

УДК 528.526.6, 621.376

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ШУМОПОДОБНОЙ
МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ СДВИГА НУЛЯ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА ДЛЯ РАЗНЫХ ТИПОВ
ШИРОКОПОЛОСНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ**

Востриков Е.В., Погудин Г.К., Никитенко А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., Алейник А.С.

Университет ИТМО

В данной работе содержатся экспериментальные данные по влиянию высокочастотной модуляции шумоподобным сигналом в полосе до 2.5 ГГц и мощностью более +20 дБм на уменьшение сдвига нуля выходного сигнала волоконно-оптического гироскопа. В качестве источников оптического излучения использовались: суперлюминесцентный диод, макет эрбиевого оптического источника, серийный образец эрбиевого источника с оптическим фильтром. В ходе исследования производилась запись сигналов угловой скорости с последующей оценкой методом вариации Аллана. Выявлено, что в конфигурации с экспериментальным макетом эрбиевого оптического источника сдвиг нуля выходного сигнала изменился с ~ 0.0014 °/ч до ~ 0.0010 °/ч, с суперлюминесцентным источником сдвиг нуля выходного сигнала изменился с ~ 0.0009 °/ч до ~ 0.0006 °/ч, с серийным образцом эрбиевого источника с оптическим фильтром сдвиг нуля изменился с ~ 0.0014 °/ч до 0.0008 °/ч.

Ключевые слова: волоконно-оптический гироскоп, радиофотоника, высокочастотная модуляция, эрбиевый оптический источник, суперлюминесцентный диод.

Введение. Волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) широко используются в навигационных системах. В зависимости от точности, данные приборы разделяются на следующие классы: потребительский (> 100 °/ч), промышленный (10-100 °/ч), тактический (1-10 °/ч), средний (0.01-1 °/ч), навигационный (< 0.01 °/ч), стратегический (< 0.001 °/ч). При создании ВОГ навигационного и стратегического классов точности необходимо соблюдение ряда требований, предъявляемых к его составным частям. Источник оптического излучения (ИОИ) является одним из главных элементов ВОГ, от которого зависит точность измерения угловой скорости. Эрбиевые ИОИ являются квази-идеальными источниками для применения в ВОГ. Они обладают практически деполаризованным излучением (менее 1%), широким спектром (более нескольких десятков нанометров), что соответствует длине декогеренции менее ~ 200 мкм, выходной мощностью более 5 мВт, центральной длиной волны в области минимальных оптических потерь 1.55 мкм. К недостаткам эрбиевых ИОИ можно отнести температурную нестабильность формы спектра. В научной литературе используются различные способы построения эрбиевых ИОИ. В то же время развитие радиофотоники позволило использовать новый подход к построению ИОИ для применения в ВОГ. Так в работе *Chatoun J., Digonnet M., 2017* в качестве источника оптического излучения используется лазер с фазовым модулятором высокочастотным сигналом. В таком случае, сдвиг нуля выходного сигнала ВОГ с лазерным источником уменьшился до уровня менее 0.01 °/ч, что соответствует навигационному классу точности и как правило достигается с использованием более широкополосных источников. В то же время высокочастотная модуляция может быть применима и к широкополосным оптическим источникам. Таким образом, целью данной работы является исследование применения высокочастотной шумоподобной модуляции к широкополосным источникам оптического излучения в составе ВОГ.

Основная часть. Для проведения данного исследования была собрана экспериментальная установка, основными элементами которой являются: генератор сигналов, усилительный каскад, фазовый модулятор, источник оптического излучения и серийный ВОГ с замкнутым контуром обратной связи. В качестве генератора сигналов использовалась отладочная плата ReFLEX Atilla ARRIA 10 с высокочастотным цифро-аналоговым преобразователем прямого синтеза AD9164 (16 бит, $F_d = 5$ Гвыб/с, $P_{\text{вых}} = 7$ дБм, $F_{\text{пп}} = 2.5$ ГГц). Усилительный каскад позволяет задавать усиление входного сигнала до 30 дБ с точкой

децибелной компрессии $P_{1дБ} = 29$ дБ в полосе до 10 ГГц. Фазовый модулятор ($V_{\pi} = 5$ В, $F_{\text{пп}} = 12$ ГГц, $P_{\text{вх}} = 20$ дБм) устанавливался в разрыв между оптическим источником и ВОГ. Для каждого оптического источника проводилось два измерения: с использованием модуляции шумоподобным сигналом и без использования модуляции. Оценка влияния шумоподобной модуляции проводилась по сигналу угловой скорости, записанному более 8 часов для каждого эксперимента. Для каждого сигнала угловой скорости была построена вариация Аллана, которая традиционно используется для анализа шумовых составляющих выходного сигнала ВОГ при разном времени осреднения. Вариация Аллана позволяет оценить сдвиг нуля выходного сигнала угловой скорости, тем самым оценить степень изменения сигнала ВОГ при постоянной скорости вращения, обусловленную не только вращением, но и паразитными эффектами, которые также входят в формулу масштабного коэффициента и вносят ошибку в полезный сигнал ВОГ. В качестве источников оптического излучения использовались: серийный образец эрбиевого источника с оптическим фильтром (ESS-30) производства «ИРЭ-Полюс» ($\lambda_{\text{пшпв}} = \sim 25$ нм), суперлюминесцентный диод EXS210069-01 компании «Exalos» ($\lambda_{\text{пшпв}} = \sim 45$ нм), экспериментальный макет эрбиевого источника оптического излучения ($\lambda_{\text{пшпв}} = \sim 10$ нм).

Заключение. В настоящей работе представлены экспериментальные данные по применению высокочастотной модуляции шумоподобным сигналом в полосе 2.5 ГГц мощностью более +20 дБм к фазовому модулятору, установленному последовательно после ИОИ в оптической схеме ВОГ. Результаты экспериментальных данных позволяют оценить эффективность данного способа для разных типов широкополосных источников оптического излучения. В конфигурации с экспериментальным макетом эрбиевого ИОИ сдвиг нуля выходного сигнала изменился с ~ 0.0014 °/ч до ~ 0.0010 °/ч, с суперлюминесцентным источником сдвиг нуля выходного сигнала изменился с ~ 0.0009 °/ч до ~ 0.0006 °/ч, с серийный образцом эрбиевого источника с оптическим фильтром (ESS-30) сдвиг нуля изменился с ~ 0.0014 °/ч до 0.0008 °/ч. Так для всех типов широкополосных источников сдвиг нуля выходного сигнала ВОГ уменьшился более чем на 25%. Преимуществом применения данного способа к широкополосным ИОИ является возможность повышения точностных характеристик ВОГ без существенного изменения его конструкции.