

До переваг використаного підходу можна віднести: відносну швидкість отриманих акустичних результатів, залежність отриманого результату лише від одно-

го вирішувача, на основі літературних даних можна говорити про те, що отримані результати якісно добре узгоджуються з експериментом [4].

### Література

1. А.Г. Муниин *Авиационная акустика*, ч.2, М, «Машиностроение», 1986.- 264с.
2. Самохин В. Ф. *КУРС ЛЕКЦИЙ ШУМ ГТД Введение в авиационную акустику*, - М., ЦАГИ, 2007. – 152 с.
3. В.И. Токарев и др. *Снижение шума при эксплуатации пассажирских самолетов*, - К., «Техника», 1990.- 127с.
4. S. Timouchev XVI Session of the Russian Acoustical Society, - Moscow, November 14 -18, 2005.

*Проводиться аналіз ефективності деяких методів автокомпенсації впливу зовнішніх перешкод на силовий та індикаторний гіростабілізатори, які функціонують в умовах одночасного впливу проникного акустичного випромінювання і кутового руху фюзеляжа*

*Ключові слова: гіростабілізатор, акустичний вплив, хитавиця, автокомпенсація впливу перешкод*

*Проводится анализ эффективности некоторых методов автокомпенсации влияния внешних помех на силовой и индикаторный гиросtabilизаторы, которые функционируют в условиях одновременного воздействия проникающего акустического излучения и углового движения фюзеляжа*

*Ключевые слова: гиросtabilизатор, акустическое воздействие, качка, автокомпенсация влияния помех*

*The analysis of efficiency of some methods of autoindemnification of influence of external disturbance on powered and indicator gyrostabilizers which function in the conditions of simultaneous influence of penetrable acoustic radiation and angular motion of fuselage is conducted*

*Keywords: gyrostabilizer, acoustic influence, tossing, autoindemnification of influence of disturbance*

УДК 629.7.054

# ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ СТАБИЛИЗАТОРОВ АВТОКОМПЕНСАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

**В. В. Карачун**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*

**В. Н. Мельник**

Доктор технических наук, профессор\*

\*Кафедра биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

пр-т Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

Контактный тел.: (044) 454-94-51

E-mail: karachun1@gala.net

## 1. Введение

Исследования относятся к области прикладной механики, в частности, изучению особенностей инерциальных приборов пилотажного и навигационного назначения.

Рассматриваются схемы автокомпенсации влияния внешних помех на работу силового и индикаторного гиросtabilизаторов в условиях реверберационного

пространства с высокой интенсивностью акустического воздействия звуковой частоты.

Известно, что построение на подвижных объектах различного класса неподвижной, или заданным образом изменяющейся, платформы представляет не только сложную, но и чрезвычайно важную, научно-техническую задачу. Установленная на ней аппаратура решает целый комплекс задач управления движением, обнаружения и т.п. Поэтому гироскопически стаби-

лизируемые платформы постоянно находятся в поле зрения специалистов.

## 2. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

Оценим специфику некоторых электромеханических устройств, использующих двухстепенные гироскопы в качестве комплектующих элементов при работе в интенсивных акустических полях. Для примера рассмотрим гиросtabilизированную платформу (ГСП).

Известно, что для создания на подвижных объектах триортогональной системы координат, либо заданного ориентирного направления, используются различного рода гироскопические стабилизаторы.

Одной из разновидностей гиросtabilизаторов являются, как известно, силовые гироскопические стабилизаторы, представляющие собой электромеханические устройства, снабженные специальными стабилизирующими двигателями для компенсации внешних возмущающих моментов, действующих на стабилизируемую платформу и управляемых по сигналам двухстепенных гироскопов, выполняющих роль чувствительных элементов. Другой тип гиросtabilизаторов – индикаторные ГС, которые также являются электромеханическими устройствами, но с функциями чувствительных элементов систем стабилизации, на которые ложится непосредственно силовая нагрузка по стабилизации [1, 2].

Исследования показали, что эффективным способом компенсации влияния интенсивных акустических полей является модуляция постоянных возмущающих моментов периодической функцией времени. Известная техническая реализация этого способа состоит в автокомпенсации акустической погрешности путем принудительного вращения подвеса гироскопа относительно оси, параллельной вектору кинетического момента гироскопа [3].

## 3. Автокомпенсация влияния внешних возмущений в жестких условиях эксплуатационного использования летательных аппаратов

Расширим задачу анализа и будем рассматривать работу гиросtabilизатора в реальных условиях одно-временного воздействия как интенсивных акустических возмущений, так и вибрации корпуса носителя, обусловленной работой маршевых двигателей и силовых установок. Предлагается для этого случая, на наш взгляд, перспективная схема силового (рис. 1) и индикаторного (рис. 2) гиросtabilизаторов.

Двухосный силовой гиросtabilизатор (рис. 1) состоит из основания 1, на котором установлены амортизаторы 18, 19, 20 и 21 с закрепленными на них подшипниками осей прецессии двухстепенных гироскопов 22, 23 с одинаковой кинематикой подвеса, параллельными между собой векторами кинетических моментов  $\vec{H}_1$  и  $\vec{H}_2$  гироскопов, взаимноперпендикулярными осями прецессии. Основание 1 принудительно вращается с угловой скоростью  $\omega$  специальным двигателем 6 вокруг оси, перпендикулярной плоскости

стабилизированной платформы 5, на которой оно установлено.

Выходной сигнал датчиков угла 24 и 25 гироскопов поступает на преобразователь координат 9, который механически соединен с основанием 1. Выходной сигнал преобразователя координат 9 поступает на согласующее устройство 14, а также на вход усилителей 10 и 11, управляющих стабилизирующими двигателями 12 и 13. Для согласования направлений векторов кинетических моментов  $\vec{H}_1$  и  $\vec{H}_2$  гироскопов с вектором угловой скорости  $\vec{\omega}$  основания 1, проводится коррекция их положения относительно основания 5 путем подачи сигналов с датчиков угла 24 и 25 на усилители 26 и 27, выходной сигнал которых поступает на датчики момента 28 и 29, установленные на осях прецессии гироскопов. Подшипники наружной рамы 15 гиросtabilизатора установлены на амортизаторах 16 и 17, жестко закрепленных на корпусе носителя.

Индикаторный гиросtabilизатор с принудительным вращением подвеса гироскопа (рис. 2) состоит из основания 1, на котором на амортизаторах 2 и 3 установлен трехстепенной автоматический некорректируемый гироскоп 4 в кардановом подвесе. В исходном положении вектор  $\vec{H}$  кинетического момента гироскопа перпендикулярен плоскости стабилизируемой платформы 5. Основание 1 принудительно вращается с угловой скоростью  $\omega$  специальным двигателем 6 вокруг оси, перпендикулярной плоскости стабилизируемой платформы 5, на которой оно установлено. На осях подвеса гироскопа находятся датчики угла 7 и 8, сигналы с которых поступают на преобразователь координат 9, а, затем, предварительно усиленные усилителями 10 и 11, на управляющие обмотки стабилизирующих двигателей 12 и 13. Согласующее устройство 14 электрически соединено с преобразователем координат 9. Подшипники наружной рамы 15 гиросtabilизатора установлены на амортизаторах 16 и 17, жестко закрепленных на корпусе носителя.

Силовой гиросtabilизатор (рис. 1) при одновременном воздействии интенсивных акустических возмущений и вибрации корпуса носителя работает следующим образом.

Интенсивные акустические поля генерируют в элементах конструкции гироскопов изгибные колебания, которые в совокупности приводят к появлению на некоторых частотах постоянных по величине и направлению возмущающих моментов, ориентированных вдоль осей прецессии, и, следовательно, служат причиной возникновения систематических погрешностей гироскопов. Принудительное вращение подвесов гироскопов вместе с основанием 1 с угловой скоростью  $\omega$  специальным двигателем 6 вокруг оси, перпендикулярной плоскости стабилизируемой платформы 5 и параллельной векторам кинетических моментов  $\vec{H}_1$  и  $\vec{H}_2$  гироскопов, позволяет смодулировать вектор возмущающего момента периодической функцией времени типа  $\sin \omega t$ . Это приведет к такой же модуляции во времени систематической погрешности двухстепенного гироскопа и, тем самым, позволит свести к нулю ее среднее значение за период вращения.

Устранение влияния вибрации основания 1, вызванной воздействием интенсивного акустического возмущения осуществляется установкой подшипников осей прецессии на амортизаторы 18, 19, 20 и 21.

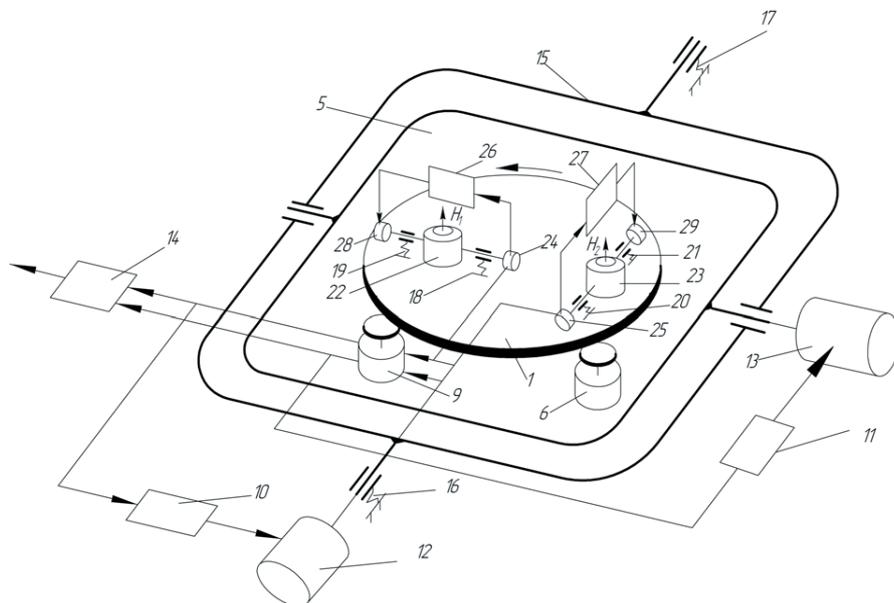


Рис. 1. Кинематическая схема силового гиросtabilизатора, работающего в условиях одновременного кинематического и акустического, высокой интенсивности, воздействий

Ввиду того, что принудительное вращение подвесов гироскопов приводит к их переориентации в пространстве, тогда как стабилизированная платформа 5 вместе с двигателями 12 и 13 остается неподвижной, сигналы датчиков угла 24, 25 гироскопов поступают на усилители 10 и 11 стабилизирующих двигателей 12 и 13 с преобразователя координат 9, механически связанного с основанием 1 и повторяющего его вращение, а электрически соединенного с датчиками угла 24 и 25. Если для решения задач управления носителем потребуется сигнал двухстепенного гироскопа, то его можно получить в аналоговой или цифровой форме с помощью согласующего устройства 14, электрически соединенного с преобразователем координат 9. В этом случае все устройство можно рассматривать как двухстепенной гироскоп, но имеющий при интенсивных акустических возмущениях и вибрации корпуса носителя меньшие погрешности измерения, чем обычный гироскоп в этих же условиях.

В исходный момент времени векторы кинетических моментов  $\vec{H}_1$  и  $\vec{H}_2$  гироскопов параллельны вектору  $\vec{\omega}$  угловой скорости вращения основания 1. С проявлением возмущений по осям стабилизации происходит рассогласование этих векторов, что приводит к возникновению дополнительных гироскопических моментов, обусловленных влиянием перекрестной составляющей вектора  $\vec{\omega}$ , параллельной осям чувствительности гироскопов 22, 23. Электрический сигнал датчиков угла 24, 25, пропорциональный этой скорости, предварительно усиленный уси-

лителями 26 и 27, поступает на датчики момента 28 и 29, формирующие величину и направление момента, чтобы обеспечить исходную параллельность векторов  $\vec{H}_1$ ,  $\vec{H}_2$  и  $\vec{\omega}$ .

Для устранения влияния вибрации корпуса носителя на погрешность стабилизации подшипники наружной рамы силового гиросtabilизатора устанавливаются на амортизаторах 16 и 17 [4].

Индикаторный гиросtabilизатор при интенсивных акустических возмущениях и вибрации корпуса носителя работает аналогично. Однако надо отметить, что при интенсивности акустического излучения выше 160 дБ некорректируемый гироскоп, без принятых мер шумоизоляции, неработоспособен.

Дальнейшим усовершенствованием схемы силового гиросtabilизатора является ГС с принудительным вращением подвесов электрически связанных двухстепенных гироскопов с противоположно направленными векторами кинетических моментов и одинаковой ориентацией осей подвеса (рис. 3).

В этом случае датчики угла гироскопов через суммирующее устройство и усилители соединяются с укрепленными на осях прецессии датчиками момента, а через дифференциальный усилитель подключаются к преобразователю координат. Применение механического спарника в этом случае нецелесообразно ввиду нарушения его нормального функционирования при интенсивности звукового излучения выше 160 дБ. Кроме того, механический спарник практически исключает использование в гиросtabilизаторе поплавковых гироскопов.

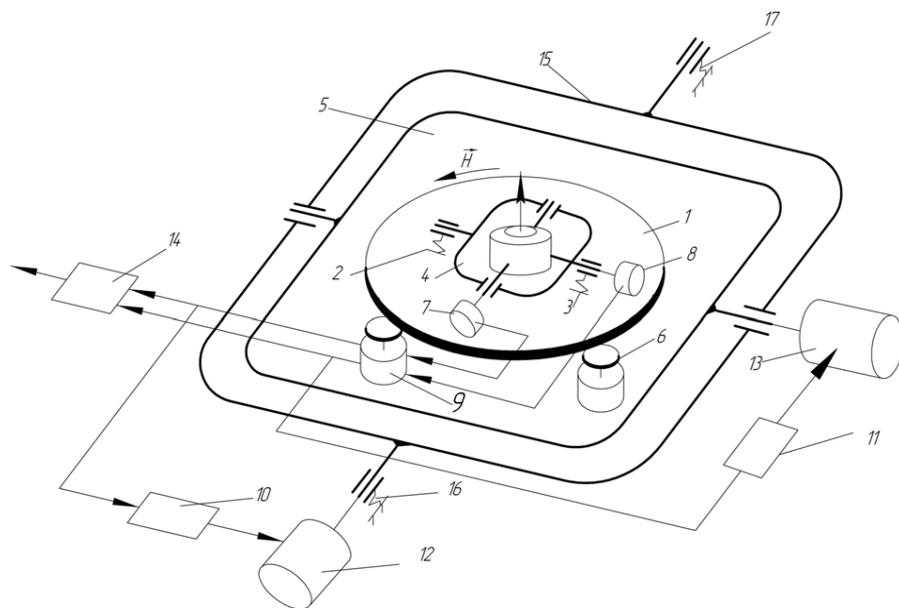


Рис. 2. Кинематическая схема индикаторного гиросtabilизатора, работающего при одновременном кинематическом и акустическом возмущениях

Формирование выходного сигнала двухстепенных гироскопов в виде разности выходных сигналов двух электрически связанных приборов позволяет компенсировать влияние мгновенных значений моментов-помех, обусловленных боковой чувствительностью гироскопов и влиянием углового ускорения корпуса носителя как в случае стационарного, так и нестационарного характера их изменения во времени. Кроме того, компенсируется также сдвиг нуля (дрейф нуля у интегрирующего гироскопа), имеющий место при кинематическом возмущении со стороны корпуса носителя даже при угле поворота подвижной части гироскопа, равной нулю. Жесткая отрицательная обратная связь по сумме сигналов датчиков угла гироскопов позволяет провести взаимную коррекцию их положения между собой и вектором  $\omega$  угловой скорости основания 1 подачей сигнала на датчики момента.

В исходном положении векторы кинетических моментов  $\vec{H}_i$  гироскопов 10, 11, 12 и 13 параллельны между собой и перпендикулярны плоскости стабилизированной платформы 15. Интенсивное акустическое возмущение генерирует в элементах конструкции гироскопов изгибные колебания и напряжения в материале, которые в совокупности приводят к появлению постоянных возмущающих моментов и, следовательно, к систематическим погрешностям гироскопов. Формирование выходного сигнала двухстепенных гироскопов устройства для гироскопической стабилизации изделий в виде разности выходных сигналов двух электрически связанных разновращающихся гироскопов 10, 11 и 12, 13 позволяет компенсировать влияние мгновенных значений моментов-помех, обусловленных боковой чувствительностью гироскопов и влиянием углового ускорения корпуса носителя, причем, как в случае стационарного, так и в случае нестационарного характера их изменения во времени. Кроме того, компенсируется также сдвиг нуля, имеющий место при кинематическом возмущении со стороны корпуса носителя даже при угле поворота подвижной части прибора равной нулю. Жесткая отрицательная обратная связь по сумме сигналов датчиков угла 16, 17 и 18, 19 гироскопов 10, 11 и 12, 13 позволяет провести взаимную коррекцию их положения между собой и вектором  $\omega$  угловой скорости основания платформы подачей сигнала на датчики момента 24, 25, 26 и 27.

Принудительное вращение подвесов гироскопов 10, 11, 12 и 13 вместе с основанием 1 с угловой скорос-

тью  $\omega$  двигателем 14 вокруг оси, перпендикулярной плоскости стабилизированной платформы 15 и параллельной векторам кинетических моментов  $\vec{H}_i$  гироскопов, позволяет смодулировать векторы возмущающих моментов, обусловленных влиянием интенсивного акустического излучения, дебаланса гироскопов, сил сухого трения, а также других инструментальных погрешностей периодической функцией времени типа  $\sin \omega t$ , что приведет к такой же модуляции во времени систематической погрешности гироскопов и, тем самым, позволит свести к нулю ее среднее значение за период вращения.

Устранение влияния вибрации основания 1, обусловленной акустическим возмущением высокой интенсивности, на элементы конструкции гироскопов 10, 11 и 12, 13 осуществляется установкой подшипников их выходных осей на амортизаторы 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9.

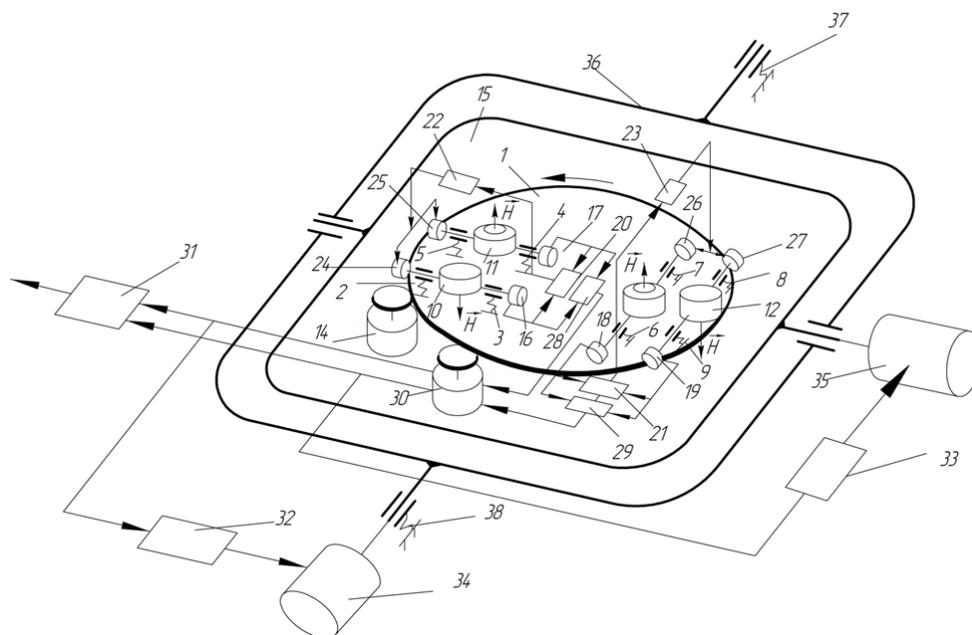


Рис. 3. Кинематическая схема силового гиросtabilизатора с двухканальной автокомпенсационной схемой уменьшения влияния внешних механических воздействий

Так как принудительное вращение подвесов гироскопов приводит к их переориентации в пространстве, тогда как стабилизированная платформа 15 с двигателями 34 и 35 остается неподвижной, сигналы дифференциальных усилителей 28 и 29 поступают вначале на преобразователь координат 30, механически соединенный с основанием 1 и повторяющий его вращение, а затем, через усилители 32 и 33 на управляющие обмотки стабилизирующих двигателей 34 и 35.

Если для решения задач управления движением объекта при интенсивных акустических возмущениях и вибрационном нагружении со стороны корпуса носителя необходим сигнал двухстепенного гироскопа, то его можно получить в цифровой или аналоговой форме с помощью согласующего устройства 31, электрически соединенного с преобразователем координат 30. в этом случае предлагаемое устройство можно рас-

смагивать как двухстепенной гироскоп, но лишенный недостатков обычного двухстепенного гироскопа в условиях интенсивных акустических возмущений и вибрации основания.

Экспериментальные исследования показали, что макетный образец устройства для гироскопической стабилизации изделий (ГСП), имеющий в качестве чувствительных элементов поплавковые двухстепенные гироскопы класса ДУСУ, установленные на амортизаторах и включенные либо по дифференциальной схеме, либо принудительно вращаемые вокруг оси, параллельной вектору кинетического момента, нормально функционирует при акустическом нагружении интенсивности 160 децибел в частотном диапазоне до 1 кГц.

Проведенные стендовые и теоретические исследования влияния интенсивного акустического излучения на полиагрегатные системы промышленного образца датчика угловых скоростей модификации ДУСУ позволяют сделать некоторые обобщения для других технических исполнений таких систем и сформулировать следующие выводы и рекомендации:

– полиагрегатные системы подвержены влиянию интенсивных акустических полей. Предложенная механическая модель упруго-деформируемой полиагрегатной системы в виде двух коаксиальных замкнутых цилиндрических оболочек, разделенных жидкостью, позволяет проводить качественную и количественную оценку влияния акустических воздействий;

– бортовые гироскопические приборы, имеющие полиагрегатную структуру, при акустическом воздействии высокой интенсивности имеют погрешности измерения, которые могут быть классифицированы как методические и инструментальные. Предложенные механические модели позволяют определить их физическую структуру и оценить количественно;

– для уменьшения влияния акустических воздействий высокой интенсивности на полиагрегатные гироскопические бортовые приборы могут быть рекомендованы некоторые виды автокомпенсационных схем, нашедших применение для борьбы с иными вредными воздействиями, и прошедшие апробацию с положительным эффектом при звуковых и ультразвуковых частотах нагружения.

---

#### 4. Выводы

---

Предлагаемые технические решения подавления влияния наиболее часто встречаемых внешних воздействий – кинематического и акустического высокого уровня – позволяют, в той или иной степени, добиться желаемого результата. Степень эффективности борьбы с внешними помехами находится в прямой зависимости от требований на массогабаритные характеристики аппарата. Что превалирует – точность построения площадки или жесткие ограничения на массогабаритные характеристики, – то и будет служить основой для выбора схемы.

---

#### Литература

1. Карачун, В.В. Собственные частоты оболочечных фрагментов с ненулевой кривизной линии меридиана [Текст] / В.В. Карачун // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2007. – №8(44). – С. 67-70.
2. Коновалов, С.Ф. Проектирование гироскопических систем [Текст]: учеб. пособие / С.Ф. Коновалов, Е.А. Никитин, С.М. Селиванов; МВТУ им. Баумана – М.: Высш. шк., 1980. – 128с.
3. Карачун, В.В. Рухомі міражі [Текст]: монографія / В.В. Карачун, В.М. Мельник; Нац. техн. ун-т Укр. «КПІ». – К.: «Корнійчук», 2009. – 136с. – Бібліогр.: с. 135-136. – ISBN 978-966-7599-58-4.
4. Коновалов, С.Ф. Влияние упругих деформаций сиффона и кронштейна выносного элемента на виброустойчивость поплавкового прибора [Текст]: сб. науч. тр. №372 / МВТУ. Сер. Прикладная гидромеханика поплавковых приборов. – Москва: МВТУ, 1982. – С. 25-60.