

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ: РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ ПРОТОТИПОВ

А.В. Соловьёв, А.И. Логачёв, А.Е. Захаров, Г.А. Даниелов

Научный руководитель: к.т.н. В.П. Доронин

Филиал Федерального государственного унитарного предприятия

«Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры» –

«Научно-исследовательский институт прикладной механики

имени академика В.И. Кузнецова»,

Россия, г. Москва, ул. Пруд Ключики, д.12А, 111024

E-mail: al.vl.solovev@gmail.com

В последнее время наблюдается существенный рост числа как одиночных, так и в составе группировок малых космических аппаратов на орбите. По прогнозам в течение ближайших десяти лет их общее число может достигнуть нескольких тысяч [1]. Такая перспектива формирует потребность в современных малогабаритных командных приборах для КА такого класса с низким энергопотреблением, низкой стоимостью, но в то же время обладающих достаточно высокой точностью. Удовлетворяют таким требованиям командные приборы на базе прецизионных микромеханических инерциальных чувствительных элементов – гироскопов и акселерометров.

В основу большинства отечественных разработок микромеханических инерциальных модулей положено использование зарубежных акселерометров и датчиков угловых скоростей на основе технологий массового производства. Такой подход ограничивает возможности применения инерциальных модулей на изделиях РКТ и приводит к технологической зависимости производства командных приборов от поставщика импортных инерциальных элементов. Разработка МЭМС приборов на основе российской электронно-компонентной и технологической баз с высокими точностными и эксплуатационными характеристиками, позволит включить их в состав систем управления малыми КА разрабатываемых и перспективных аппаратов различного назначения, функционирующих на низких, геостационарных и высокоэллиптических орбитах, а также космических комплексов (КК) для полетов к Луне, Марсу и астероидам.

Целью работы является создание научно-технического задела, необходимого для разработки и создания стратегически значимых прецизионных микромеханических инерциальных датчиков – гироскопа и акселерометра – космического применения, создаваемых на отечественной технологической базе с применением российской ЭКБ.

Проведённый обзор современного состояния и тенденций развития микромеханических датчиков и приборов зарубежными и отечественными фирмами показал, что в настоящее время основные усилия разработчиков направлены на достижение параметров точности, обеспечивающих возможность инерциальной навигации для объектов тактического класса [3].

Предложена схема построения МВГ, реализующая резонансный режим работы высокочастотного колебательного контура с помощью фазозамкнутой системы обратной связи [2] и ориентированная на производство на российских предприятиях. Создана общая математическая модель такого МВГ с дополнительными блоками для моделирования нелинейностей датчика, вызванных принципом работы электростатических датчиков, асимметрией их емкостных зазоров и квадратичной зависимостью от подаваемого напряжения, а также сформирован алгоритм их компенсации. Рассмотрены основные факторы возникновения погрешностей МВГ, такие как перекрёстные связи между каналами, температурное влияние, изменение рабочих емкостных зазоров, а также возникающие при изготовлении и эксплуатации на поверхности кремниевого подвеса заряды. Проведён расчёт влияния внешних возмущающих факторов на работу МВГ.

По предложенной схеме изготовлена партия опытных образцов МВГ (см. рис. 1). Выявлена причина сокращения рабочего зазора емкостных датчиков после сборки, обуславливающего рост нелинейности функции преобразования – термоупругая деформация рамок кремниевого подвеса при технологической операции электростатического соединения со стеклянной платой.

Для устранения подобного эффекта проведена конструктивная доработка узла крепления «подвес – стеклянная плата». Проведены испытания по определению их основных электромеханических и точностных параметров. В табл. 1 представлены результаты испытаний опытного образца МВГ, показавшего наилучшие результаты. Ведутся работы по модернизации конструкции МВГ для унификации технологических процессов его изготовления и кардинального снижения габаритно-массовых характеристик датчика.

Проработаны несколько вариантов конструкции ММА (см. рис.2), проведён аналитический расчёт их системы обратной связи, подтвердивший возможность технической реализации, а также осуществлено изготовление прототипа ММА прямого преобразования с использованием преобразователя отечественного преобразователя ёмкость-код K1310HM015.

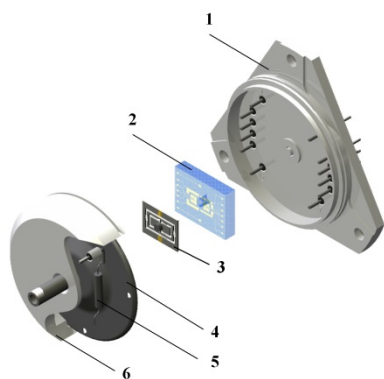


Рис. 1 – Модель МВГ
(1 – металлический корпус; 2 –
электрическая плата; 3 – кремниевый подвес;
4 – экран; 5 – геттер; 6 – крышка)

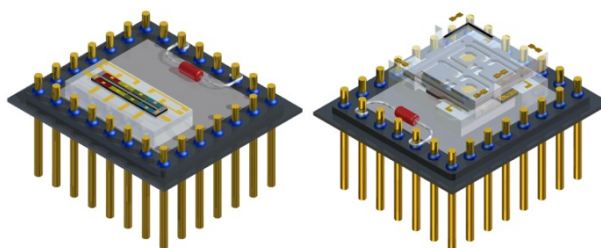


Рис. 2 – Варианты ММА

Таблица 1. Результаты испытаний опытного образца МВГ

Параметр	Значение
Диапазон измеряемых угловых скоростей, °/сек	50
Нестабильность нулевого сигнала, °/час	10
Угловое случайное блуждание, °/√час	0,5
Нелинейность выходной характеристики, %	0,1
Полоса пропускания, Гц	40

Проведённые исследования в рамках данной работы подтверждают возможность создания прецизионных инерциальных МВГ и ММА на отечественной производственной и технологической базе, с точностными, эксплуатационными и габаритно-массовыми параметрами, удовлетворяющими перспективным требованиям для использования в составе командных приборов для малых КА, и, несомненно, могут быть использованы в качестве научно-технического задела при выполнении дальнейших работ по созданию и совершенствованию конструктивных и схемотехнических решений, а также технологических процессов изготовления и сборки микромеханических инерциальных датчиков – акселерометров и гироскопов – и приборов на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пайсон Д.Б. Малые спутники в современной космической деятельности // Специальный выпуск «Спутниковая связь и вещание»-2017. 2017. №6. С.64-69.
2. Неаполитанский А.С., Хромов Б.В. Микромеханические вибрационные гироскопы. М.: «Когито-Центр». 2002. 122 с.
3. Соловьёв А.В. Микромеханический гироскоп с разнесёнными частотами возбуждения и съёма информации: Дис. ... канд. техн. наук. (05.11.03). Москва. 2014. 188 с.