

2. Одинцов А. А. Ориентация объектов в магнитном поле Земли. Учебное пособие для студентов приборостроительных специальностей / А. А. Одинцов, В. В. Мелешко, С. А. Шаров – К.: Корнийчук, 2008. – 142 с.

References

1. Koguhov V. P. Magnetic compass deviation / V. P. Koguhov, V. V. Voronov, V. V. Grigoriev – М.: Transport, 1971. – P. 24-56. [rus]
2. Odintsov A. A. The orientation of objects in Earth's magnetic field. Textbook for students of instrument-making professions / A. A. Odintsov, V.V. Meleshko, S.A. Sharov. – К.: Korniychuk. - 2008. – 142 p. [rus]

В. В. Мелешко, В. А. Нелепов, О. В. Курлович

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ОБЛІКУ ДЕВІАЦІЇ МАГНІТНОГО КОМПАСА

Розглядається точність відомої формули опису залишкової магнітної девіації. Показано, що при крені і диференті судна формула дає значні помилки. Наведені приклади оцінок помилки для різних кутів орієнтації судна і різному географічному положенні. Пропонується обчислення магнітної девіації за іншою формулою, що містить компоненти магнітного поля об'єкту, які описуються моделлю Пуассона. Така формула дає більш точну оцінку девіації, що залежить лише від точності визначення параметрів магнітного поля судна.

Ключові слова: магнітний компас, магнітна девіація, магнітні параметри Пуассона.

V. Meleshko, V. Neleпов, A. Kurlovich

National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

EXACTNESS ESTIMATION OF MAGNETIC COMPASS DEVIATION ACCOUNTING

Exactness of the known formula of description of remaining magnetic deviation is examined. It is shown that at a roll and different of ship a formula gives considerable errors. Examples of estimations of error are made for the different corners of ship position and different geographical location. The calculation of magnetic deviation is offered on other formula, containing the components of magnetic field of object, described by the model of Poisson. This formula gives a more accurate estimate of the deviation, which depends only on the accuracy of determining the parameters of the magnetic field of the vessel.

Keywords: magnetic compass, magnetic deviation, magnetic parameters of Poisson.

*Надійшла до редакції
05 липня 2011 року*

УДК 531/534

ОБ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ ПОДВЕСА РОТОРНЫХ ВИБРАЦИОННЫХ ГИРОСКОПОВ

Шевченко О. Ю., Черный О. И., Бондарь П. М.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

Проведен сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований макета упругого подвеса двухстепенного роторного вибрационного гироскопа и результатов математического моделирования подвеса методом конечных элементов. Показано, что зависи-

мость жесткости подвеса от толщины упругих элементов одинакова, но значения рассчитанных жесткостей несколько завышены по сравнению с экспериментальными. Это объясняется неидеальной формой упругих элементов макета подвеса и изменением физических свойств поверхностного слоя при электроискровой обработке. В дальнейшем предусматривается использование полученных результатов при исследовании, зависимости частот собственных колебаний элементов роторного вибрационного гироскопа от параметров подвеса.

Ключевые слова: роторный вибрационный гироскоп, упругий подвес, метод конечных элементов.

Введение

Одним из основных элементов роторного вибрационного гироскопа является упругий подвес. Объект исследований – упругий подвес ротора двухстепенного роторного вибрационного гироскопа (РВГ) представляющий собой цельнометаллический цилиндр с проделанными в нём перемычками. Такой подвес имеет ряд преимуществ перед сложными аналогами, которые используются в существующих трехстепенных роторных вибрационных гироскопах с динамической настройкой (ДНГ), среди которых можно отметить относительно невысокую стоимость изготовления и технологическую простоту.

При проектировании РВГ большое внимание уделяется обеспечению стабильности коэффициента передачи датчика, который в значительной степени зависит от упругих характеристик подвеса такого гироскопа, особенно в тех случаях, когда не используется режим динамической настройки прибора. Поэтому изучение упругих свойств таких подвесов является важным направлением при изготовлении РВГ. В настоящее время недостаточно исследованы вопросы численного моделирования методом конечных элементов (МКЭ) динамических характеристик приборов данного класса. Поэтому актуальным является исследование свойств подвеса с учётом их реальных геометрических особенностей при помощи МКЭ.

Целью работы является сопоставление результатов моделирования с результатами испытаний реальных подвесов и проверка, таким образом, адекватности разработанной модели подвеса.

Конструкция подвеса

Базовый элемент чувствительного элемента РВГ – подвес (рис. 1) выполнен из цельной металлической заготовки, имеющей цилиндрическую форму. Материал заготовки выбирают из прецизионных сплавов с заданными упругими свойствами. В частности, для изготовления подвеса был выбран сплав 36НХТЮ и, соответственно, его характеристики были заложены для расчёта при помощи МКЭ. Перемычки, изготовленные методом электроэрозии, представляют собой пару (с двух сторон) плоских пружин, вырезанных в виде креста. Центр масс чувствительного элемента должен быть расположен в центре этого креста. Толщина таких перемычек выбирается исходя из требования минимально возможной жёсткости по оси чувствительности гироскопа и максимальной жёсткости в других направлениях.



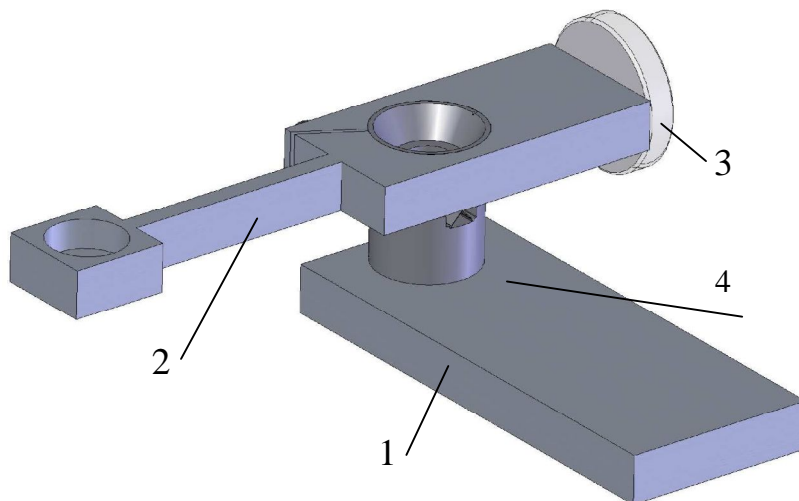
Рис. 1. Внешний вид упругого подвеса роторного вибрационного гироскопа

Главной особенностью, сдерживающей уменьшение толщины перемычек, является используемая технология. На исследуемых образцах подвеса с разной толщиной перемычек вырезаны также небольшие плоские пружины, выполняющие роль ударогасителей.

Экспериментальные исследования

Жёсткость реальных экспериментальных подвесов измерялась с помощью изготовленного приспособления (рис. 2).

Приспособление состоит из плиты 1 и кронштейна 2, на котором смонтировано зеркало 3. На плите жёстко закреплялся подвес 4. На его подвижную часть устанавливался кронштейн, на одном из концов которого сделано место для установки гирек. С помощью теодолита фиксировалось начальное положение подвижной части подвеса относительно зеркала. Затем с помощью гирек известных номиналов задавался изгибающий момент, и измерялось угловое отклонение. Для большей точности проводилось как минимум три измерения. За-



меры показали, что упругая характеристика в пределах углов до 3° имеет линейный характер.

Рис. 2. Приспособление для измерения жёсткости подвеса, где: 1 – основание; 2 – кронштейн; 3 – зеркало; 4 – подвес.

Таким образом, зная угол отклонения и расстояние от точки приложения силы, были вычислены жёсткости подвесов. Для сопоставления измеренных жёсткостей с полученными жёсткостями с помощью моделирования было так-

же проведено измерение толщин перемычек реальных подвесов. Для этого был использован микроскоп, с разрешающей способностью 1 мкм. Как показали замеры, перемычки имеют неодинаковую толщину в пределах одного подвеса, и могут незначительно отличаться по толщине даже по длине самой перемычки. В процессе эксперимента были исследованы три упругих подвеса с перемычками, толщина которых колебалась в пределах (0,065 – 0,07) мм, (0,073 – 0,078) мм и (0,077 – 0,082) мм. Таким образом, толщина перемычек изменялась в пределах 0,005 мм для каждого подвеса. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость жесткости от толщины перемычек

| Измеренная толщина перемычки подвеса, мм | Жёсткость подвеса, Н·мм/рад |
|--|-----------------------------|
| 0,065-0,07 | 30 |
| 0,073-0,078 | 46 |
| 0,077-0,088 | 76,6 |

Математическое моделирование

Для построения модели подвеса РВГ была использована САПР SolidWorks. Для дальнейших численных исследований применялись пакеты программ, реализующие метод конечных элементов (МКЭ), в частности ANSYS. Конечно элементная модель (рис. 3) создавалась для идеализированного варианта – все перемычки одной толщины и без трапециедалности, которая, в зависимости от процесса их изготовления в большей или меньшей степени присутствует в реально изготовленных подвесах. В тоже время модель учитывает такие особенности конструкции как радиусы, обусловленные использованием проволоки определенного диаметра при электроискровой обработке.

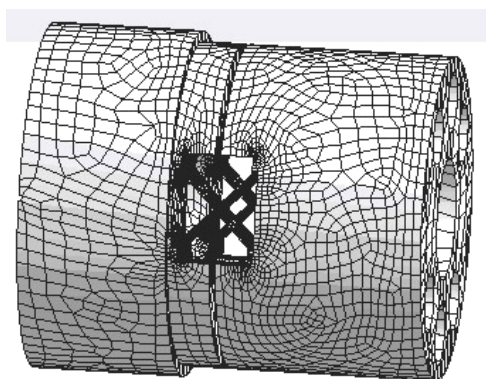


Рис. 3. Модель подвеса роторного вибрационного гироскопа.

Толщина упругих перемычек выбиралась, исходя из средних значений соответствующих размеров макетных образцов подвеса. Для нахождения жёсткости в качестве задающего воздействия использована пара сил, действующих относительно центра масс чувствительного элемента. Величины изгибающих моментов брались такими же, как и при натурном эксперименте.

Основной проблемой, возникшей при проведении моделирования, явилась интерпретация полученных результатов. Пакет ANSYS не выдаёт в прямом виде угол поворота модели под-

веса в соответствии с заданным входящим воздействием, который нужен для определения жёсткости, а лишь

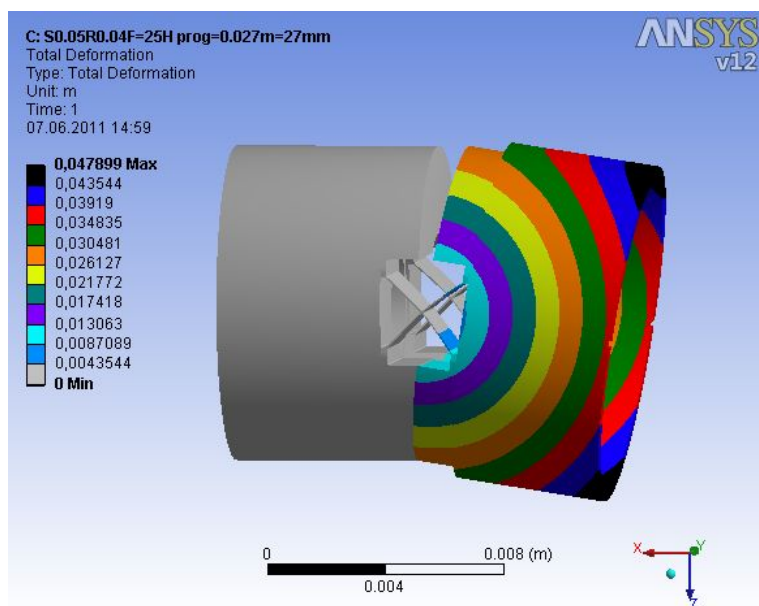


Рис.4. Результаты моделирования.

показывает величину смещения массива точек на утрированной модели под воздействием внешних сил (рис. 4). Для определения угла прогиба подвеса в САПР SolidWorks задавалось смещение, найденное для массива точек на расстоянии воздействия пары сил от центра масс, затем измерялся получаемый угол прогиба подвеса. Результаты моделирования приведены в табл. 2.

Таблица 2. Зависимость жесткости от толщины перемычек

| Расчетная толщина перемычки подвеса, мм | Расчетная жёсткость подвеса, Н·мм/рад |
|---|---------------------------------------|
| 0,0675 | 44,3 |
| 0,0755 | 56,9 |
| 0,0825 | 72,2 |

Выводы

Как следует из сравнения результатов натурального эксперимента и численного моделирования, характер изменения жесткости подвеса от толщины перемычки одинаков, но при малых толщинах перемычек расчетные жесткости несколько завышены по сравнению с экспериментальными. При большей толщине данные практически совпадают. Это может быть объяснено как влиянием неодинаковости толщины упругих элементов реальных подвесов, так и наличием в поверхностном слое перемычки элементов, не принимающих после электроискровой обработки механических напряжений.

В дальнейшем предполагается использование полученных результатов при исследовании зависимости частот собственных колебаний элементов роторного вибрационного гироскопа от параметров подвеса.

Литература

1. Образцов И. Ф. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов [Текст]: учебн. пособие / И. Ф. Образцов, Л. М. Савельев, Х. С. Хазанов. – М.: Высш. шк., 1985. – 392 с.

2. Балабанов И. В. Жесткостные характеристики типовых элементов упругих подвесов навигационных датчиков / И. В. Балабанов, Т. В. Балабанова, В. И. Степин, А. П. Коррель // Механіка гіроскопічних систем. – 2009. - № 20. – С. 66-76.

References

1. Obratsov I. F. A method of eventual elements is in the tasks of structural mechanics of aircrafts [Text]: tutorial / I. F. Obratsov, L. M. Saveliev, H. S. Khazanov. – М.: higher school, 1985. – 392 p. [rus]
2. Balabanov I. V. Stiffness characteristics of typical elements of the elastic suspension of navigation sensors / I. V. Balabanov, T. V. Balabanova, V. I. Stepin, A. P. Correll // The mechanics of gyroscopic systems. – 2009. – № 20. – P. 66-76. [rus]

О. Ю. Шевченко, О. І. Чорний, П. М. Бондар

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
г. Киев, Украина*

ПРО АДЕКВАТНІСТЬ МОДЕЛІ ПІДВІСУ РОТОРНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ГІРОСКОПІВ

Проведено порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень макета пружного підвісу двоступеневого роторного вібраційного гіроскопа і результатів математичного моделювання підвісу методом кінцевих елементів. Показано, що залежність жорсткості підвісу від товщини пружних елементів однакова, але значення розрахованих жорсткостей дещо завищені в порівнянні з експериментальними. Це пояснюється неідеальною формою пружних елементів макета підвісу і зміною фізичних властивостей поверхневого шару при електроіскровій обробці. Надалі передбачається використання отриманих результатів при дослідженні залежності частот власних коливань елементів роторного вібраційного гіроскопу від параметрів підвісу.

Ключові слова: роторний вібраційний гіроскоп, пружний підвіс, метод кінцевих елементів.

O. Shevchenko, O. Chorny, P. Bondar

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

THE ADEQUACY OF THE MODEL SUSPENSION ROTARY VIBRATORY GYROSCOPE

A comparative analysis of the results of experimental studies of elastic suspension layout two-stage rotary vibratory gyroscope and the results of mathematical modeling of the suspension by finite element method. The dependence of the rigidity of the suspension of the thickness of the elastic elements is identical, but the values of the calculated stiffnesses are somewhat too high compared with the experimental ones. This is due to the non-ideal shape of the elastic elements of the layout and depth of change in physical properties of the surface layer during spark processing. In what follows is supposed to use the results obtained by studying the dependence of natural frequencies of vibration of the gyroscope rotor elements of the parameters of the suspension.

Keywords: rotary vibratory gyroscope, springy suspension, the finite element method.

*Надійшла до редакції
7 листопада 2011 року*