

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ГИРОСКОПЫ, БЛОКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И БЕСПЛАТФОРМЕННЫЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ

**Коркишко Ю.Н.^{1*}, Федоров В.А.¹, Прилуцкий В.Е.¹, Пономарев В.Г.¹, Морев И.В.¹,
Обухович Д.В.¹, Прилуцкий С.В.¹, Кострицкий С.М.¹, Федоров И.В.¹, Зувев А.И.¹,
Варнаков В.К.¹**

¹ ООО НПК Оптолинк, г. Москва

* E-mail: korkishko@optolink.ru

В настоящее время волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) с замкнутым контуром обратной связи и бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) на их основе всё более широко применяются в системах инерциальной навигации. В ВОГ с замкнутым контуром механизм обратной связи сохраняет нулевой уровень сигнала путем компенсации фазового сдвига Саньяка дополнительным фазовым сдвигом. Величина этого дополнительного фазового сдвига позволяет получить информацию об угловой скорости вращения объекта.

В данной работе описывается ряд разработанных и серийно изготавливаемых НПК «Оптолинк» одноосных волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) ОИУС-2000, ОИУС-1000, ОИУС-501 и ОИУС-200, трехосные ВОГ ТИУС-500 и ВОБИС и блоки чувствительных элементов (БЧЭ) БЧЭ-500, БЧЭ-501 и БЧЭ-1000. Все ВОГи изготавливаются в так называемой минимальной конфигурации. Подробно рассмотрены основные компоненты ВОГов и влияние их характеристик на точностные параметры ВОГов. Для достижения максимальной чувствительности необходимо устранить все источники невзаимности, кроме тех, которые возникают в результате эффекта Саньяка при распространении волн по часовой стрелке и против часовой стрелки. Возникновение дополнительных фазовых сдвигов из-за недостаточного качества оптических компонентов или внешних возмущений на фоне фазового сдвига Саньяка приводит к дополнительному дрейфу нулевого сигнала.

В работе рассмотрены основные факторы, ограничивающие точность ВОГ, влияние которых удалось ослабить при разработке высокоточных ВОГ:

- Оптические потери
- Тепловые помехи
- Обратное рассеяние света
- Оптический эффект Керра
- Магнитооптический эффект

Испытания высокоточных ВОГов проводились в НПК «Оптолинк» как в лабораторных условиях при нормальных климатических условиях и температуре $20 \pm 0.4^\circ \text{C}$, так и в широком интервале температур (от -40°C до $+60^\circ \text{C}$) в температурных камерах фирм «Tabai», «Espec» и «Холод». Для оценки характеристик стабильности масштабного коэффициента и смещения нуля приборов как в одном пуске при постоянной температуре, так и в широком температурном диапазоне, использовался двухосный поворотный стенд с термокамерой АС2247-ТСМ фирмы Acutronic. При этом записывались реализации длиной не менее 10 часов. Для определения зависимости масштабного коэффициента и смещения нуля приборов от температуры их показания записывались при плавном изменении температуры от минимального допустимого значения до максимально допустимого значения и обратно. Скорость изменения температуры выбиралась от $4^\circ \text{C}/\text{час}$ до $60^\circ \text{C}/\text{час}$.

Шумовые характеристики ВОГ рассчитывались с помощью метода вариаций Аллана.

В работе представлены имеющиеся в литературе результаты тестирования по методу вариации Аллана параметров прецизионных волоконно-оптических гироскопов ведущих мировых производителей. Так же приведены отчетные результаты тестирований по методу вариации Аллана прецизионных и среднеточных волоконно-оптических гироскопов производства НПК «Оптолинк», проведенных как самой компанией так и сторонними организациями.

На основе полученных результатов в работе сделаны следующие выводы:

1. Значения точностных параметров прецизионных волоконно-оптических гироскопов компании НПК «Оптолинк», рассчитанные по международному стандарту (методу вариации Аллана), находятся на уровне ведущих мировых изготовителей ВОГов (Northrop Grumman, IxSea, Honeywell).

2. Устоявшееся в отечественной гироскопической практике и литературе («де-факто» стандарт) определение точностных параметров прецизионных волоконно-оптических гироскопов (стабильности (дрейфа) нулевого сигнала) по СКО при 100-секундном осреднении не является адекватным – время корреляции для нестабильности нулевого сигнала в прецизионных волоконно–оптических гироскопах составляет >1000 секунд. СКО при 100-секундном осреднении отражает шумовую составляющую (спектральную плотность мощности шума, Random Walk), а не стабильность нулевого сигнала.

3. Значения точностных параметров прецизионных волоконно-оптических гироскопов (стабильности (дрейфа) нулевого сигнала и спектральной плотности мощности шума), рассчитываемые по «де-факто» отечественному стандарту (по СКО при 100-секундном осреднении) являются завышенными (ухудшенными), а для нестабильности нуля – значительно завышенными (ухудшенными ~на порядок)), по сравнению с параметрами, рассчитанными по международному стандарту (методу вариации Аллана).

В работе представлены разработки бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) БИНС-500К, БИНС-500М, БИНС-501 и БИНС-1000 компании НПК «Оптолинк» на основе волоконно-оптических гироскопов собственного изготовления и результаты их испытаний в различных применениях.

Бесплатформенные инерциальные навигационные системы БИНС-500 (БИНС-500К, БИНС-500М) и БИНС-501 предназначены для формирования и выдачи потребителям пилотажно-навигационной информации, как в автономном (инерциальном) режиме, так и в режиме интеграции со спутниковым приемником. Системы БИНС-500К и БИНС-500М построены на базе блока чувствительных элементов (БЧЭ) БЧЭ-500, включающего трехосный волоконно-оптический измеритель угловой скорости ТИУС500 производства компании «Оптолинк» и три установленных ортогонально акселерометра сторонних изготовителей (АТ-1104, INN-203 или других по выбору заказчика). Выходная информация выдается в цифровом виде по каналу RS-422 (возможно по RS-485, MIL-STD-1553В и других по выбору заказчика). Управление работой ВОГов (БЧЭ) (управление режимами работы СЛД, обработкой сигналов с фотодетекторов, управление фазовыми модуляторами) осуществляется блоком сервисной электроники ВОГ (БЧЭ). Аналоговые сигналы, пропорциональные ускорениям по ортогональным осям, с трех акселерометров поступают на три канала 24 разрядного аналогово-цифрового преобразователя. Вычислитель интерфейсного устройства обрабатывает информацию от всех датчиков угловой скорости, ускорения, температуры, и выдает ее в последовательный канал обмена с вычислителем. Вычислитель системы решает задачи автономной выставки, ориентации и навигации. Вычислитель обменивается с внешним устройством по последовательному каналу - выдает потребителю информацию об угловом положении, координатах, скоростях объекта и принимает от потребителя начальные данные.

Спутниковый приемник (1К-161) выдает по последовательному каналу в вычислитель корректирующую информацию о координатах и скоростях при наличии видимых спутников ГЛОНАСС или/и НАВСТАР. Вычислитель системы корректирует инерциальную систему при наличии достоверной информации от СНС. При отсутствии информации СНС, система выдает потребителю автономную инерциальную информацию.

В работе представлены результаты испытаний серийно изготавливаемых приборов БИНС-500К в статических и динамических условиях в широком диапазоне внешних воздействий – подтверждены планируемые точностные характеристики – точность определения курса (гироскопирования) < 0,3 град., погрешность определения координат в инерциальном режиме – 14 км/час). Проведены испытания опытных приборов морской бесплатформенной инерциальной навигационной системы БИНС-500М на автомобиле, поворотном стенде, а также на судах. Система оснащена возможностью комплексирования с множеством датчиков внешней информации морского применения (СНС, лаг, и т.д.). В работе так же представлены результаты испытаний бесплатформенной инерциальной навигационной системы БИНС-501, построенной на базе БЧЭ-501, включающего три одноосных волоконно-оптических измерителя угловой скорости ОИУС-501 производства компании «Оптолинк» и три установленных ортогонально акселерометра сторонних изготовителей. БИНС-501 показали улучшенные точностные характеристики - точность определения курса (гироскопирования) < 0,1 град., погрешность определения координат в инерциальном режиме – 8 км/час) и повышенную температурную стабильность.

Таким образом, компанией НПК «Оптолинк» разработан и серийно производится ряд волоконно-оптических гироскопов инерциального класса точности и бесплатформенных инерциальных навигационных систем на их основе, имеющих широкие области применения для воздушных, наземных, подземных, надводных и подводных приложений.