

УДК 681.7

В.П. КОЖЕМ'ЯКО, С.Е. ТУЖАНСЬКИЙ, А. М. САХНО

**ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ  
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНТЕРФЕРОГРАММЫ**

*Винницький національно технічний університет,  
21021, г. Винница, ул. Хмельницькое шоссе 95, Украина  
E-mail: constructors2000@gmail.com*

**Аннотация.** Представлена конструкция волоконно-оптического гироскопа, с использованием светочувствительной линейки, для сканирования интерферограмм, где смещение интерференционных полос зависит главным образом от изменения фазы встречных световых волн, распространяющихся по замкнутому контуру в противоположных направлениях при вращении контура вокруг оси, нормальной к его плоскости, пропорциональна угловой скорости вращения  $\Omega$  и площади контура  $S$  который обходят встречные волны. Основным преимуществом предложенной конструкции это минимальное влияния оптических шумов (дрейф нуля, Релеевское рассеивание, эффект Кера и т.д.).

**Abstract.** The design of a fiber optic gyroscope using a photosensitive line, to scan interferograms where fringe shift which depends mainly on the change of the phase of counter light waves propagating along the closed loop in opposite directions while rotating loop around an axis that is normal to its plane is proportional to the angular velocity  $\Omega$  and the area of the circuit  $S$  which is bypass ed by the counter-propagating waves. The main advantage of the proposed design is the minimal effect of optical noise (zero drift, Rayleigh scattering, the effect of Kera, etc.).

**Анотація.** Представлена конструкція волоконно-оптичного гіроскопа, з використанням світлочувливої лінійки, для сканування інтерферограма, де зсув інтерференційних смуг залежить головним чином від зміни фази зустрічних світлових хвиль, що поширюються по замкнутому контуру в протилежних напрямках при обертанні контуру навколо осі, нормальній до його площини, пропорційна кутовий швидкості обертання  $\Omega$  і площі контуру  $S$  який обходять зустрічні хвилі. Основною перевагою запропонованої конструкції це мінімальне впливу оптичних шумів (дрейф нуля, Релеєвское розсіювання, ефект Кера і т.д.).

**Ключевые слова:** интерферометр, гироскоп, поляризация, интерференция, угловая скорость, фазовый сдвиг.

**ВВЕДЕНИЕ**

Оптическая гироскопия возникла в дополнении к механической, которая использует свойство вращающихся тел сохранять направление оси вращения в пространстве, что позволяет определять угол поворота объекта относительно оси гироскопа закрепленного в кардановом подвесе. К числу факторов, способствующих развитию оптической гироскопии, можно отнести борьбу за уменьшение объёма и массы приборов, стремление снизить общую стоимость навигационных систем, а также сократить время их готовности к работе[1].

Общепризнанной на сегодняшний день является перспектива применения волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) для систем управления (СУ) и навигации различного рода движущихся объектов: самолёты, ракеты, подводная и надводная техника, буровые установки и т.д. При этом наиболее востребованными являются ВОГ с широким динамическим диапазоном характеристик – от 500 град/с до 0,001 град/час. По сравнению с кольцевыми лазерными и оптико-механическими гироскопами ВОГ являются более компактными, имеют потенциально лучшие показатели точности измерений, более широкий динамический диапазон изменения угловых скоростей (способны работать на малых оборотах) (Рис. 1), являются более надёжными (не имеют движущихся деталей) и имеют меньшую стоимость.

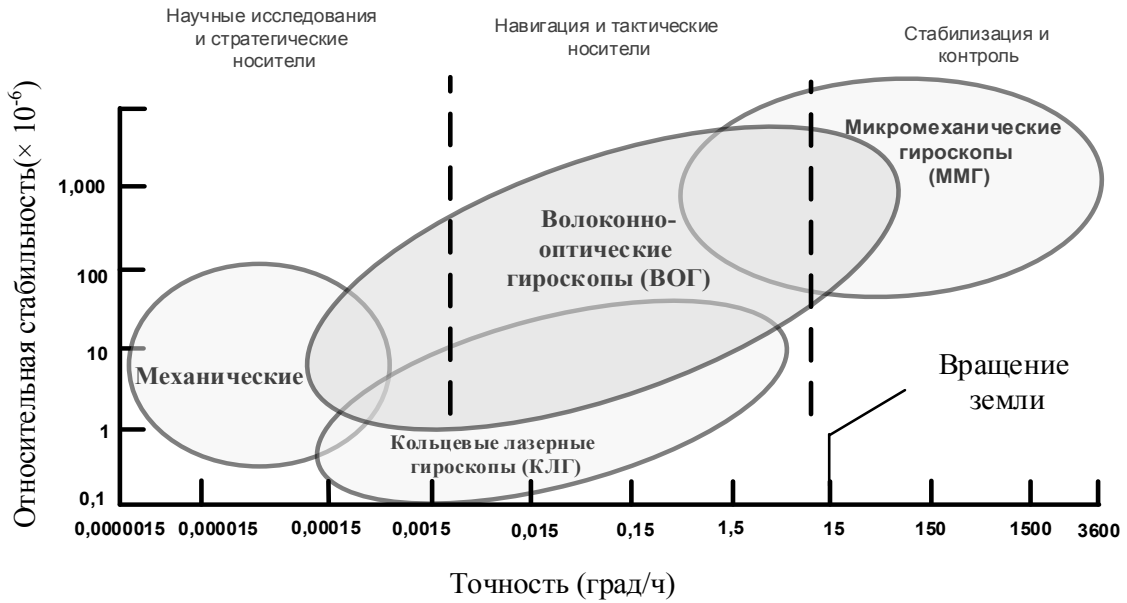


Рис. 1 Зависимость стабильности и точности основных типов гироскопов

### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

В настоящее время используются ВОГ, фото датчик которого реагирует на изменение яркости, в зависимости от направления и скорости поворота. При этом прибор является уязвимым ко многим шумовым факторам[2].

Для устранения, или хотя бы уменьшение, влияния шумов используют различные, достаточно сложные методы, существенно усложняющие как конструкцию прибора, так и алгоритмы обработки сигналов, что приводит к значительному ухудшению массогабаритных показателей, увеличению энергопотребления и стоимости [3].

Чувствительность ВОГ, определяется шумами различного происхождения на выходе фотоприемника. Шумы слагаются из нескольких источников. Квантовый (дробовой шум), связанный с дискретным характером фотонов и фотоэлектронов, естественный шум источника излучения, связанный с биением спектральных компонентов, возникающий в процессе квадратичного детектирования (фотоприема) оптического спектра, флуктуации связаны с рассеиванием света и фликерные шумы, связанные с прохождением тока питания через полупроводниковый источник излучения [4].

На рисунке 2 представлена “минимальная” оптическая схема предлагаемого цельноволоконного ВОГ.

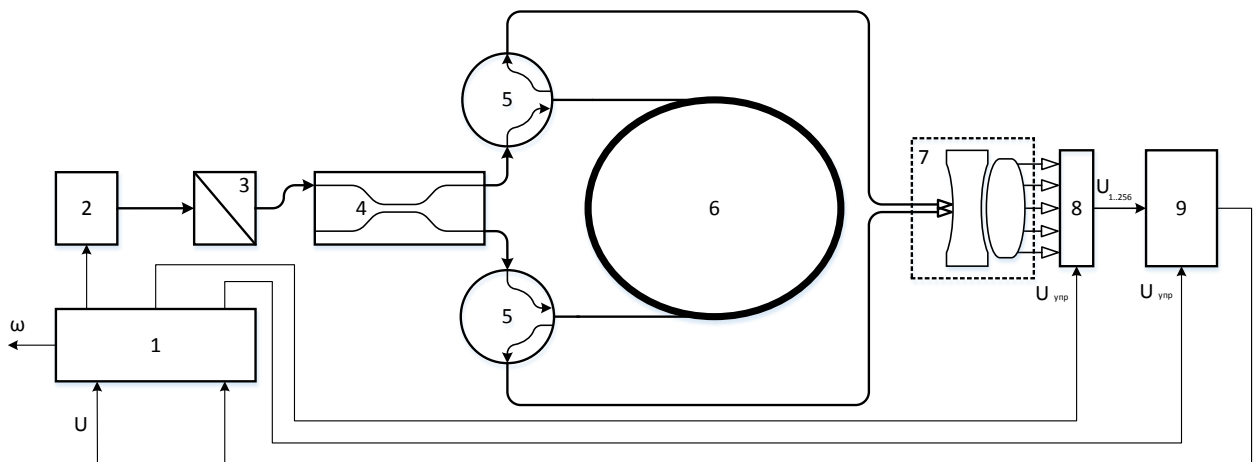


Рис. 2. Схема предлагаемого волоконно-оптического гироскопа

В схеме задействован блок управления и питания УП (1), стабилизированный одночастотный лазер, как источник излучения ИИ (2) (генерирующий длину волны 1310 нм) для основного волоконно-оптический тракта, который состоит из поляризатора П (3), оптического направленного ответвителя НО

(4), двух оптических циркуляторов Ц (5), волоконный контур ВК (6), узла отполированной склейки двух оптических волокон и фокусирующих линз (7).

С целью оптимизации ВОГ предлагается использовать линейку фотоприемников (ПЗС матрицу) ФП (8), как альтернативный фотодатчик на которую, через объектив, проецируется интерферограмма от близко расположенных торцов оптоволокон. Задача ФП регистрировать незначительное изменение пространственного положения интерференционных полос (рис. 3), выходной сигнал, которого, поступает на вычисляющее устройство ВУ (9).

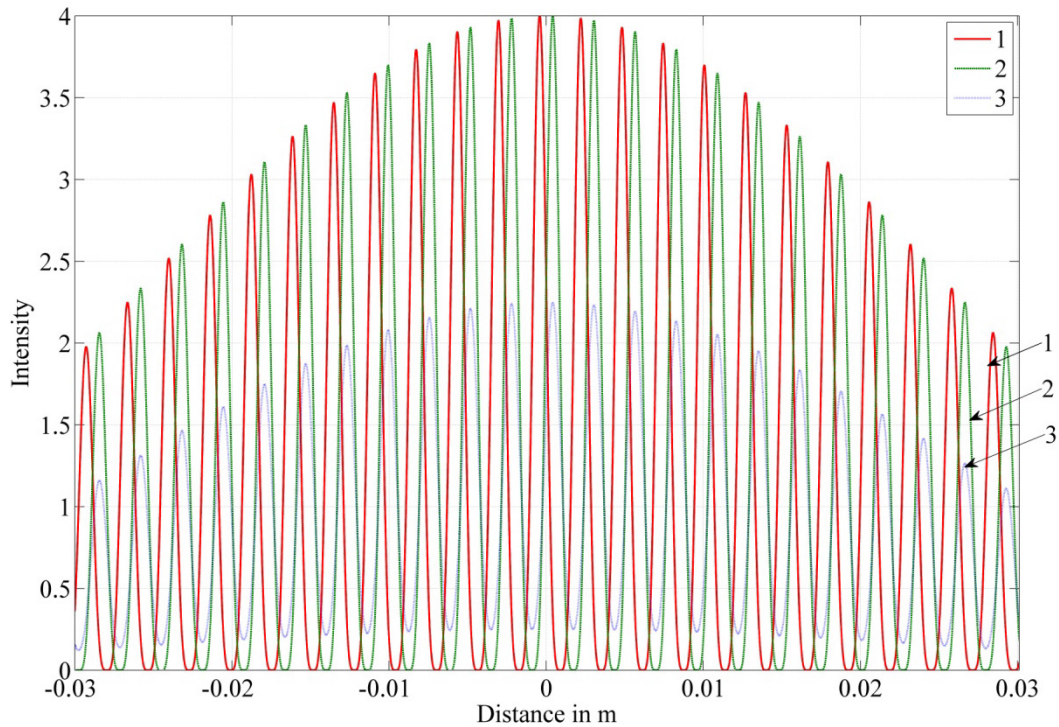


Рис. 3. Оптический сигнал предлагаемого ВОГ : 1 – опорная интерференционная картина (при нулевой угловой скорости); 2 – смещенная интерференционная картина (при некоторой угловой скорости); 3 – изменение интенсивности интерференционной картины (при амплитудной разбалансировке)

При необходимости, чувствительность предлагаемого гироскопа можно изменять в зависимости от режимов обработки, регулируя периода сканирования (в том числе и адаптивного) и применяя различные методы цифровой обработки сигналов. В [5] описаны цифровые методы нахождения фазы интерференционной оптической картины.

С применением в схеме линейной фотоматрицы, появляется возможность регистрировать не только изменение фазы и яркости, но и следить за длиной волны излучателя, так как расстояние между периодами будет разным при разных длинах волн (рис. 4), а значит появляется возможность контролировать и учитывать за показателями работы всей оптической системы.

Прибор функционирует следующим образом. Поляризованное излучение одночастотного лазера проходит оптический разветвитель 50/50, формирующий два опорных луча. Каждый из лучей падает на соответствующий циркулятор и с минимальными потерями транслируется в оптоволоконную катушку. Во время прохождения катушки прямой и обратный лучи приобретают разность фазовых набегов  $\varphi^+ - \varphi^- = \Phi_s$ , распространяющихся по замкнутому контуру в противоположных направлениях при вращении контура вокруг оси, нормальной к его плоскости, пропорциональна угловой скорости вращения  $\Omega$  и площади контура  $S$  который обходят встречные волны [3]

$$\Phi_s = \frac{8\pi Ns}{\lambda c} \Omega = \frac{4\pi RL}{\lambda c} \Omega = \frac{8\pi^2 R^2 N}{\lambda c} \Omega = \frac{2L^2}{\lambda c N} \Omega,$$

где  $s = \pi R^2$  – площадь одного витка;  $N$  – число витков;  $R$  – радиус витка;  $L = 2\pi RN$  – общая длина многovitковой катушки;  $\lambda$  – длина волны света;  $c$  – скорость света.

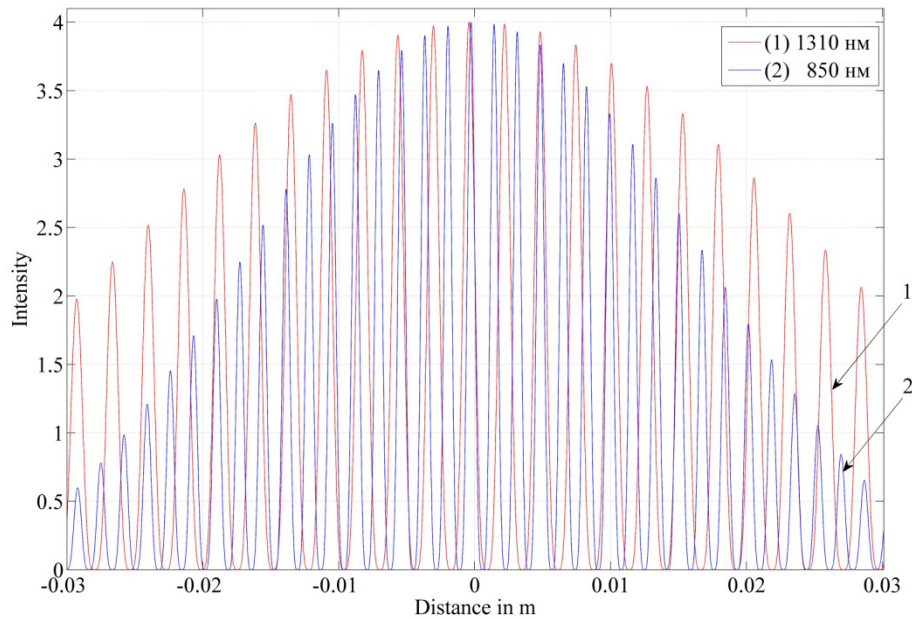


Рис. 4. Изменение длины волны источника излучения

После выхода из волоконного контура лучи попадают на противоположные циркуляторы и с минимальными потерями транслируются на склейку волокон перед объективом. Объектив формирует на ПЗС матрице (линейке) несколько центральных полос интерференционного изображения. Вычислительное устройство считывает с периодом  $T$ , изображение с ПЗС матрицы (линейки).

Новая конструкция ВОГ позволяет существенно уменьшить влияние таких паразитных факторов:

- колебания поляризации в оптическом волокне;
- динамическая нестабильность спектра источника света;
- разность частот встречных волн при колебаниях температуры;
- изменение фазы выходного сигнала из-за эффекта Фарадея в волокне под воздействием колебаний магнитного поля Земли;
- колебания интенсивности прямого и обратного луча вследствие оптического эффекта Керра;
- интерференция лучей прямого и обратного рассеяния Рэлея.

В [4] описаны дополнительные паразитные источники невзаимности волоконных гироскопов и методы борьбы с ними.

Таким образом, предложенная схема менее уязвима к целому ряду негативных факторов, влияющих на точность, по причине того, что дестабилизирующие воздействия в основном будут приводить к изменению яркости интерферограммы, но не к смещению пространственного положения интерференционных полос. Стоимость предлагаемого устройства является сопоставимой со стоимостью существующих ВОГ но с существенным улучшением всех основных характеристик

Перечисленные возможности позволяют ориентироваться на создание целой линейки прецизионных волоконно-оптических гироскопов с уникальными характеристиками для различных сфер применения.

## ВЫВОДЫ

Главной особенностью предлагаемого решения является потенциальная нечувствительность прибора к большинству из выше перечисленных факторов ограничения точности ВОГ. Дестабилизирующие воздействия в основном будут приводить к изменению яркости изображения на матрице, но не к изменению его пространственного положения, или к изменению, например, периода интерференционной картины. Практически все изменения такого рода могут быть учтены в соответствующих алгоритмах цифровой обработки сигналов, что принципиально невозможно в существующих схемах волоконно-оптических гироскопов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Удда Э. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников. [Пер. с англ.] – М.: Техносфера, 2008. – 518 с.

2. Шереметьев А.Г. Волоконный оптический гироскоп/ А.Г. Шереметьев // Радио и связь, – 1987– 152– 158 с.
3. G. Hu, J. Xu, G. Auner, J. Smolinsky, H. Ying Digital phase detection approach and its application for AlN dual-mode differential surface acoustic wave sensing.// sensors and actuators b, 2008.- 132, 1; 272-279
4. Андропова И.А. Физические проблемы волоконной гироскопии на эффекте Саньяка/ И.А. Андропова, Г.Б. Малыкин // Успехи физических наук. – 2002. – Т.172. – №8. – с. 850-872.
5. Milos Sedlacek, Michal Krumpholc. Digital measurement of phase difference - a comparative study of dsp algorithms. - Czech Technical University in Prague, 2005 -15p.

Надійшла до редакції 14.11.2013р.

**КОЖЕМ'ЯКО В. П.** – засл. діяч науки і техніки України, д.т.н., проф., зав. кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

**ТУЖАНСЬКИЙ С. Є.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

**САХНО А. М.** – студент 4-го курсу кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.