

## О МОНОГРАФИИ «КВАРЦЕВЫЙ ПОЛУСФЕРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР (ВОЛНОВОЙ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ГИРОСКОП)»



Происходящее в последнее время быстрое развитие подвижных объектов различного типа требует от систем управления и, соответственно, от навигационных систем и их чувствительных элементов (гироскопов и акселерометров) не только улучшения точностных характеристик, но и совершенствования по размерам, вибростойкости, диапазону скоростей вращения и другим параметрам. Результатом данного процесса является появление новых типов гироскопов и модернизация существующих. Одним из наиболее быстро развивающихся в настоящее время гироскопов является волновой твердотельный гироскоп (ВТГ), которому и посвящена рассматриваемая книга. Разработка ВТГ началась в 1982 г. и уже в 1985 г. авторы рассматриваемой книги (В. Ф. Журавлев, Д. М. Климов) опубликовали монографию

«Волновой твердотельный гироскоп», в которой были приведены его основные математические модели, рассмотрены методы их анализа и построена теория функционирования. В книге также рассматривались способы возбуждения колебаний резонатора, проведен анализ основных погрешностей и приведены способы обработки выходного сигнала. С момента публикации этой книги прошло более тридцати лет, за это время усилиями разработчиков удалось существенно повысить точность ВТГ, уменьшить его габариты и упростить конструкцию. В последние несколько лет состоялись доклады представителей фирм «Сажем» (Франция) и «Нортроп Грумман» (США) на Симпозиуме в Карлсруэ и на Санкт-Петербургской международной конференции, в которых сообщалось об успешной разработке конкретных вариантов ВТГ навигационного класса точности и приборов на их основе. Соответствующие статьи были опубликованы в журнале «Гироскопия и навигация». Учитывая вышесказанное,

---

Климов Д.М., Журавлев В.Ф., Жбанов Ю.К. Кварцевый полусферический резонатор (волновой твердотельный гироскоп). М.: Изд-во «Ким Л.А.», 2017. 194 с.

появление новой книги уважаемых авторов, посвященной теории функционирования ВТГ и анализу его погрешностей, представляется весьма своевременным.

**В первой главе** монографии авторы рассматривают историю вопроса и обращают при этом внимание на то, что эффект, лежащий в основе работы ВТГ, был продемонстрирован еще в 1891 г. Джоржем Брайаном в докладе для Лондонского королевского общества. Авторами рассматривается выражение, используемое Дж. Брайаном для объяснения полученного им эффекта, и проводится теоретический анализ опыта В. Скотта 1982 г., на основе которого Д. Линч запатентовал прототип ВТГ.

**Вторая глава** посвящена общим вопросам теории ВТГ. Рассмотрение начинается с анализа динамики кольцевого резонатора. При этом выводятся и анализируются уравнения для упругого *нерастяжимого* кольца с последующим рассмотрением упругого *растяжимого* кольца. Следующим шагом теоретического исследования является вывод уравнения колебаний упругого сферически симметричного тела и анализ прецессии стоячих волн в нем. Затем авторы переходят к анализу прецессии стоячих волн в полусферической оболочке, являющейся наиболее точным описанием чувствительного элемента ВТГ. Глава заканчивается рассмотрением обобщенного маятника Фуко, частными случаями которого являются все осесимметричные упругие системы, использующиеся в качестве датчиков вращения, и анализом нелинейных эффектов в упругом *нерастяжимом* кольце.

**В третьей главе** монографии авторы рассматривают уже собственно ВТГ, формулируют требования к системе управления гироскопом, анализируют силы, используемые для управления, и фазовые состояния колебательной системы. Важной темой, обсуждаемой в данной главе, является метод возбуждения колебаний резонатора. При этом рассматривается как позиционное, так и параметрическое возбуждение, используемое для поддержания колебаний резонатора с сохранением интегрирующего эффекта. Рассматриваются также режимы управляемой прецессии и гироскопа.

**В четвертой**, небольшой по объему главе продолжают обсуждаться вопросы управления ВТГ. Строится дискретная электрическая модель резонатора, на основе уравнений динамики управляемого резонатора обсуждаются вопросы получения и обработки информации, обоснования алгоритма и устойчивости рабочего режима.

**Пятая глава** посвящена анализу погрешностей ВТГ. Основное внимание здесь уделено наиболее важным источникам ухода гироскопа. Рассматривается уход гироскопа за счет основных дефектов изготовления резонатора – анизотропии упругих и диссипативных свойств. Учитывается влияние электродов управления и съема информации на динамику резонатора. Рассматривается уход ВТГ при наличии фазового сдвига в информационном канале и при управлении квадратурой в режимах «быстрого» и «медленного» времени. Учитывается диффузия зарядов в кольцевом электроде.

Вопросы, обсуждаемые **в последней главе** книги, связаны с технологическими проблемами изготовления ВТГ. В главе отмечается исключительная важность отсутствия в колебательной системе каких-либо иных частот, кроме основной рабочей частоты. Уделяется существенное внимание вопросам балансировки резонатора. Обсуждается возможность нахождения калибровочных уравнений, позволяющих исключить дефекты изготовления при известном управлении и реакции на него.

**В приложении 1** авторы рассматривают вариант построения бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), функционирующей за счет размещения на борту подвижного объекта пространственного изотропного осциллятора. В этом случае реализация БИНС существенно упрощается, поскольку в использовании гироскопов нет необходимости. **В приложении 2** приведены основные формулы теории.

Нет сомнений в том, что изданная монография весьма полезна разработчикам гироскопических приборов и систем, а также преподавателям и студентам технических университетов.

*Д.П. Лукьянов, д.т.н., проф. СПбГЭТУ «ЛЭТИ»  
Ю.В. Филатов, д.т.н., проф., завкафедрой СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*