

УДК 528.15

## ГРАВИТАЦИОННЫЙ ВАРИОМЕТР ТЕНЗОРНОГО ТИПА С ТОРСИОННЫМ КАРДАНОВЫМ ПОДВЕСОМ ЕГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

Ю. В. Гостев, А. И. Сорока

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.  
sorokaai@mail.ru

*В работе выполнен анализ разработок в области орбитальной гравиградиентометрии, позволяющий выявить отечественный приоритет в разработке орбитальных градиентометров. Представлены виды оригинальной конструктивной схемы ГВТТ. Разработка такой конструктивной схемы гравитационного вариометра представляется перспективной для использования на космических объектах.*

*Ключевые слова: гравитационный вариометр, виды оригинальной конструктивной схемы ГВТТ, гравиградиентометрия.*

## GRAVITATIONAL VARIOMETER OF TENSOR TYPE WITH A TORSION GIMBAL SUSPENSION OF ITS SENSITIVE ELEMENT

Yu. V. Gostev, A. I. Soroka

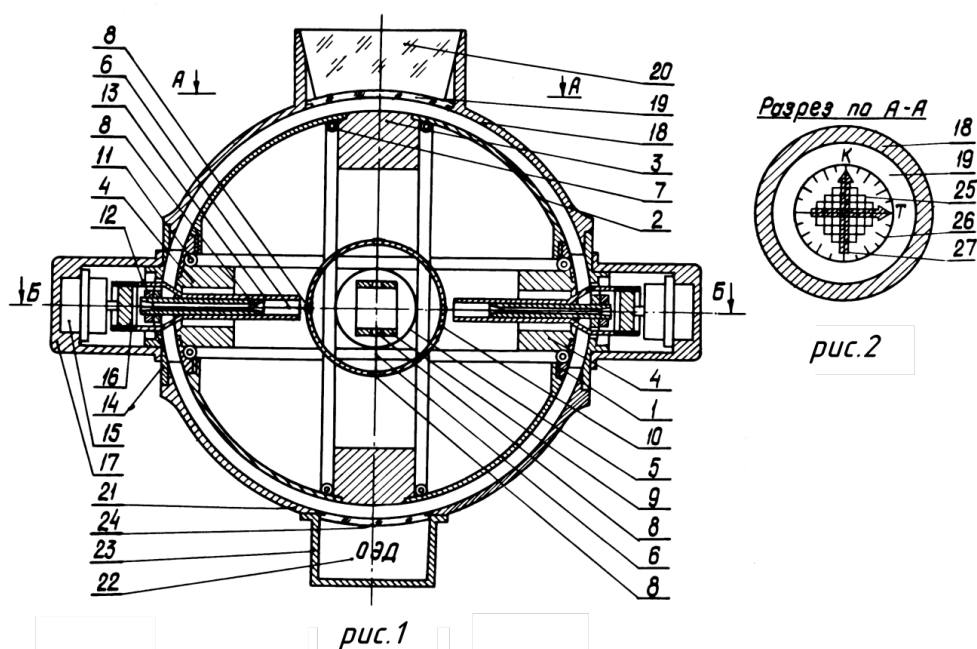
FSUE "VNIIFTRI", Mendeleevo, Moscow region  
sorokaai@mail.ru

*The paper analyzes the developments in the field of orbital gravigradientometry, which makes it possible to identify the domestic priority in the development of orbital gradiometers. The types of the original GVTT construction diagram are presented. The development of such construction diagram of a gravitational variometer seems to be promising for use on space objects.*

*Key words: gravitational variometer, types of the original GVTT construction diagram, gravigradientometry.*

Целью дальнейшего усовершенствования конструктивных схем космических бортовых электромеханических гравитационных вариометров [1] является использование оригинальных технологий выделения полезных сигналов на фоне помех от инерциальных вибраций и перегрузок летательных аппаратов, температурных, электромагнитных, электростатических и других наводок и влияний. При этом учитывался многолетний опыт экспериментальных исследований прецизионных механических колебательных систем [2,3,4], что обеспечивает достижение высоких технико-эксплуатационных характеристик гравитационного вариометра тензорного типа (ГВТТ) и расширение его функциональных возможностей путем контроля и измерения крена, тангажа и рысканья летательных аппаратов в состоянии невесомости [3,7].

На рис. 1, 2 представлены виды оригинальной конструктивной схемы ГВТТ [5, 6], на которой чувствительный элемент сферической формы свободно подвешен на торсионном кардановом подвесе. Причем чувствительный элемент (ЧЭ) выполнен с различными по условиям устойчивости моментами инерции относительно осей подвеса (например,  $B > A > C$  [3]). Арретеры совмещены соосно с регулируемым по длине и натяжению торсионными подвесами ЧЭ. Для создания демпфирования колебаний в ЧЭ параллельно экваториальной и двум взаимно-перпендикулярным меридиональным плоскостям расположены попарно шесть концентрических трубок, заполненных кремниевой органической жидкостью или жидкими металлами типа ртути.



На рис. 1, 2, 3 показан разборный сферический чувствительный элемент, состоящий из экваториального кольца 1 и двух съемных полусфер 2. К внутренней поверхности сферического чувствительного элемента прибора прикреплены три диаметрально разнесенные цилиндрические массы 3,4,5, которые создают необходимое по условиям устойчивости соотношение моментов инерции чувствительного элемента относительно осей подвеса на торсионах 6.

Сферический чувствительный элемент подвешен к корпусу прибора с помощью свободного карданового торсионного подвеса, состоящего из торсионной проволоки *6*, одним концом скрепленной с помощью конического цангового зажима *8* с внутренним и внешним кольцом карданового подвеса, а другим концом скрепленной с помощью указанных цанговых зажимов *8* опорными цилиндрами *11* регулируемого по натяжению стопорной гайкой *12* торсионного подвеса, прикрепленного к корпусу. С целью обеспечения сохранности прибора во время отсутствия на борту летательного аппарата состояния невесомости чувствительный элемент, внутреннее и внешнее кольцо подвеса прибора арретируются четырьмя электромеханическими арретирами, состоящими из конических микрозажимов *13*, расположенных соосно с регулируемыми по натяжению торсионными подвесами чувствительного элемента. Внешняя часть конических трубок разделена на четыре полусектора и свободно проходит через отверстие в кольцевой части корпуса прибора *14*, на внешней стороне которой в специальных вакуумированных камерах расположены четыре микроэлектропривода *15* с безлюфтовыми редукторами и микровинтами *16*, сочлененными с выступающими концами конических трубок микрозажимов *13*, имеющими на внутренней поверхности калиброванную резьбу.

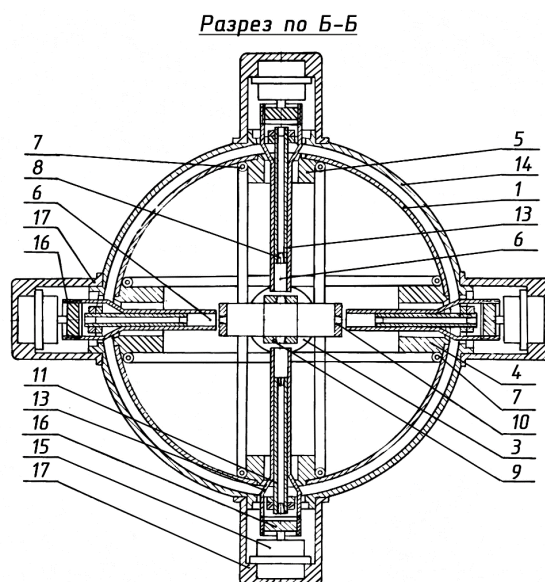


Рис. 3

Вакуумированный корпус прибора состоит из экваториального кольца *14*, к внешней части которого крепится четыре регулируемых по натяжению

торсионных подвеса *б* и четыре электромеханических арретира, помещенных в специальные вакуумные камеры *17*. К экваториальной кольцевой части корпуса прибора *14* прикреплена верхняя полусферическая крышка прибора *18*, с которой скреплено защитное стекло *19* и фокон *20* визуальной системы индикации микроколебаний чувствительного элемента прибора, полусферическая крышка прибора *21* с оптикоэлектронным датчиком *22* автоматической системы индикации микроколебаний чувствительного элемента, который помещен в специальном корпусе *3* и отделен от чувствительного элемента защитным стеклом *24*.

Визуальная система индикации автоколлимационного типа состоит (рис. 2) из защитного стекла *19* и фокона *20*, на внутренней поверхности которых нанесена сетка взаимоперпендикулярных штрихов *25* и штрихов *26*, указывающих соответственно величину тангажа, крена и курса летательного аппарата по отклонению индикаторных стрелок *27*, нанесенных на внешней поверхности съемной полусферы *2* прибора.

Использование торсионного карданового подвеса чувствительного элемента в конструкции ГВТТ позволяет расширить её функциональные возможности, повышает чувствительность и улучшает эксплуатационные характеристики.

На рис. 4 представлена эскизная проработка РВТТ, работающего в режиме “квази драг” пунктирного парения в составе автоматического КА или орбитальной станции типа МКС.

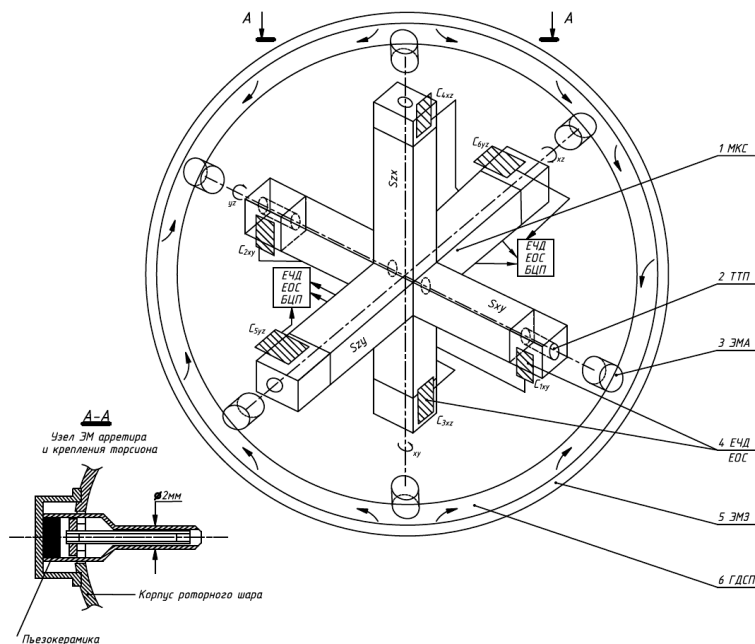


Рис. 4

При этом внутри сферического чувствительного элемента (рис. 4) встроена трехступенная механическая колебательная система 1, подвешенная на торсионном подвесе 2 и снабженная электромеханическими арретирами 3.

Съем полезного сигнала в данном устройстве осуществляется емкостным частотным датчиком 4 с емкостной обратной связью, связанным с автономным источником питания и блоком автоматического управления и регулирования, размещенных внутри сферического чувствительного элемента, который регулярно выводится в состояние “квази драг” газодинамической системой подвеса 6. Весь ЧЭ защищен от электромагнитных и других помех и наводок защитой 5. Сигналы управления и телеметрии, а также система контроля работы подвесов 6 плавающего ротора на рис. 4 не показаны. Они могут быть выполнены традиционными радиотехническими или оптоэлектрическими методами и устройствами.

Известны аналогичные разработки устройств, работающих в режиме “квази драг”, предложенные в США в фирме Хьюз Аэрокрафт диаметром ~ 50 см и массой ~ 40 кг, где в качестве трехкомпонентного гравиградиентометра предполагается использовать три ортогонально расположенные ротационные гравиградиентометры R. Forwarda.

Данная конструктивная схема [4] имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с устройством фирмы Хьюз Аэрокрафт или, например, криогенных устройств Н. Paik (США). Целесообразно предложить рассмотреть заинтересованным ведомствам и организациям РФ возможность разработки и использования ГВТТ международной космической станции, например, в рамках проектов «Гравика», «Ньютон – 2» и другие [7].

### Выводы

1. Выполненный анализ разработок и исследований в области орбитальной гравиградиентометрии выявил отечественный приоритет в разработке орбитальных гравиградиентометров, предназначенных для дистанционного пассивного зондирования естественных и искусственных космических объектов [7].

2. Разработка оригинальной конструктивной схемы гравитационного вариометра тензорного типа в режиме “квази драг” или пунктирного парения в состоянии невесомости представляется перспективной для использования на автоматизированных или обитаемых космических объектах для уверенного контроля углов крена, тангажа и рысканья с разрешением 10" – 20".

---

**Литература**

1. Сорока А. И., Фатеев В. Ф., Попадъев В. В. Перспективы развития космической гравиградиентометрии на основе торсионных механических колебательных систем// Альманах современной метрологии. 2015. №3. С. 69-83.
2. Хайкин С. Э. Физические основы механики. М.: Издательство "Наука", 1971. 752 с.
3. Белицкий В. В. Очерки о движении космических тел.- М.: Издательство "Наука", 1977. 432 с.
4. Белл Дж. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. Часть 1. Малые деформации. Перевод с английского. / Под ред. А. П. Филина – М.: "Наука", 1984. 600 с.
5. Сорока А. И., Федченко Ф. М., Бобрышев В. С. Способ изготовления торсионного подвеса. Авторское свидетельство СССР №360547, кл. МКUG01С19/22, зарегистрировано в Госреестре 28.11.1972.
6. Красовский А. А., Сорока А. И. Гравитационно-градиентная вертикаль-орбитант. Авторское свидетельство СССР по заявке №1958294, кл. МКUG01V7/01, зарегистрировано в Госреестре 14.04.1974.
7. Зайцев А. В., Петров Д. В., Ногин В. Н., Елсуков В. П., Краснослабодцев Д. А., Симоненко В. А., Сорока А. И. Многоцелевые экспедиции к астероидам, пролетающим вблизи Земли // Воздушно-космическая сфера / Aerospace Sphere Journal. 2018. №2(95). С. 30–37.