе датчика угла по показаниям второго цифрового прибора.

17. Выключить поворотный стол, пульт и цифровые измерительные приборы (отжать все кнопки на пульте выключения ДУС и кнопки "сброс" на цифровых измерительных приборах).

18. Оформить отчет, который должен содержать цель работы, назначение прибора, кинематическую схему рис.2 и уравнения, раскрывающие принцип работы прибора. Результаты эксперимента должны быть записаны в таблицу. По полученным данным необходимо построить график выходной характеристики ДУС.

Контрольные вопросы

1. Назначение прибора.
2. Принцип работы прибора.
3. Как влияет трение в опорах по оси x (рис.2) на выходную характеристику прибора?
4. Какое влияние оказывает изменение напряжения питания на показания прибора? Объяснить результат, полученный в п."В" эксперимента.

Работа № 3. ЛАЗЕРНЫЙ ГИРОСКОП

Цель работы - ознакомление с принципом действия и конструкцией лазерного гироскопа (ЛГ), экспериментальное определение выходной характеристики в режиме датчика абсолютной угловой скорости.

Назначение прибора - измерение проекции абсолютной угловой скорости основания на ось чувствительности прибора, т.е. на ось, перпендикулярную плоскости замкнутого оптического контура (резонатора). ЛГ, работающий в режиме датчика абсолютной угловой скорости, находит применение в инерциальных навигационных системах как платформенного, так и бесплатформенного типов. Он может быть использован в качестве чувствительного элемента систем автономного определения азимутальных направлений (лазерный гироскоп), а также в системах ориентации.

Особенности и основные характеристики ЛГ по сравнению с классическими гироскопами [1, 37]: отсутствие вращающегося ротора; моноблочность и высокая механическая стойкость конструкции; работоспособность при больших линейных перегрузках; высокая чувствительность; большой диапазон измеряемых угловых скоростей ($1 \cdot 10^{-2} \dots 10^7$ о/ч); малый собственный дрейф ($5 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-2}$ о/ч); малое время, необходимое для приведения прибора в рабочее состояние (несколько секунд); малое потребление мощности (несколько ватт);

достаточно большой ресурс работы (более 10^3 ч); высокая надежность; дискретность выходного сигнала.

ЛГ имеют и недостатки: относительно большие габариты и масса (около 300 см^3 и 3 кг на одну измерительную ось); необходимость оснащения прибора целым рядом настроечных подсистем; трудности калибровки и оценки временных изменений параметров прибора.

Принцип работы.

В основу работы ЛГ положен эффект, который состоит в том, что во вращающейся системе координат время прохождения электромагнитной волны по замкнутому контуру отличается от времени ее прохождения по тому же контуру в системе координат, неподвижной в инерциальном пространстве.

Рассмотрим замкнутый оптический контур, по периметру которого распространяются во встречных направлениях две электромагнитные волны 1 и 2, показанные стрелками на рис.3. Условие генерации в таком контуре состоит в том, чтобы на длине его периметра L укладывалось целое число длин волн

$$L = N\lambda = N \frac{c}{f}, \quad (3.1)$$

где N - целое число; λ - длина волны, генерируемая в контуре; f - частота излучения, Гц; c - скорость света.

Согласно формуле (3.1), частота генерируемого излучения в неподвижном контуре

$$f = N \frac{c}{L}, \quad (3.2)$$

а время обхода его периметра встречными волнами оказывается одинаковым и равным $t = L/c$.

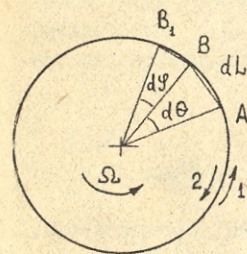


Рис.3

Пусть контур вращается в абсолютном пространстве с угловой скоростью Ω , вектор которой перпендикулярен плоскости контура. Выделим на контуре произвольный отрезок AB длиной $dL = R d\theta$. При перемещении электромагнитной волны 1 из точки A на расстояние dL за время $dt = dL/c$ точка B займет положение B_1 , сместившись на угол

$$d\varphi = \Omega dt = \Omega \frac{dL}{c}. \quad (3.3)$$

Чтобы попасть в точку B_1 , электромагнитная волна должна пройти дополнительный отрезок контура, равный $R d\varphi$. На это потребуется дополнительное время

$$d\tau = R d\varphi / c. \quad (3.4)$$

Для обхода всего контура электромагнитной волне потребуется дополнительное время

$$\tau = \frac{1}{c} \oint R d\varphi. \quad (3.5)$$

Подставляя выражение (3.3) в (3.5) и выполняя интегрирование, получим

$$\tau = 2S\Omega / c^2, \quad (3.6)$$

где S - площадь контура.

Эквивалентное изменение периметра контура для электромагнитной волны l составит

$$\Delta l = \tau c = 2S\Omega / c. \quad (3.7)$$

В том случае, если замкнутый контур, изображенный на рис.3, представляет собой резонатор кольцевого оптического квантового генератора (КОКГ), изменение его периметра при вращении приведет к изменению частоты настройки резонатора, т.е. произойдет его перенастройка, и частота электромагнитной волны l примет значение

$$f_l = cN / (L + \Delta L). \quad (3.8)$$

Учитывая изменение эффективной длины оптического пути обоих лучей, запишем выражение для разностной частоты Δf двух электромагнитных волн, распространяющихся в кольцевом резонаторе навстречу друг другу:

$$\Delta f = f_1 - f_2 = Nc \left(\frac{1}{L_1} - \frac{1}{L_2} \right) = \frac{Nc(L_2 - L_1)}{L_1 L_2}, \quad (3.9)$$

Здесь $L_1 = L + \Delta L$ и $L_2 = L - \Delta L$ - пути, проходимые по контуру лучами 1 и 2 соответственно.

С учетом (3.1) и (3.7) выражение (3.9) после соответствующих преобразований примет вид

$$\Delta f = \frac{4S\Omega}{2\lambda} = K\Omega, \quad (3.10)$$

где $K = \frac{4S}{2\lambda}$ - масштабный коэффициент ЛГ.

Таким образом, разностная частота на выходе кольцевого резонатора прямо пропорциональна угловой скорости вращения основания. Эту частоту легко измерить путем гетеродирования встречных волн, в результате чего выделяется частота биений суммарного сигнала. Подсчет числа биений суммарного сигнала позволяет получить информацию об угле поворота резонатора в инерциальном пространстве.

Основные погрешности ЛГ

Из выражения (3.10) следует, что частота выходного сигнала идеального ЛГ пропорциональна проекции абсолютной угловой скорости вращения основания на ось чувствительности, перпендикулярную плоскости резонатора КОКГ. Выходная характеристика идеального ЛГ показана пунктиром на рис.4, представляет собой зависимость разностной частоты от угловой скорости вращения основания. Она имеет вид прямой, проходящей через начало координат с наклоном, тангенс угла которого равен масштабному коэффициенту K ЛГ.

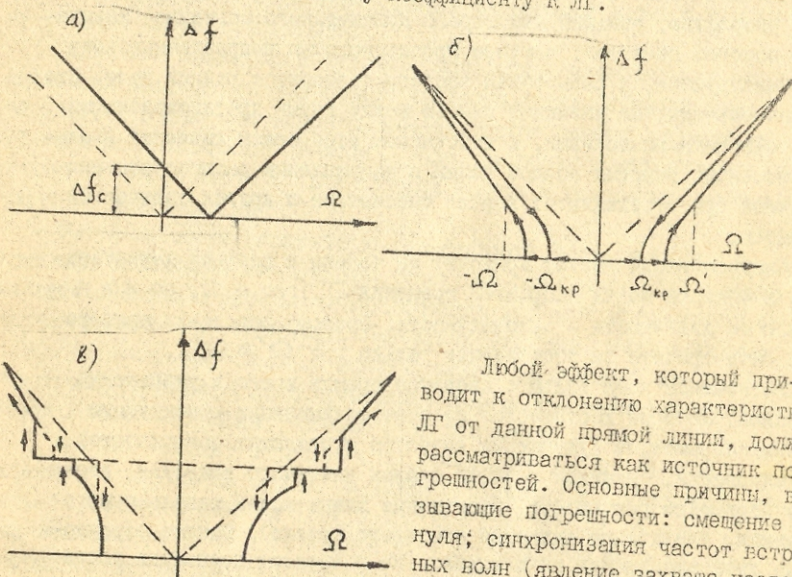


Рис. 4

Любой эффект, который приводит к отклонению характеристики ЛГ от данной прямой линии, должен рассматриваться как источник погрешностей. Основные причины, вызывающие погрешности: смещение нуля; синхронизация частот встречных волн (явление захвата частот); многомодовый характер излучения; изменение масштабного коэффициента; влияние внешних периодических возмущений.

Смещение нуля выходной характеристики (рис.4 а) вызывает погрешность ЛГ, эквивалентную понятию дрейфа обычного гироскопа. Причина возможного смещения кроется в неважном изменении коэффициента преломления среды, что приводит к разнице в скорости распространения двух противоположно направленных лучей. Для КОКГ, содержащего оптическую среду с коэффициентом преломления n , движущуюся по контуру резонатора со скоростью V_c , частотный сдвиг выход-

ной характеристики определяется соотношением

$$\Delta f_c \approx 2(n^2 - 1) \frac{V_c}{\lambda}.$$

Смещение нуля возникает и в результате направленного дрейфа носителей тока в кольцевом резонаторе, а также из-за влияния внешних магнитных полей.

Если в конструкции ЛГ не используются специальные меры для компенсации этих явлений, то смещение нуля может по порядку величины превосходить измеряемую скорость вращения.

Явление захвата частот заключается в том, что при вращении ЛГ со скоростью, меньшей некоторого критического значения (называемого порогом захвата), частоты противоположно направленных волн синхронизируются, а разностная частота становится равной нулю. Это явление объясняется взаимной связью между двумя противоположными электромагнитными волнами, а источником этой связи является взаимное рассеяние энергии каждой волны в направлении распространения встречной при отражении от зеркал резонатора и других оптических элементов.

Синхронизация частот приводит не только к разрыву характеристики в области малых скоростей вращения ЛГ (рис. 4 б), но и к нарушению ее линейности и однозначности. Поэтому показания прибора могут быть приняты за достоверные только при $\Omega \gg \Omega_{кр}$.

Уменьшение зоны захвата сводится прежде всего к уменьшению рассеяния, которое достигается за счет оптимизации конструкции и основных параметров (улучшения качества отражающих поверхностей, вакуумирования, снижения влияния плазмы активного вещества, увеличения периметра резонатора, уменьшения длины волны используемого излучения, увеличения диаметра светового потока). Однако перечисленные пути уменьшения зоны захвата не позволяют полностью устранить это явление. Поэтому в современных ЛГ используются ряд специальных методов, позволяющих преднамеренно создать начальную разность частот и этим сместить рабочую точку ЛГ из зоны захвата в линейную зону. Такое смещение, называемое частотной подставкой, осуществляется с помощью кинематических или электрооптических методов.

Простейшим способом создания кинематической частотной подставки является искусственное вращение или колебания корпуса резонатора ЛГ со скоростью, превышающей порог захвата относительно нормали к плоскости контура около положения равновесия.

Суть всех электрооптических методов реализации частотной подставки заключается в использовании устройств, обладающих различными фазосдвигающими свойствами для электромагнитных волн, распространяющихся в противоположных направлениях.

Многомодовый характер излучения объясняется тем, что в пределах линии, обусловленной доплеровским уширением, в резонаторе ЛГ могут возбуждаться несколько отдельных колебаний (мод), имеющих различный фазовый сдвиг. При этом результирующее колебание представляет собой сигнал, модулированный по амплитуде, что значительно затрудняет выделение сигнала разностной частоты и оценку угловой скорости вращения.

Одним из эффективных методов подавления нежелательных видов колебаний является регулирование усиления активной среды таким образом, что для всех видов колебаний, кроме одного, пороговые условия не выполнялись. В этом случае генерация может возникнуть только на одной частоте, для которой потери в резонаторе компенсируются усилением КОКГ.

Нестабильность масштабного коэффициента K определяется в основном возможными изменениями геометрии резонатора ЛГ, а также нестабильностью коэффициента преломления активной среды из-за ее дисперсионной характеристики. Основными методами, позволяющими стабилизировать K , являются использование специальной схемы автоподстройки периметра ЛГ и применение в качестве активной среды стабильных и однородных газовых сред при малых давлениях.

Влияние внешних периодических возмущений на ЛГ связано в основном с вибрацией зеркал, а также с пульсацией напряжения, питающего элементы накачки КОКГ и др. При приближении частоты внешних воздействий к частоте биений двух встречных волн вследствие возникновения параметрических явлений может произойти захват, или синхронизация разностной частоты. Это приводит к тому, что в некотором диапазоне изменения угловой скорости вращения основания разностная частота остается постоянной (рис. 4 в). Ширина образующейся полосы захвата определяется параметрами системы и интенсивностью внешних возмущений. Для уменьшения влияния вибраций конструкция ЛГ должна быть предельно жесткой.

Конструкция ЛГ

Современный ЛГ представляет собой весьма сложную оптико-электронную систему, основным элементом которой является КОКГ. Конструктивно ЛГ выполняется в виде монолитного блока из высоко-

качественного кварца или ситала, в котором просверлены каналы, образующие единый четырехугольный или треугольный оптический контур.

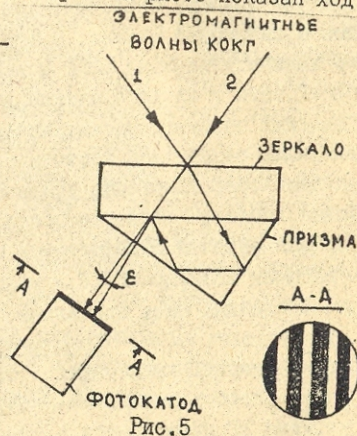
По углам оптического контура расположены зеркала с высоким коэффициентом отражения, образующие кольцевой резонатор. Зеркала изготавливаются путем напыления нескольких слоев диэлектрика на кварцевые пластины. Для обеспечения высокой жесткости конструкции зеркала соединяют с моноблоком методом молекулярной адгезии, для чего контактирующие поверхности выполняются предельно плоскими и тщательно полируются.

Внутренние полости блока заполняются активным веществом, в качестве которого используется смесь гелия и неона при давлении около $6 \cdot 10^2$ Па. В моноблоке расположены также электроды (анод и катод), необходимые для возбуждения активной среды. На электроды подается высокое напряжение, которое ионизирует газ и создает тлеющий разряд. Возникающее при этом незатухающее излучение когерентно, т.е. имеет одну и ту же частоту, положение фазы и плоскость колебания.

В одном из газоразрядных каналов резонатора устанавливается диафрагма, управление которой дает возможность получить одномодовый режим работы, при котором ОКГ генерирует излучение в одной узкой полосе спектра.

Для выделения сигнала разностной частоты встречные лучи проходят через совмещающую призму и попадают на фотоэлектронный умножитель или фотокатод оптического детектора. На рис.5 показан ход лучей в устройстве съема выходного сигнала. Если угол при вершине призмы не равен 90° , то лучи образуют интерференционную картину с некоторым числом полос на единицу длины. По направлению движения этой картины можно определить направление вращения контура.

Основной чувствительный элемент (моноблок с КОКГ) современного ЛГ работает со многими подсистемами, которые призваны ликвидировать влияние отдельных дестабилизирующих факторов и улучшать его характерис-



тики. К ним относятся подсистема регулирования мощности накачки активной газовой среды, подсистема стабилизации частоты излучения и стабилизации периметра резонатора, а также подсистема частотной подставки кинематического или электрооптического типа. Кроме того, в состав ЛГ входят подсистемы съема и преобразования выходной информации.

Описание установки. Порядок выполнения работы

Для экспериментального исследования ЛГ в режиме датчика абсолютной угловой скорости используется лабораторная установка, включающая в себя поворотный стол типа ЛП-56, лазерный гироскоп с электромагнитным вибратором и другими различными подсистемами, источник питания, цифровой частотомер, электронно-лучевой осциллограф и реверсивный счетчик импульсов.

1. Ознакомиться с принципом действия и конструкцией ЛГ по описанию и макету прибора.

2. Определить масштабный коэффициент ЛГ:

а) провести измерение частоты выходного сигнала ЛГ для двух значений входной угловой скорости: $\Omega_1 = 36^\circ/\text{с}$ и $\Omega_2 = 27^\circ/\text{с}$;

б) по формуле

$$K = \frac{4S}{2\lambda} = \frac{f_1 - f_2}{\Omega_1 - \Omega_2}$$

$$\lambda = 0,633 \text{ мкм.}$$

определить масштабный коэффициент ЛГ.

3. Снять выходную характеристику $f_p = f(\Omega)$ ЛГ:

а) измерить разностную частоту выходного сигнала ЛГ для ряда значений угловой скорости от $36^\circ/\text{с}$ до $0,025^\circ/\text{с}$ при отключенной частотной подставке;

б) повторить п.а) с включенной частотной подставкой;

в) построить графики изменения частоты выходного сигнала ЛГ в функции входной угловой скорости, используя данные пп. а) и б).

4. Составить отчет, который должен содержать: краткое описание принципа действия и конструкции ЛГ; упрощенную принципиальную схему прибора; результаты эксперимента и расчетов, графики.

Контрольные вопросы

1. Назначение и области применения ЛГ.
2. Отличительные особенности ЛГ.
3. Как расположена ось чувствительности ЛГ?
4. Чем определяется порог чувствительности ЛГ?
5. Какие существуют методы борьбы с явлением "захвата частот"?

Работа № 4. ДИНАМИЧЕСКИ НАСТРАИВАЕМЫЙ ГИРОСКОП (ДНГ)

Цель работы - ознакомление с принципом работы, конструкцией ДНГ, определение основных его характеристик.

Назначение прибора - использование в качестве чувствительного элемента индикаторного гиросtabilизатора.

Кинематическая схема, принцип работы ДНГ

В качестве чувствительных элементов гиросtabilизаторов применение получили роторные вибрационные гироскопы, у которых осуществлена динамическая настройка. Выходной сигнал ДНГ с датчиков углов поворота ротора относительно корпуса пропорционален углам поворота стабилизированной платформы, на которой установлены два гироскопа. Кинематическая схема ДНГ показана на рис.6. Двигатель I привода вращает вал 2 с частотой $\Omega = \dot{\varphi}_0$.

На торсионе 3 укреплено кольцо 4, которое связано через торсионы 5 с ротором 6 гироскопа. ДНГ представляет собой трехстепенный гироскоп с внутренним вращающимся кардановым подвесом, опоры которого являются упругими и работают на кручение вокруг осей подвеса. При повороте ротора в подвесе возникают упругие моменты опор $K_\alpha \cdot \alpha$, $K_\beta \cdot \beta$, где K_α , K_β - угловые жесткости опор подвеса; α , β - углы поворота ротора вокруг осей 3 и 5 подвеса относительно системы координат, связанной с валом 2. Эти моменты являются внешними по отношению к гироскопу. Упругие моменты опор могут быть скомпенсированы в среднем центробежными инерционными моментами $(A_1 + B_1 - C_1) \dot{\varphi}_0^2 \alpha$, $(A_1 + B_1 - C_1) \dot{\varphi}_0^2 \beta$, которые возникают при вращении кольца с частотой $\dot{\varphi}_0$, здесь A_1 , B_1 , C_1 - моменты инерции кольца вокруг его главных центральных осей инерции (C_1 - полярный момент инерции кольца 4). Условие динамической настройки имеет вид [1, 2, 8]

$$B_0 = (A_1 + B_1 - C_1) \dot{\varphi}_0^2 - (K_\alpha + K_\beta) = 0. \quad (4.1)$$

Из выражения (4.1) видно, что динамическую настройку можно осуществить изменением жесткостей K_α , K_β , частоты $\dot{\varphi}_0$ или моментов инерции кольца 4. Наиболее часто применяют последний способ; величины моментов инерции кольца изменяют путем перемещения

специальных корректировочных масс, например, винтов 5 (рис.7).

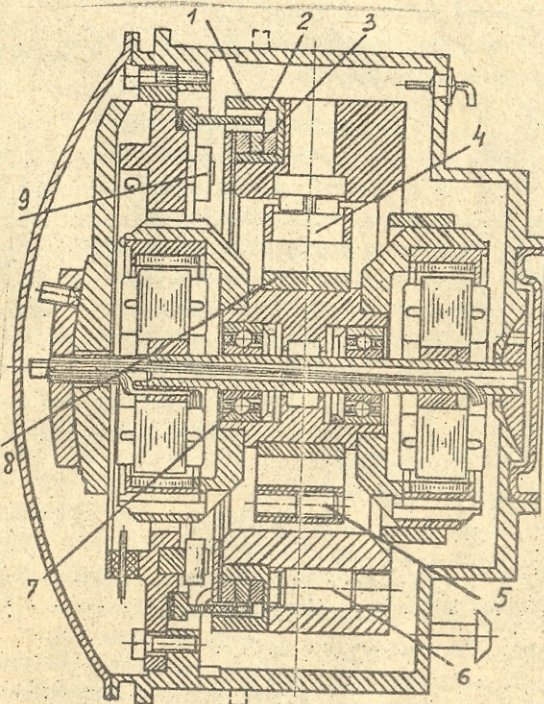


Рис.7

Условие устойчивости ДНГ при $B_0 = 0$ имеет вид

$$(C + B_1) > A + 0,5 B_1, \quad (4.2)$$

где A , C - экваториальный и полярный моменты инерции ротора. Обычно условие (4.2) выполняется с запасом $(C + B_1) / (A + 0,5 B_1) \approx 0,9 \dots 0,95$. Если отсутствуют возмущающие моменты, то углы поворота α , β ротора относительно корпуса пропорциональны углам поворота платформы, на которой установлен гироскоп; они равны

$$\alpha = m \int \omega_z dt; \quad \beta = m \int \omega_y dt \dots \quad (4.3)$$

В этом случае ДНГ работает в режиме свободного гироскопа при $|m| \rightarrow 1$; $m = -(C + 0,5 C_1) / (C + A_1)$.

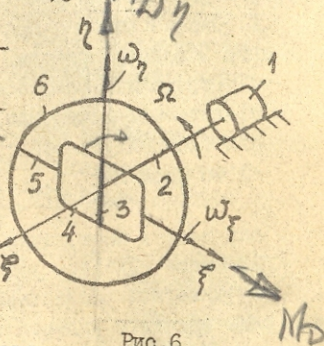


Рис.6

При наличии возмущающих моментов в установившемся режиме движения ротора собственная скорость прецессии (СП) ДНГ равна [8]

$$\dot{\beta}_2 = M_2^6 / H; \quad \dot{\alpha}_2 = M_2^6 / H, \quad (4.4)$$

где M_2^6, M_3^6 - проекция возмущающих моментов на неподвижные оси O_2, O_3 , связанные с корпусом;

$$H = (C + B_1) \dot{\varphi}_0 \quad - \text{кинетический момент ДНГ.}$$

Важной характеристикой прибора является постоянная T времени ДНГ, определяемая величиной диссипативных моментов, действующих на ротор. Диссипативные моменты возникают вследствие газодинамического сопротивления вращению ротора и наличия конструктивного демпфирования в упругих опорах из-за гистерезисных свойств материала упругих элементов, трения в заделках упругих элементов, потерь на внутреннее трение в металле и др. Обозначим диссипативные моменты $D\dot{\varphi}_0$, где $D = 0,5(D_\alpha + D_\beta + D_\varphi)$ - удельный коэффициент демпфирования; D_α, D_β - удельные демпфирующие моменты вокруг осей подвеса; D_φ - удельный момент газодинамического сопротивления вращению ротора.

Углы отклонения ротора относительно корпуса

$$\beta_2 = \beta_0 e^{-t/T}; \quad \alpha_2 = \alpha_0 e^{-t/T}, \quad (4.5)$$

где $T = H / (D\dot{\varphi}_0) = (C + B_1) / D$ - постоянная времени ДНГ; обычно $T = 50 \dots 400$ с.

СП, вызванная диссипативными моментами,

$$\dot{\beta}_2 = -\beta_2^* / T; \quad \dot{\alpha}_2 = -\alpha_2^* / T, \quad (4.6)$$

Здесь α_2^*, β_2^* - угловые отклонения ротора в неподвижной системе координат, обычно не более 1° .

Для уменьшения СП уменьшают величину диссипативных моментов (увеличивают T) путем герметизации корпуса и обеспечения заполнения его газом с малым давлением (6...40) 10^2 Па или (5...30) мм.рт.ст. В качестве газовой смеси используются водород и гелий.

Конструкция ДНГ

Основными элементами являются: ротор гироскопа, карданов подвес с упругими осями и элементами регулировки, датчики угла (ДУ), датчики момента (ДМ), привод с двигателем и опорами, герметизированный корпус.

На рис.7 показана конструктивная схема прибора ГВК-3, имеющего симметричную схему конструкции с двумя симметрично расположенными электродвигателями обращенного типа (ротор снаружи статора).

В качестве двигателей применены два синхронных гистерезисных двигателя, питание которых осуществляется от статического преобразователя, имеющего высокую стабильность частоты φ_0 . Благодаря этому стабильность скорости вращения $\dot{\varphi}_0$ высокая - менее 0,1%. При симметричной схеме расположения двигателей уменьшается изменение постоянной составляющей СП при изменении температуры окружающей среды. Однако технологически обеспечить симметрию конструкции трудно, кроме того, статоры как источники тепла расположены близко к ротору.

В качестве опор привода используют радиально-упорные шарикоподшипники со съемным наружным кольцом (магнетные). Наружные кольца, вращающиеся вместе с ротором, устанавливаются в упор на пружины шайбы; при монтаже опоры используется клей ВК-9, ЭК-115С. Шарикоподшипники устанавливаются с предварительным осевым натягом 10 Н; стяжка корпусных крышек обеспечивает стабильность осевого натяга.

В первых образцах приборов применялась сборная опора; два упругих элемента "П"-образной формы устанавливались с помощью лазерной сварки или клея. Вследствие погрешностей установки элементов, влияния температуры окружающей среды и т.д. имели место значительные технологические погрешности: неперпендикулярность плоскостей упругих элементов, несовпадение осей опоры и карданова подвеса, неперпендикулярность и непересечение осей подвеса и др. Все это приводило к смещению центров масс кольца и ротора, появлению дополнительных начальных упругих моментов и др., которые увеличивали СП. В настоящее время используется монолитная опора (изобретение Шабаева В.И. и др.), элементы которой также работают на изгиб.

Упругие элементы образуются за счет сверления (с последующей доводкой) двух пар отверстий, у которых линии, соединяющие центры каждой пары отверстий, взаимно перпендикулярны, фигурный разрез опоры по ее середине образует две взаимно перпендикулярные перемычки, благодаря чему опора в целом работает на кручение. Конструкция технологична и позволяет выполнить жесткие требования по ее геометрии; несущая способность 60-80 Н. Кольцо подвеса выполнено из титана и обеспечивает высокую жесткость конструкции. Угловая жесткость упругого элемента 0,02 Н/рад или 200 гс·м/рад. Ротор имеет технологические фиксаторы в радиальном направлении, исклю-

чащие поломку упругих осей при регулировках. Посадочные отверстия под упругие опоры 4 (рис.7) и отверстия под технологические фиксаторы обрабатываются совместно в роторе, карданном кольце и кольце 8 приводного вала, последнее с помощью клея ЭК-II5С закрепляется на корпусе-втулке шарикоподшипниковой опоры (вала). Такая конструкция позволяет вести сборку поэлементно в такой последовательности: 1) узел кардана, включающий ротор, карданное кольцо с двумя упругими опорами и кольцо 8 вала с вклеенными двумя упругими опорами; 2) опора вала; 3) крышка со статорами 9 ДУ и 2 ДМ (рис.7).

Опоры вклеиваются в кольцо и ротор с зазором 0,01...0,02 мм, а в кольцо 8 приводного вала с зазором 0,1...0,2 мм. Перед постановкой в кардан упругие оси заливаются технической мочевиной, которая после полимеризации клея вымывается теплой водой. ДУ представляют индуктивного трансформаторного типа с несущей частотой 48 кГц; для каждого канала (α_1 и β_2) по два ДУ, включенных по дифференциальной схеме.

При отклонении ротора на выходе ДУ появляется сигнал, пропорциональный его угловому отклонению (рис.8). Магнитопровод ДУ выполнен из феррита. Крутизна ДУ 2,5 мВ/угл.мин. ДМ - магнито-электрический; при появлении тока в катушке ДМ возникает сила F взаимодействия магнитных полей постоянных магнитов ротора и катушки (рис.9). Наличие постоянных магнитов 3 (рис.7) усложняет конструкцию ротора. Первоначально при монтаже магнитов применялась диффузионная сварка; затем была разработана конструкция ротора с магнитом, представляющим собой одну деталь, которая укреплялась с помощью клея. Крутизна ДМ 0,25 Н м/А ($2,5 \cdot 10^3$ гс·см/рад). Максимальная угловая скорость управления гироскопом 300°/ч при кинетическом моменте $H =$

$= 280$ сН см с (гс см с). Нелинейность крутизны характеристики ДМ не более 0,1% в диапазоне угловых скоростей управления ± 60 °/ч. Положение осей чувствительности ДНГ определяется положением магнитопроводов ДУ, которые благодаря шлифовке точно фиксируются относительно базовых поверхностей на корпусе прибора. Положение "электрических осей" ДМ выставляется относительно ДУ с помощью так называемых перекрестных связей, когда сигнал с ДУ

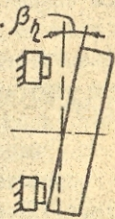


Рис.8

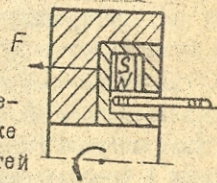


Рис.9

по одной оси подается через усилитель на ДМ другой оси (см.рис.10, где ДУ, ДМ и гироскоп показаны условно). Поэтому статор 2 ДМ (рис.7) содержит четыре основные и две дополнительные обмотки для выставки. Прибор не имеет системы термостатирования.

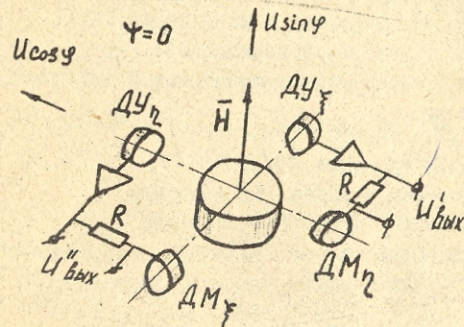


Рис.10

Приведем следующие технические характеристики прибора: габаритные размеры $\Phi 50 \times 43$ мм, вес - 3 Н, двухфазное питание двигателя импульсами 20 В на форсаже и 11,7 В в рабочем режиме; частота питания для двух гироскопов гиросtabilизатора 375 Гц и 375,7 Гц (для другого

гироскопа); потребляемая мощность в рабочем режиме 2 Вт; время разгона 1 мин; частота нутации 344 Гц; $T < 140$ с.

Величины ССП гироскопа: постоянная составляющая ССП, не зависящая от "g", определяемая при десятиминутной готовности, не более 3°/ч; (компенсируется при установке в ГС с помощью подачи дополнительного сигнала на ДМ); случайная составляющая ССП не более 0,2°/ч; составляющая ССП, зависящая от "g", не более 1°/ч·g; составляющая ССП, зависящая от "g²", 0,15°/ч·g²; "квадратурная" составляющая ССП не более 5°/ч·g; составляющая ССП, зависящая от изменения температуры окружающей среды в диапазоне - 60°C...+ 75°C, не более 0,01 (°/ч)/1°C.

Краткое описание установки и методики проведения эксперимента *

Лабораторная установка состоит из прибора ГВК-3, установленного на платформе оптической делительной головки (ОДГ), пульта управления и генератора. Соединение пульта управления в ГВК-3 обеспечивает включение ДНГ в режиме обратной связи по моменту (рис.10). Выходные сигналы в виде напряжения на термостабильных сопротивлениях R , пропорциональные сумме гироскопических и вне-

* В разработке установки и методики приняли участие В.И.Липатников и А.В.Озолин

ших моментов, снимаются с помощью милливольтметров пульты МВ1 и МВ2. СДГ позволяет разворот ее платформы вокруг вертикальной оси на $\pm 360^\circ$, а также вокруг горизонтальной оси, обеспечивая положения "Н - вертикально", "Н - горизонтально". Основание ОДГ выставляется по меридиану, при этом ось O_B прибора в начальном положении ($\psi=0$) направлена на север, а вектор \vec{H} параллелен вектору $\vec{U} \sin \varphi$. В начальном положении ($\psi=0$) уравнения моментов ДНГ ($B_0=0$) могут быть записаны в виде

$$-H U \cos \varphi + M_{\xi}^b + K_{DM_{\xi}} \cdot \dot{\alpha}_{\xi} = 0,$$

где $M_{\xi}^b = M_0 + G L$; M_0 - внешние моменты, не зависящие от "g"; $G L = m g l$ - момент статической разбалансировки; $K_{DM_{\xi}}$ и $H U \cos \varphi$ - крутизна и ток датчика момента; $H U \cos \varphi$ - гироскопический момент от горизонтальной составляющей угловой скорости суточного вращения Земли.

Определение ω_0 - составляющей ССП, не зависящей от "g"

Разворачивая платформу в плоскости горизонта на углы $\psi = 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 360^\circ$ и измеряя напряжение в цепи ДМ₂ и ДМ₃, суммируя (или вычитая) напряжения $U_{DM_2} = U_{вчх}$; $U_{DM_3} = U_{вчх}$ для вышеуказанных значений ψ , получают следующие выражения:

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_{01}^2 + \omega_{02}^2}; \quad (4.7)$$

$$\omega_{01} = 0,5 (U_{DM_2 \psi=90^\circ} + U_{DM_2 \psi=270^\circ}) K_{DM_2} / R; \quad (4.8)$$

$$\omega_{02} = 0,5 (U_{DM_3 \psi=0^\circ} + U_{DM_3 \psi=180^\circ}) K_{DM_3} / R, \quad (4.9)$$

где $K_{DM_2} = 2 \cdot R \cdot U \cos \varphi / (U_{DM_2 \psi=0^\circ} - U_{DM_2 \psi=180^\circ});$

$K_{DM_3} = 2 \cdot R \cdot U \cos \varphi / (U_{DM_3 \psi=90^\circ} - U_{DM_3 \psi=270^\circ})$ - крутизны датчиков моментов.

Определение постоянной времени T прибора

В систему обратной связи вводят дополнительное электрическое смещение нуля ДУ ξ с калиброванным напряжением U_K , что приводит к отклонению ротора гироскопа на угол $\alpha_{\xi}^* = U_K / K_{DU_{\xi}}$, где $K_{DU_{\xi}}$ - крутизна датчика угла. Величина ССП вычисляется по формуле, аналогичной (4.8): $|\alpha_{\xi T}^*| = \omega_{\xi T} = K_{DM_2} \cdot U_{DM_2} / R.$

Зная $\alpha_{\xi T}^*$, $|\alpha_{\xi T}^*|$, в соответствии с (4.6) находят

$$T = \frac{\alpha_{\xi T}^*}{|\alpha_{\xi T}^*| \cdot \omega_{\xi T}} = \frac{\alpha_{\xi T}^*}{U_{DM_2} \cdot K_{DM_2} \cdot K_{DU_{\xi}}} \cdot U_K \cdot R \quad (4.10)$$

Определение ССП при нарушении условия динамической настройки

Если частота питания f_n привода отличается от резонансной частоты f_p на величину $\Delta f = f_n - f_p$, то неточность динамической настройки определяется выражением

$$\Delta \beta_0 = 0,5 [2K - (2A, -C_1)(\psi_0 + \Delta \psi)] - 0,5 [2K - (2A, -C_1)\psi_0]^2 = 2K \Delta f / f_p, \dots \quad (4.11)$$

где $\Delta \psi$ - величина, характеризующая изменение частоты вращения ротора ($\Delta f \neq 0$); $2K = K_{\alpha} + K_{\beta}$.

ССП гироскопа, возникающая при нарушении динамической настройки (при расстройке) с учетом (4.11) имеет вид

$$\omega_{\Delta f} = \frac{2K}{H} \frac{\Delta f}{f_p} \beta_0^* \quad (4.12)$$

Методика определения постоянной времени T и величины ССП при проведении эксперимента

А. Для каждого из каналов измерения (по току в цепи обратной связи) величину ССП запишем в виде суммы

$$\omega_{ССП} = \omega_{\Delta f} + \omega_T + \omega_0, \quad (4.13)$$

где $\omega_{\Delta f}$, ω_T - величины ССП, зависящие от Δf и T соответственно;

ω_0 - величина ССП, не зависящая от Δf и T .

Б. Для определения постоянной времени T измеряют величину ССП:

$$\alpha_{\xi T}^* = \omega_{\xi T}^* \quad (4.14)$$

Здесь $\alpha_{\xi T}^*$ - значение ССП при измерении, когда $\alpha_{\xi}^* = 0$; $\Delta f = 0$;

$\omega_{\xi T}^*$ - значение ССП, не зависящей от Δf и T .

При отклонении ротора на угол α_{ξ}^* появится составляющая $\omega_{\xi T}$, вызванная диссипативными моментами и зависящая от T . Измеряемая величина ССП

$$\alpha_{\xi T}^* = \omega_{\xi T} + \omega_{\xi T}^* = \alpha_{\xi T} + \omega_{\xi T}^* \quad (4.15)$$

Постоянная времени в соответствии с (4.10), (4.14), (4.15)

$$T = \alpha_{\xi T}^* / (\alpha_{\xi T} - \alpha_{\xi T}^*) \quad (4.16)$$

В. Определение величины ССП $\omega_{\xi T}$ при расстройке прибора ведется следующим образом.

С помощью звукового генератора задается величина расстройки по частоте $\Delta f = q_1 f_p$, при этом обеспечивается условие $\beta_0^* = 0$.

Величина ССП измеряется по току ОС

$$\alpha_{F3} = \omega_{F0}'' \dots \quad (4.17)$$

При отклонении ротора на угол $\beta_2^* \neq 0$

$$\alpha_{F4} = \omega_{F04} + \omega_{F0}'' \quad (4.18)$$

Из (4.17), (4.18) определяем

$$\omega_{F04} = \alpha_{F4} - \alpha_{F0}'' \dots \quad (4.19)$$

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с инструкцией по ТБ. Изучить конструкцию прибора на стенде. Прибор требует аккуратного обращения, не допускает ударов.

2. Установить тумблеры лабораторного пульта В1, В2, В3, В4, В5 в положение "Откл.", В10 - в положение "П" (цепи ДУ-ДМ разомкнуты), В14, В15 - "Вкл." В11 - в положение "0".

3. Включить в сеть 220 В цифровой вольтметр В7-27 и звуковой генератор ГЗ-30. Прогреть приборы 5 мин, подключить вольтметр к цепи ДУ-ДМ (вынуть из гнезд Ш24 соединительную вилку и к ним подключить вольтметр). Переключатель вида измерений вольтметра установить в положение диапазона измерений тока 10 мА. Выход "Зг" подключить к клеммам Кл19, Кл20 пульта (внизу левой боковой стенки). Установить по шкале ГЗ-30 частоту 375 Гц.

4. Поставить тумблер В1 в положение "Вкл." Регулировкой напряжения на выходе "Зг" установить на вольтметрах пульта ИП12, ИП13 напряжения форсированного питания - 18+1В. При этом ДНГ начинает вращаться. Наблюдать за стрелкой миллиамперметра И1; после (50 с) "скачка" стрелки выключить режим форсированного питания, переключив В3 в положение "Вкл."

5. Земкнуть цепи ДУ-ДМ₂ и ДУ₂-ДМ₁, переводя В10 в положение 1.

6. Записать по шкале "mA" показания цифрового вольтметра (либо по шкале И1-4) соответствующие величине α_{F1} ; при $K_{DMF} = 18 \text{ } \frac{\text{мВ}}{\text{откл}}$ пересчитать величину α_{F1} в размерность $\frac{\text{мВ}}{\text{откл}}$. Поставить В4 в положение "Вкл." Это соответствует смещению нуля ДУ₁ на $\alpha_{F1}^* = 10'$. Записать с учетом знака показание цифрового вольтметра (или по шкале И1-2), которое соответствует величине α_{F2} ; пересчитать α_{F2} в размерность $\frac{\text{мВ}}{\text{откл}}$. Вычислить по (4.16) величину T . Отключить В4.

7. Уменьшить частоту ГЗ-30 на 10%, установив частоту 337,5 Гц. Записать с учетом знака показание цифрового вольтметра (или И1-8),

соответствующее $\alpha_{F3} \text{ } \frac{\text{мВ}}{\text{откл}}$.

9. Поставить В5 в положение "Вкл", что соответствует смещению нуля ДУ₂ на $\beta_2^* = 10'$. Записать с учетом знака показание цифрового вольтметра, соответствующее $\alpha_{F4} \text{ } \frac{\text{мВ}}{\text{откл}}$. Перевести В5 в положение "Откл". Определить величину ССП по (4.19); экспериментальное значение ω_{F04} сравнить с расчетным по формуле (4.12) при $K/H \text{ } \frac{\text{мВ}}{\text{откл}}$.

10. Установить частоту ГЗ-30 на 10 % больше резонансной, поставив В5 в положение "Вкл". Убедиться, что знак показания цифрового вольтметра по сравнению с его показанием п.8 изменился на противоположный, что соответствует изменению знака ω_{F04} . Перевести В5 в положение "Откл".

11. Перевести все тумблеры в исходное положение. Составить отчет, который должен содержать схему рис.10, формулы (4.1...4.19), расчет величин T , ω_{F04} .

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется динамическая настройка гироскопа?
2. Чем определяется постоянная времени ДНГ?
3. Объясните методику измерения характеристик ДНГ с помощью "электропружин"?
4. Как влияет нарушение динамической настройки на точность ДНГ?

Работа № 5. МАЛОГАБАРИТНАЯ ГИРОВЕРТИКАЛЬ

Цель работы - ознакомление с принципом действия и конструкцией гировертикали МГВ-1С (серия О1), экспериментальное определение основных характеристик на неподвижном основании и при имитации выража.

Назначение МГВ - определение положения объекта относительно горизонта, углов крена и тангажа объекта [6].

Принципиальная кинематическая схема МГВ, принцип работы

Прибор представляет собой двухгироскопную платформу с силовой стабилизацией (рис.11). Ось Z платформы удерживается в вертикальном положении с помощью коррекции от одноосных жидкостных маятниковых чувствительных элементов. Съём сигналов, пропорциональных углам крена и тангажа объекта, производится с датчиков дистанционной передачи (потенциометры, синусно-косинусные трансформаторы), установленные на измерительных осях. МГВ одновременно выдает сигналы нескольким потребителям и при этом обладает повышенной точностью по сравнению с одногироскопными вертикалями типа АГД-1, АГИ-1 и

При осуществлении ЗГ не вращается

1. В4 - откл
2. В10 - 11
3. В1, В2 - откл
4. В3 - откл

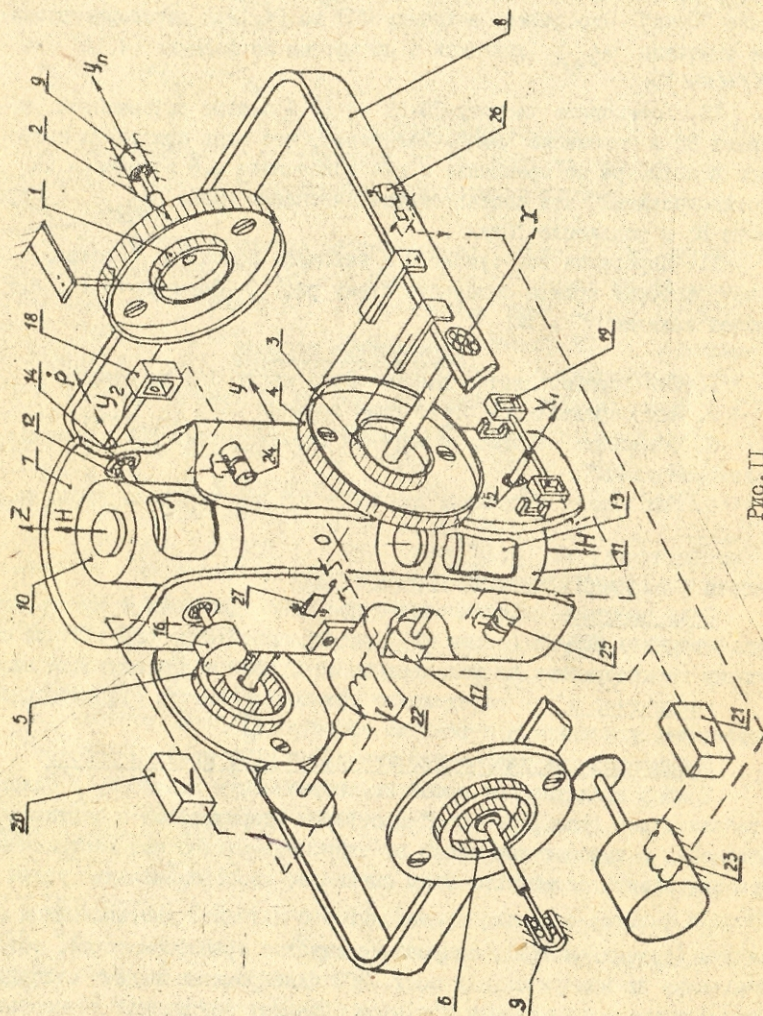


Рис. 11

АГБ-2. Это достигнуто благодаря применению принципа силовой гироскопической стабилизации. Применение этого принципа позволило скомпенсировать значительную часть вредных возмущающих моментов (от датчиков съема сигналов крена и тангажа, остаточной несбалансированности рам карданова подвеса и т.д.), которые в одногироскопных вертикалях приводят к увеличению собственной скорости прецессии гироскопа. В одногироскопных вертикалях компенсацию всех возмущающих моментов осуществляют коррекционные двигатели, что приводит к необходимости выбора сравнительно большой скорости прецессии от коррекции. В МГВ скорость прецессии от коррекции уменьшена более чем в два раза по сравнению с одногироскопными вертикалями, что в значительной степени снизило погрешность прибора при действии ускорений.

Гиросtabilизированная платформа 7 (рис. 11) является внутренней рамой карданова подвеса. На платформе установлены гироскопы 10 и 11 с равными по величине и противоположно направленными кинетическими моментами H_1 и H_2 ; элементы системы коррекции (жидкостные маятниковые датчики 24 и 25 и моментные датчики коррекции 18 и 19); разгрузочный двигатель 22, связанный через редуктор с наружной рамой. На корпусе прибора укреплен разгрузочный двигатель 23, связанный через редуктор с наружной рамой 8. Гироскопы 12 и 13 заключены в кожухи 10 и 11 и могут поворачиваться в подшипниках 14 и 15 на малые углы $\pm 5^\circ$ вокруг осей прецессии. Оси прецессии гироскопов параллельны осям Y и X платформы соответственно. По осям прецессии установлены датчики угла 16 и 17. Ось Z платформы направлена по вертикали места, а ось Y_1 наружной рамы - вдоль продольной оси объекта. Информация об углах тангажа и крена объекта снимается с синусно-косинусных трансформаторов 5, 6 и потенциометров 1, 2, 3, 4. Структурная схема прибора объединяет три системы: а) стабилизации, б) коррекции, в) арретирования (ускоренного восстановления платформы).

Система силовой стабилизации (разгрузки) осуществляет компенсацию возмущающих моментов, действующих по измерительным осям X и Y . Стабилизация платформы относительно оси X осуществляется при помощи гироскопа 10 и разгрузочного двигателя 22. При возникновении возмущающего момента M_x вокруг оси X на арретированном гироскопе 10 возникает момент $M_g = H \dot{\rho}$, уравнивающий возмущающий момент M_x . Как только появляются упоры. В момент

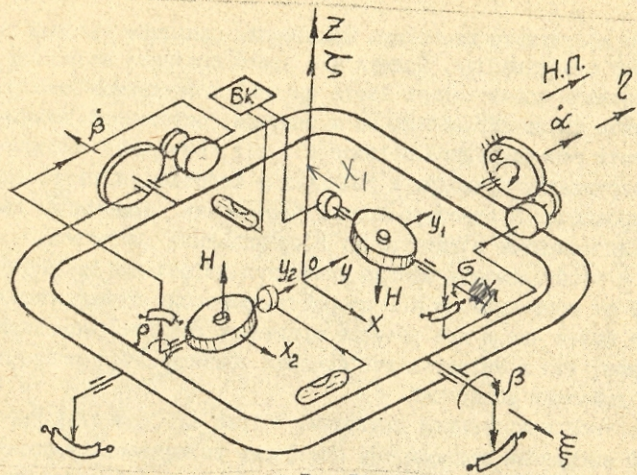


Рис. 12

отклонения гироскопа 10 вокруг оси прецессии, с датчика угла 16 через усилитель 20 поступает сигнал на разгрузочный двигатель 22. Двигатель развивает вокруг оси X момент $M_p = E\rho$ (E - крутизна характеристики системы разгрузки), направленный противоположно возмущающему и совместно с гироскопическим моментом уравновешивающий возмущающий момент $H\dot{\rho} + E\rho = M_x$. Когда момент разгрузочного двигателя станет равным возмущающему моменту, прецессия гироскопа прекратится, гироскопический момент станет равным нулю, а гироскоп отклонится на небольшой угол $\rho_{ст} = \frac{M_x}{H}$. При этом платформа не реагирует на действие возмущающего момента и остается в первоначальном положении. При исчезновении возмущающего момента гироскоп 10 под действием разгрузочного момента возвращается в нулевое положение. Аналогично происходит разгрузка от возмущающих моментов, возникающих по оси Y. В ней участвуют гироскоп 11 и датчик угла 17, сигнал с которого через усилитель 21 поступает на разгрузочный двигатель 23. Таким образом, система стабилизации обеспечивает неизменное положение платформы в абсолютном пространстве при действии возмущающих моментов вокруг измерительных осей X и Y. Гиросtabilизированная платформа с отключенной коррекцией аналогично гироскопу, т.е. ее ось Z сохраняет неизменное положение в абсолютном пространстве (если не учитывать собственную прецессию). Система маятниковой коррекции предназначена

для совмещения оси Z стабилизированной платформы с вертикалью. В приборе предусмотрена система маятниковой коррекции, работающая отдельно по оси крена Y и тангажа X. В систему коррекции по тангажу входит жидкостный маятниковый датчик 24. Он заполнен токопроводящей жидкостью, равно перекрывающей контакты при его горизонтальном положении. Продольная ось датчика, по которой расположены контакты, параллельна оси Y прибора. При наклоне платформы относительно оси X наклоняется и укрепленный на ней маятниковый датчик 24. При этом перераспределяются токи, протекающие через контакты датчика, так как их перекрытие жидкостью становится неодинаковым. Результирующий сигнал с контактов датчика 24 поступает на моментный датчик 18, который представляет собой рамку в магнитном поле. Возникает момент вокруг оси Y2 гироскопа 10, создающий прецессионное движение платформы относительно оси X до приведения оси X платформы в вертикальное положение. Аналогично осуществляется коррекция вокруг оси Y с помощью маятникового датчика 25 и рамочного моментного датчика 19. Так как возмущающие моменты на измерительных осях компенсируются разгрузкой, они не влияют на прецессию под действием коррекции. Коррекция по каждому каналу может быть раздельно выключена, что необходимо для уменьшения погрешности прибора при воздействии длительных ускорений (набор скорости, вираж).

Система арретирования быстро восстанавливает платформу в горизонтальное положение (т.е. ось Z в вертикальное положение) в процессе запуска по сигналам от механических маятников 26 и 27, которые установлены соответственно на внутренней и наружной рамах. Оси маятников для повышения их чувствительности располагают "вертикально" (параллельно оси Z платформы и перпендикулярно плоскости наружной рамы). Если внутренняя рама 7 в момент запуска прибора наклонена относительно оси X на большой угол, то один из контактов, расположенных по обе стороны маятника 27, замыкается. Сигнал с маятника, поступающий на управляющую обмотку двигателя разгрузки 22 (при нажатии на кнопку "Арретир") выбран так, чтобы он был противоположен по знаку и превышал максимальный сигнал, который посылается с датчика угла 16 на двигатель 22. Вначале арретирования цепь разгрузки автоматически разрывается, а затем ослабляется (см. электросхему). Поэтому двигатель развивает момент, заставляющий гироскоп 10 прецессировать вокруг оси Y2 до тех пор, пока его движение не будет ограничено одним из упоров. В момент

касания об упор теряется степень свободы, и под действием момента двигателя 22 платформа, как обычное негироскопическое тело, начинает ускоренно с угловой скоростью ω_x двигаться к горизонтальному положению. С появлением угловой скорости ω_x возникает гироскопический момент $M_g = H\omega_x$ гироскопа 10, который действует на платформу через ограничивающие упоры относительно оси У. Под действием этого, внешнего для гироскопа 11, момента последний прецессирует за платформой со скоростью $H\omega_x/H_z = \omega_x$. Гироскопические моменты, возникающие относительно оси платформы, взаимно компенсируются вследствие того, что гироскопы вращаются в разные стороны. Благодаря компенсации гироскопических моментов, двигатель 22 не испытывает дополнительной нагрузки и обеспечивает восстановление платформы в горизонтальное положение после нескольких колебаний. Аналогично работает система арретирования вокруг оси У. Система арретирования приводит платформу в горизонтальное положение с точностью $\pm(1,5...2)^\circ$ из любого положения.

Конструкция МГВ

Основными конструктивными элементами и узлами МГВ являются: два гироблока, гиropлатформа (или внутренняя рама карданова подвеса), карданный узел, корпус, узел амортизации.

В гироблоке сосредоточены элементы, участвующие в работе систем стабилизации, арретирования, маятниковой коррекции, дистанционного завала и сигнализации о работоспособности. Подвижную часть гироблока составляет гиpоузел ГУА-2Д, представляющий собой асинхронный гиpомотор с кинетическим моментом ротора $H=2000$ сН см с (гс.см с), укрепленный в герметичном корпусе, заполненном родородом. Корпус гиpоузла имеет две полуоси. Гиpоузел устанавливается в стальном корпусе гироблока на прецизионных шарикоподшипниках. С одной стороны на оси гиpоузла укреплен якорь индукционного датчика угла. Статор датчика угла укреплен на корпусе гироблока. Пакет статора набран из пластин пермаллоя 50 Н и имеет 16 полюсов. В пазы пакета уложены две обмотки (возбуждения и сигнальная). Якорь представляет собой пакет из пластин того же материала и имеет восемь полюсов. С другой стороны на кронштейне, укрепленном на корпусе гиpоузла, установлены два пакета рамок (обмоток управления) моментных датчиков коррекции и дистанционного завала. Магнитопроводы и обмотки возбуждения моментных датчиков укреплены на корпусе гироблока. На торцевой стенке установлен упор, ограничивающий угол

поворота гиpоузла. Он состоит из жесткого кронштейна и двухстороннего пружинящего упора. При отклонении гиpоузла втулка, надета на выступ гиpоузла, нажимает на упор, контакт на упоре замыкается с винтом. Для балансировки гиpоузла предусмотрен регулировочный винт. Гиpоблоки крепятся на внутренней раме карданова подвеса (платформе). На платформе также укреплены два жидкостных маятниковых датчика типа ДЖМ-9Б. Каждый датчик представляет собой трубку из специального стекла, в которую впаяны платиновые контакты с выводами. Трубка заполнена токопроводящей жидкостью типа ТПЖ-11 так, что остается газовый пузырек, перекрывающий в горизонтальном положении верхние контакты примерно наполовину. Зона пропорциональности переключателя ± 9 .

На платформе установлены также двухфазный индукционный двигатель ДМ-01А разгрузки по тангажу с редуктором, маятник быстрого восстановления (арретирования) по тангажу, потенциометры дистанционной передачи сигналов тангажа и другие элементы. Внутренняя рама карданова подвеса. В его узле расположены потенциометрические датчики и синусно-косинусный трансформатор СКТ-232 дистанционной передачи сигналов тангажа, маятник быстрого восстановления (арретирования) по крену и другие элементы. Собранный карданов подвес устанавливается в корпусе на двух шарикоподшипниках. На оси наружной рамы укреплен фланец с ротором СКТ-265Д, а на корпусе прибора - статор СКТ-265Д и щетки потенциометрического датчика дистанционной передачи сигналов крена. На торцевой части корпуса размещены двигатель ДМ-01А разгрузки по крену с редуктором, блок питания усилителей, группа реле. С помощью последней осуществляются следующие операции:

1. Разрыв цепи силовой стабилизации в начальный момент запуска прибора (когда гироскоп ложится на упор и замыкает контакты К1 и К2), что предотвращает возникновение автоколебаний в процессе разгона гиpомотора.

2. Ослабление цепи стабилизации при арретировании прибора.

3. Обеспечение работы сигнализации прибора при отказах в его гироскопической части (обрыв фаз питающего напряжения гиpомоторов, нарушение цепей в схеме системы стабилизации и др.). Усилители собраны на печатных платах и микросхемах. Карданов подвес в корпусе герметично закрывается с помощью кожуха

и крышки, скрепленных между собой. Провода из прибора выводятся через герметичные штепсельные разъемы. Внутренняя полость прибора заполняется гелием. Прибор помещен в узел амортизации, с помощью которой он крепится на объекте.

Основные характеристики МГВ: питание переменным током $36 \pm 3,6$ В, частотой 400 ± 8 Гц, постоянным током $27 \text{ В} \pm 2,7$ В; температурный интервал $+60^\circ \dots -60^\circ \text{C}$; время готовности $\leq (4 \dots 5)$ мин, диапазон углов работы по крену $\pm 180^\circ$, по тангажу $\pm 60^\circ$; погрешность выдерживания вертикали - на неподвижном основании $\pm 5'$, на качающемся основании $\pm 15'$, в полете - $\leq -30'$; скорость прецессии от маятниковой коррекции в нормальных условиях $(0,7 \dots 2) \text{ }^\circ/\text{мин}$; скорость собственной прецессии платформы при выключенной коррекции $0,4 \text{ }^\circ/\text{мин}$;

Движение платформы МГВ на вираже

На рис. 12 представлена упрощенная схема МГВ. Здесь $\xi \eta \zeta$ - траекторная система координат; $X Y Z$ - система координат, связанная с платформой. При правильном вираже самолет с установленным на нем прибором разворачивается вокруг вертикали с постоянной угловой скоростью. Возникающее при этом центростремительное ускорение направлено параллельно оси ξ . Под действием сил инерции жидкость в жидкостном маятниковом датчике отклоняется за пределы зоны пропорциональности, и на моментный датчик поперечной коррекции поступает сигнал, создающий постоянный по величине и направлению момент на оси гироскопа. В результате ось Z платформы отклоняется от вертикали, появляется погрешность, которая достигает значительных величин (несколько градусов за полный вираж). Одним из способов уменьшения погрешностей прибора на вираже является выключение поперечной коррекции от специального прибора (рис. 13).

Порядок выполнения работ

I. Проверить готовность прибора.

А. Проверить ~~75~~ положение выключателей В на щитках питания, на ~~74~~ пульте управления и пульте-приставке. Они должны быть следующими: В0 - "Выкл."; В4, В5 - "Вкл."; В2, В6, В7 - в среднем положении; а В1, В3 - "Вкл.", а В1 и В3 - в среднем положении.

Б. Подать напряжение 27 В и 36 В, 400 Гц. На пульте-приставке ПШБ-77 поставить В1 и В3 в положение "30°", В2 - "Вкл."; В4 - "Вкл." (загорается зеленая лампочка) и проверить правильность полярности постоянного тока по вольтметру V_1 . В2 поставить в положение "черед. фаз" и по блинкеру Б1 проверить правильность чередования фаз переменного тока (на блинкере должны появиться белые секторы).

38

Проверить время готовности прибора, для чего В2 на пульте управления установить в положение "Питание прибора" (зеленая лампочка гаснет) и включить секундомер. Через 2 мин нажать на 5...10 с кнопку "арретир" и затем отпустить (должна загореться зеленая лампочка). Время готовности определяется с момента запуска прибора и до момента, когда показания вольтметров на пульте-приставке перестанут изменяться и колебаться. Время готовности не должно быть больше 4 мин. Проконтролировать по V_1 напряжение постоянного тока $27 \text{ В} \pm 10\%$, по V_2 - переменное напряжение $36 \text{ В} \pm 10\%$ в фазах; по амперметру "А" - ток в каждой фазе ($\leq 0,8$ А) при трех положениях В3. Через 4 мин после запуска прибора переключить вольтметры приставки на диапазон измерения $\pm 3^\circ$. Когда показания вольтметров перестанут изменяться, привести корпус прибора с помощью ручек кронштейна в рабочее положение, соответствующее нулевым показаниям вольтметров "крен" и "тангаж" на приставке.

2. Проверить линейность потенциометров крена и тангажа. Поворачивая прибор с помощью ручек кронштейна последовательно на углы $(1, 2, 5, 10)^\circ$ в одну и другую сторону от его исходного положения вокруг продольной (по крену) и поперечной (по тангажу) осей, снять показания вольтметров "крен" и "тангаж". Построить графики $U_1 = f(\gamma)$ и $U_2 = f(\alpha)$ и определить крутизну характеристик $K_1, K_2, \text{ }^\circ/\text{В}$.

3. Проверить систему сигнализации о работоспособности. Включением В7 и В6 положения "Завал" отклонить платформу на $(5 \dots 8)^\circ$, что соответствует $5 \dots 8$ В по V_1 и V_2 . Выключить В7 и В6. Нажать и быстро отпустить кнопку "арретир". При этом гироскопы ложатся на упоры, самоблокируются реле Р1, и зеленая лампочка гаснет, сигнализируя о нарушении работоспособности прибора. При повторном (более длительном) нажатии на кнопку "арретир" сигнализация о работоспособности прибора восстанавливается - загорается зеленая лампочка.

4. Определить скорость прецессии от коррекции. Установить МГВ в положение, соответствующее нулевым показаниям вольтметров приставки. Отклонить платформу МГВ на 2° поочередно в сторону пикирования, кабрирования, правого и левого кренов включением В7 и В6 в положение "Завал", что соответствует ± 2 В по V_1 и V_2 . В момент выключения В7 (или В6) запустить секундомер. Определить время, за которое коррекция приводит прибор к вертикали с точностью $(10 \dots 12)'$. Определить скорость прецессии:

$$K_1 = K_2 = 1$$

т.е.

$$\Delta V = 1^\circ$$

$$K_{\beta} = K_{\alpha} = 1$$

$$\alpha = \frac{U_1 \cdot K_{\alpha}}{L}, \quad \beta = \frac{U_2 \cdot K_{\beta}}{L}$$

Найти среднее значение скорости прецессии от коррекции - по крену и тангажу:

$$K_{\alpha} = 0,5(\alpha_1 + \alpha_2), \quad K_{\beta} = 0,5(\beta_1 + \beta_2)$$

5. Осуществить имитацию движения гировертикали на выраже с отключением поперечной коррекции:

включая вращение платформы поворотной установки, подвести "0" ее шкалы под индекс;

установить на шкале поворотной установки показание $1^{\circ}/с$; $2^{\circ}/с$

выждать, пока показания V_1 и V_2 придут к "0";

отключить поперечную коррекцию выключателем В5;

В5 "Завал" поставить в положение "вправо", создать завал на $2,5^{\circ}$ ($2,5$ В на V_1) и поставить в нейтральное положение;

включить тумблер вращения платформы в положение "лево" (левый вираж);

в течение одного оборота платформы через каждые 30° фиксировать показания V_1 и V_2 с учетом знаков.

При отклонении стрелки вольтметра крена вправо считать $V_1 > 0$ и $\alpha > 0$. При отклонении стрелки вольтметра тангажа влево считать $V_2 > 0$ и $\beta > 0$. Выключить вращение платформы. Результаты измерений записать. Учесть, что 1 В показаний V_1 и V_2 в диапазоне $\pm 3^{\circ}$ соответствует отклонению гиروطформы на 1° .

Повторить эксперимент для случая правого виража. Показания записать. Пользуясь полученными данными построить в прямоугольных координатах α и β траекторию движения вершины гиروطформы.

6. Осуществить имитацию движения гировертикали на выраже без отключения коррекции

включая вращение платформы, подвести "0" шкалы под индекс;

установить на шкале поворотной установки показание $1^{\circ}/с$; $2^{\circ}/с$

выждать, пока показания V_1 и V_2 придут к "0";

на пульте управления выключатель Ш1 поставить в положение "К";

отключить поперечную коррекцию выключателем В5;

В5 "завал" поставить в положение "вправо" и включить тумблер вращения платформы в положение "лево" (левый вираж);

В течение двух оборотов платформы через каждые 30° фиксировать показания V_1 и V_2 с учетом знаков. Выключить вращение платформы и поставить В5 в нейтральное положение. Выключить поперечную

коррекцию выключателем В5. Результаты измерения записать;

начиная с нуля, повторить эксперимент для случая правого виража. При этом в В5 поставить в положение "влево" и тумблер вращения платформы в положение "вправо". Показания записать; Выкл. ПУ п.1
построить в прямоугольных координатах α и β траекторию движения вершины гиروطформы.

7. Составить отчет, который должен содержать краткое описание принципа действия и конструкции МГВ, упрощенную кинематическую схему МГВ; результаты эксперимента и расчета, графики.

Контрольные вопросы

1. Для чего в МГВ используется принцип силовой гироскопической стабилизации?
2. Как работает система арретирования прибора?
3. Как работает система маятниковой коррекции прибора?
4. Для чего в приборе предусматривается отключение поперечной коррекции на выраже?
5. Почему в приборе выбрано противоположное направление векторов кинетических моментов гироскопов?
6. Как измеряются углы крена и тангажа объекта?
7. Какие отказы в работе контролируются в МГВ?
8. Как устроена система сигнализации отказов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Браславский Д.А., Логунов С.С. Пельпор Д.С. Авиационные прибор и автоматы. - М.: Машиностроение, 1978. - 247-258 с.
2. Брозгуль Л.И., Смирнов Е.Л. Вибрационные гироскопы. - М.: Машиностроение, 1970. - 214 с.
3. Бычков С.И., Лукьянов Д.П., Бакаляр А.И. Лазерный гироскоп. - М.: Со. радио, 1975. - с.15-50.
4. Гироскопические системы. Под ред. Пельпора Д.С. - М.: Высшая школа, 1971. - 258 с. ч.П.
5. Датчик угловой скорости ДУС-Л-7А, ДУС Л-11А. Техническое описание, инструкция по эксплуатации. - М.: Машиностроение, 1970. - 52 с.
6. Малогабаритная гировертикаль МГВ-1с Серия ОI. Техническое описание (с дополнением). - М.: Машиностроение, 1974. - 102 с.
7. Оптический квантовой гироскоп. Под ред. Шереметьева А.Г. - М.: Машиностроение, 1973 - 85 с.
8. Пельпор Д.С., Матвеев В.А., Фатеев В.В. Конструкция гиростабилизаторов на ДНГ. - М.: МВТУ, 1984. - 100 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Работа № 1. Датчик угловой скорости (ДУС) с механической пружиной (Манин В.Н.)	3
Работа № 2. Датчик угловой скорости с электрической пружиной (Крикун В.М.)	8
Работа № 3. Лазерный гироскоп (Герди В.Н.)	13
Работа № 4. Динамически настраиваемый гироскоп (ДНГ) (Матвеев В.А.)	22
Работа № 5. Малогабаритная гировертикаль (Бауман В.А.)	30 71