

УДК 621.3.04

М. А. Котельников, магистрант  
А. А. Башарова, магистрант  
А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор  
П. В. Лекомцев, старший преподаватель  
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТЕРЖНЕВОГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ВОЛНОВОГО ГИРОСКОПА

*В данной статье приведен анализ сравнительных характеристик резонаторов различного типа. Описан принцип действия стержневого твердотельного гироскопа. Выявлены этапы и задачи дальнейших исследований в изучении свойств стержневого резонатора.*

**Ключевые слова:** стержневой чувствительный элемент (СЧЭ), твердотельный волновой гироскоп (ТВГ), ЧЭ, резонатор.

Высокие требования, предъявляемые к чувствительным элементам (ЧЭ) систем управления подвижными объектами (ПО), привели к созданию нетрадиционных гироскопических приборов, построенных на новых физических принципах [1]. К таким приборам относится твердотельный волновой гироскоп (ТВГ) со стержневым чувствительным элементом (СЧЭ), работа которого основана на использовании инертных свойств стоячих волн, возбужденных колеблющимися массами осесимметричного стержневого резонатора. Первые попытки разработки ТВГ со СЧЭ были в 70–90-х годах прошлого века в США, но широкого применения не нашли, т. к. по точности и стоимости уступали механическим гироскопам.

Гироскопические приборы являются неотъемлемой частью военной техники, а также гражданских летательных аппаратов и судов. Несмотря на быстрое развитие спутниковых навигационных систем, самолеты и корабли имеют в составе бортового оборудования автономные навигационные системы. Эта необходимость вызвана безопасностью обеспечения работы автономных систем управления движением, поскольку существуют зоны радиотени и области, где электрические и магнитные возмущения Земли способны вызвать сбой и в свою очередь привести к большим погрешностям в работе систем ориентации [2].

На системы, построенные на гироскопических датчиках, возлагаются сложные задачи по стабилизации и управлению такими специальными устройствами, обладающими мобильностью и различными кинематическими характеристиками, как антенны бортовых радиолокационных станций, чувствительные элементы быстро движущихся объектов и другие, точность работы которых, в первую очередь, зависит от точности инерциальных датчиков, из которых на сегодняшний день наиболее широкое практическое применение нашли следующие: динамически настраиваемые гироскопы (ДНГ); кольцевые

лазерные гироскопы (КЛГ); твердотельный волновой гироскоп (ТВГ); волоконно-оптические гироскопы (ВОГ); микромеханические гироскопы (ММГ). В современных условиях наилучшим образом зарекомендовали себя: ММГ за счет массогабаритных свойств и ТВГ, но ввиду того, что ММГ не может работать при предельно низкой и предельно высокой температурах, более широкое применение нашел ТВГ со следующими характеристиками [3]:

- высокая работоспособность в тяжелых климатических условиях;
- высокие показатели надежности и безотказности;
- длительный рабочий ресурс;
- высокая точность;
- малое время готовности;
- невысокие массогабаритные показатели;
- низкая энергоемкость;
- хорошие показатели «цена/качество».



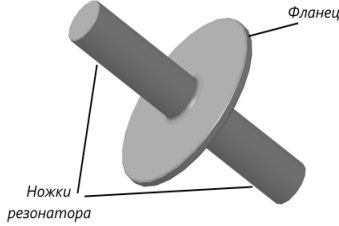
Проведенный анализ современных достижений в области создания ТВГ показал, что они различаются конструкцией основного элемента – резонатора, особенности которых приведены в таблице.

Исходя из таблицы можно сделать вывод, что в качестве объекта исследования [6] необходимо выбрать ТВГ со стержневым резонатором, который является более технологичным и перспективным. Недостаточный объем экспериментальных данных и научных исследований [7], проведенных с привлечением современных методов, отсутствие инженерных методик расчета и принципов проектирования сдерживает внедрение в производство и промышленное освоение гироскопов со стержневым резонатором.

Схема применения СТВГ представлена на рис. 1.

В рассматриваемом СТВГ применен принцип разделения по времени, т. е. позиционный электрод и датчик угла выполнены в виде одного узла, но работают по своему предназначению в разные моменты времени.

Сравнение резонаторов ТВГ

Полусферический резонатор	Колокольный резонатор	Стержневой резонатор
		
<p>ТВГ с таким резонатором приобрел наиболее широкое применение, так как:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– имеет высокую чувствительность;</li> <li>– широкий диапазон восприятия нагрузок;</li> <li>– обладает большой добротностью.</li> </ul> <p>Недостатки [4]:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– сложность в изготовлении;</li> <li>– трудно балансируется;</li> <li>– требуется создавать глубоковакуумный корпус</li> </ul>	<p>Основные достоинства:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– надежная работоспособность при перегрузках;</li> <li>– большая производительность;</li> <li>– большой диапазон измерения входных угловых скоростей.</li> </ul> <p>Недостатки [5]:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– влияние шумов на показания гироскопа;</li> <li>– дорогой материал резонатора;</li> <li>– неточность изготовления резонатора</li> </ul>	<p>Преимущества ТВГ со СЧЭ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– технологичнее в изготовлении, в экономическом плане более дешевый;</li> <li>– не требуется создавать глубоковакуумный корпус;</li> <li>– предполагается, что со стороны точностных показателей не будет уступать ТВГ с полусферическим резонатором.</li> </ul> <p>Недостаток – мало изучен</p>

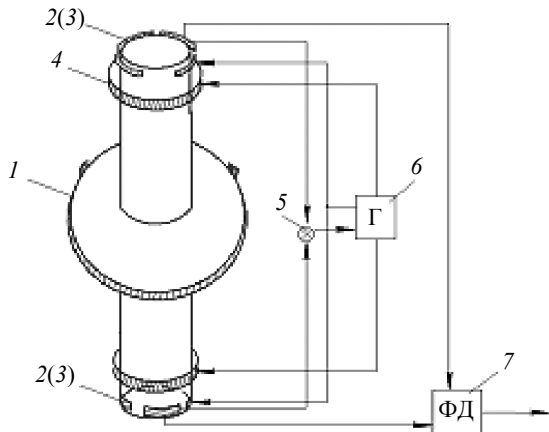


Рис. 1. Конструкция СЧЭ ТВГ: 1 – стержневой резонатор из кварцевого стекла с тонким слоем хрома; 2 – емкостные датчики определения положения ножек; 3 – позиционные емкостные датчики начального возбуждения; 4 – параметрический датчик поддержания заданной амплитуды колебаний; 5 – сумматор; 6 – генератор управляющего и поддерживающего сигнала; 7 – фазовый детектор выделения полезного сигнала

Система съема информации (возбуждения) представляет собой устройство из четырех равных по площади электродов.

Резонатор выполнен из высокодобротного материала – плавленого кварца. Кольцевой и позиционные электроды расположены на основании, в котором закреплен чувствительный элемент.

Принцип действия рассматриваемого гироскопа основан на следующем.

В первоначальный момент времени электроды возбуждения (3) прикладывают на ножки резонатора переменную силу с резонансной частотой, возбуждая тем самым колебания резонатора. Через некоторый промежуток времени, как только ножка вышла из положения равновесия, электроды переключаются

в режим съема сигнала и работают в этом режиме до конца работы СТВГ. В это же время в работу включается параметрический электрод, который возбуждает ножку до определенной амплитуды и поддерживает ее в течение всей работы.

Предположим, что возникла входная угловая скорость (рис. 2), тогда колеблющиеся точки будут совершать сложное движение, в результате которого возникнет ускорение Кориолиса, а вследствие этого момент от кориолисовых сил.

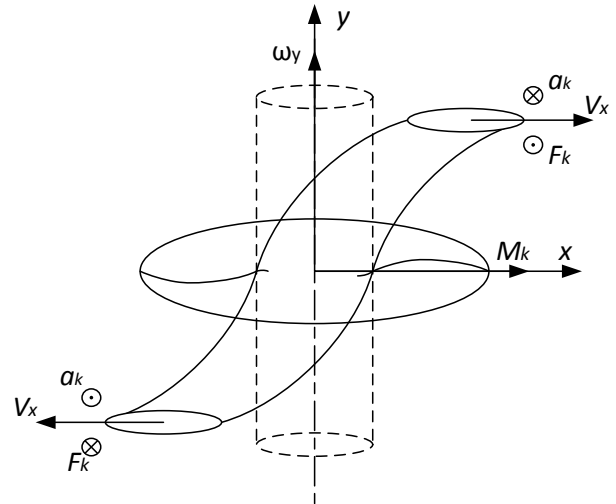


Рис. 2. Пояснение принципа работы ТВГ со СЧЭ

Этот момент будет поворачивать ножку на угол, пропорциональный изменению входной угловой скорости. Тогда на основе данных об этом угле можно знать относительную угловую скорость объекта.

Проведенный в работе анализ показал, что, с одной стороны, для дальнейшего совершенствования конструкции необходимо изучить поведение конст-

рукции в условиях статического и кинестатического видов нагружений, а с другой – отработка конструкции требует рассмотрения динамических процессов, т. к. устройство работает на высокой частоте. Для достижения поставленной ранее цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести расчет напряженно-деформированного состояния (НДС).
2. Провести модальный анализ.
3. Разработать математическую модель гармонических колебаний резонатора.
4. Разработать систему граничных и начальных условий.
5. Разработать методику инженерного расчета.
6. Усовершенствовать конструкцию.

Обеспечение точностных характеристик ТВГ со стержневым резонатором, не уступающим параметрам лучших мировых аналогов, требует проведения более подробного изучения и подготовки серий экспериментов для отработки опытного образца чувствительного элемента.

#### Библиографические ссылки

1. Малеев П. И. Новые типы гироскопов. – Ленинград : Судостроение, 1971. – 160 с.
2. Мартыненко Ю. Г. Тенденции развития современной гироскопии // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – URL: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/443.html> (дата обращения: 13.04.2015).
3. Матвеев В. В., Распопов В. Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – СПб. : ГНИЦ РФ ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 208 с.
4. Лысов А. Н., Виниченко Н. Т., Лысова А. А. Прикладная теория гироскопов. – Челябинск, 2009. – 255 с.
5. Zhong Su, Mengyin Fu, Qing Li, Ning Liu, Hong Liu Research on Bell-Shaped Vibratory Angular Rate Gyro's // Sensors. – 2013. – 18 с.
6. Селетков С. Г., Иванова С. С. Объект, субъект, предмет научно-квалификационной работы // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 1. – С. 175–178.
7. Селетков С. Г. Методы диссертационного исследования // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 4. – С. 201–205.

\*\*\*

*Kotelnikov M. A.*, Master's degree student, Kalashnikov ISTU  
*Basharova A. A.*, Master's degree student, Kalashnikov ISTU  
*Shchenyatskiy A. V.*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU  
*Lekomtsev P. V.*, Senior Lecturer, Kalashnikov ISTU

#### Task description of mathematical modeling of a rod sensor element of a solid state wave gyroscope

*This paper present the analysis of comparative characteristics of various resonators. The principle of operation of a solid state gyroscope is described. Stages and tasks for further research of rod resonator properties are stated.*

**Keywords:** rod sensor element (RSE), solid state wave gyroscope (SWG), sensor element (SE), resonator.

Получено: 01.03.16