

# Прототип волоконно-оптического резонаторного гироскопа с делителем 3×3 на сохраняющем поляризацию волокне

К. А. Овчинников<sup>1,2</sup>, Д. Г. Гилев<sup>1,2</sup>, В. В. Криштон<sup>1,2</sup>, М. А. Ветошкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

<sup>2</sup> ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», Пермь, Россия

В работе представлен прототип волоконно-оптического резонаторного гироскопа с делителем 3×3 на волокне, сохраняющем поляризацию. При применении изотропного волокна возникает эффект поляризационной невязимости, заключающийся в том, что свет, распространяющийся внутри резонатора в противоположных направлениях, приходит на фотоприемник в разных состояниях поляризации, вследствие чего глубина интерференции снижается. В отличие от прототипа на изотропном волокне, волокно с сохранением поляризации позволяет устранить поляризационную невязимость тем самым повышает стабильность работы гироскопа.

*Ключевые слова:* Волоконно-оптический гироскоп, Резонаторы, Сохраняющее поляризацию волокно, Поляризационная невязимость.

*Цитирование:* Овчинников, К. А. Прототип волоконно-оптического резонаторного гироскопа с делителем 3×3 на сохраняющем поляризацию волокне / К. А. Овчинников, Д. Г. Гилев, В. В. Криштон, М. А. Ветошкин // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 134–138.

## Введение

Резонаторная схема оптических гироскопов является следующим эволюционным шагом в развитии оптической гироскопии, о чем говорят последние исследования [1, 2, 3]. Оптический кольцевой резонатор может быть реализован с помощью волоконно-оптических сплавных разветвителей с неравными коэффициентами деления, которые соединяются путем оптической сварки в замкнутый кольцевой контур. Проблема резонаторного гироскопа заключается в том, что измерение смещения резонансных частот из-за вращения не осуществимо напрямую, для этого необходимо применение специальных способов детектирования угловой скорости. В качестве потенциального способа в работе применяется интерференция двух резонансных спектров в разветвителе 3×3, в котором возникают постоянные фазовые смещения излучения при прохождении через разветвитель.

В работе [4] рассматривалась схема волоконно-оптического резонаторного гироскопа с делителем 3×3. Проблемой предлагаемой схемы стала поляризационная невязимость возникающая в резонаторном контуре, влияющая на глубину интерференции, что вызывает сильную нестабильность сигнала и масштабного коэффициента. Одним из возможных вариантов решения данной проблемы может стать применение компонентов с сохранением поляризации.

## Методика

В данной работе рассматривается схема волоконно-оптического резонаторного гироскопа с делителем 3x3 представленная на рисунке 1.

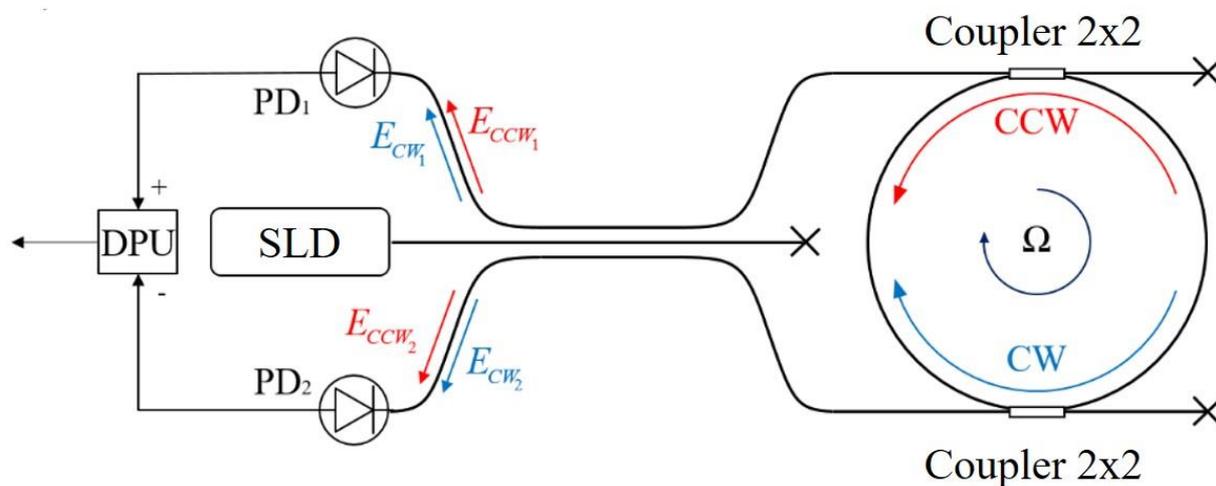


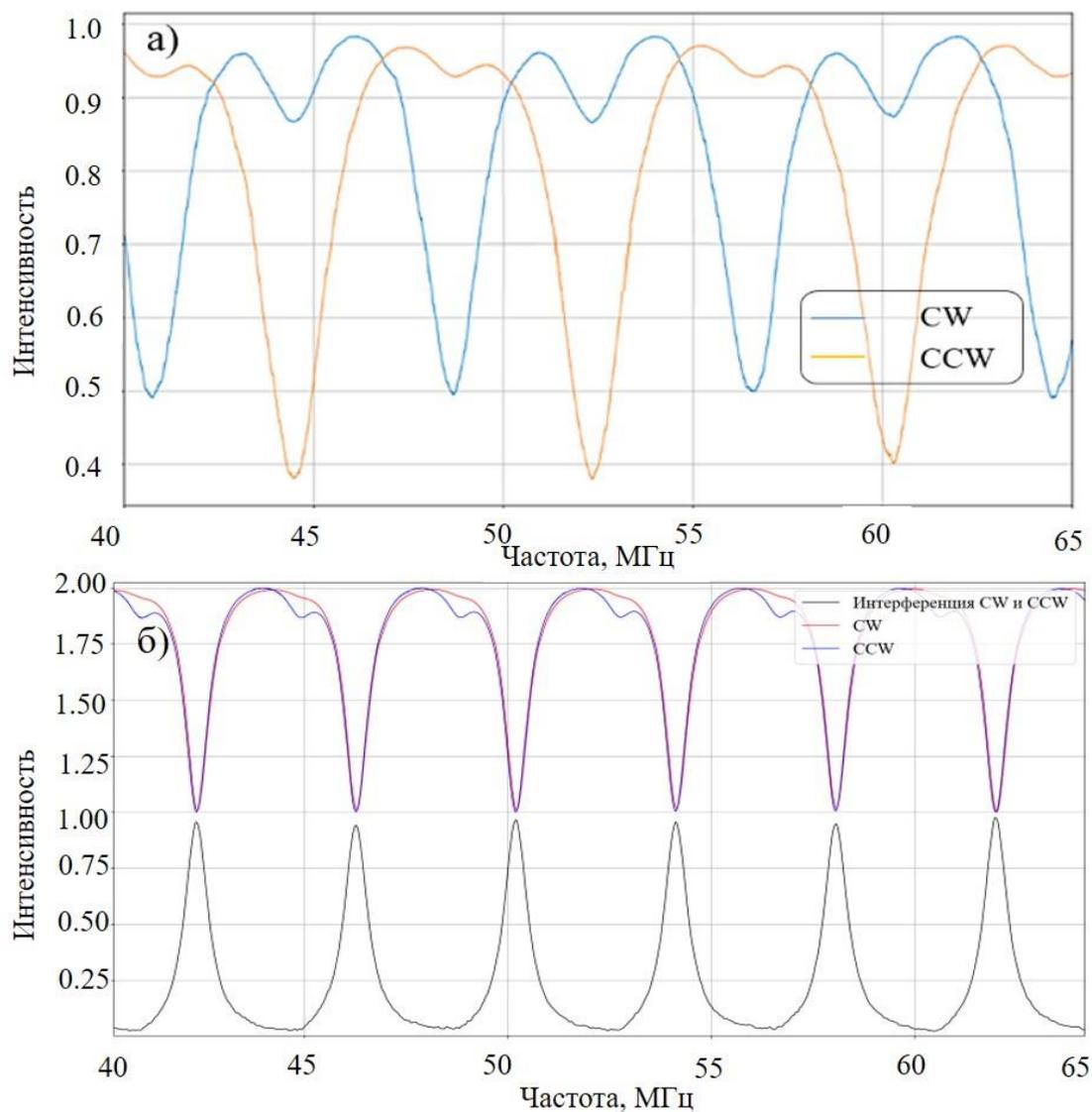
Рис. 1. Схема пассивного резонансного волоконно-оптического гироскопа с делителем 3x3. SLD – Суперлюминесцентный диод; PD1, PD2 – фотоприемники; DPU – блок обработки данных, CW и CCW – излучение, проходящее по и против часовой стрелки соответственно (ось вращения перпендикулярна плоскости рисунка, направление вращения совпадает с направлением часовой стрелки)

В отличие от схемы, предлагаемой в [4] в данной работе все используемые компоненты выполнены на сохраняющем поляризацию волокне типа PANDA. В случае применения изотропного волокна излучение при распространении неизбежно изменяет состояние поляризации, что является критичным при встречном распространении лучей [5]. Если излучения, распространяющиеся в резонансном контуре, будут иметь различное состояние поляризации, то это будет означать различные собственные частоты из-за отличия показателей преломления, а также снижения глубины интерференции результирующего сигнала на фотоприемниках.

Применение волокна типа PANDA позволит поддерживать стабильное состояние поляризации излучения на протяжении всего пути тем самым будет соблюдено соответствие резонансных частот для излучений, распространяющихся в различных направлениях внутри резонансного контура и поддержание постоянства глубины интерференции результирующего сигнала.

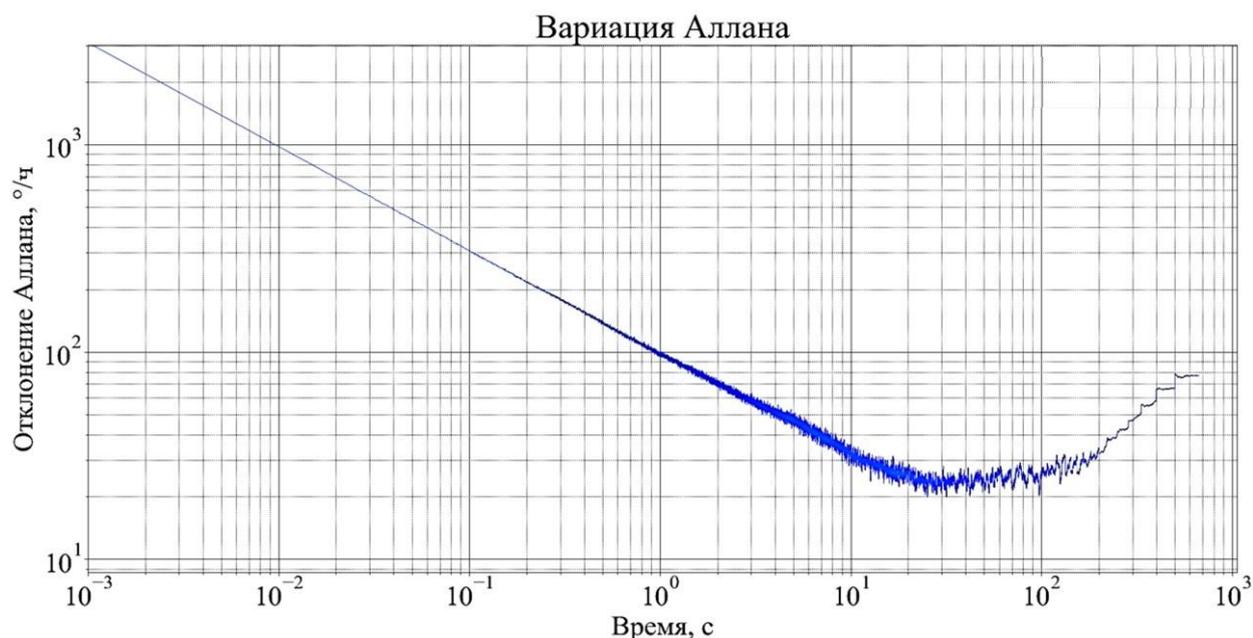
## Результаты эксперимента

В ходе работы собран прототип волоконно-оптического резонаторного гироскопа с делителем 3x3, как показано на рисунке 1. Измерение амплитудно-частотной характеристики выходного сигнала гироскопа на волокне типа PANDA в сравнении с такой же характеристикой гироскопа на изотропном волокне представлено на рисунке 2.



**Рис. 2.** Сравнение амплитудно-частотных характеристик выходных сигналов гироскопов на изотропном и сохраняющем поляризации волокнах. а) Амплитудно-частотная характеристика гироскопа на изотропном волокне. б) Амплитудно-частотная характеристика гироскопа на сохраняющем поляризацию волокне.

Сравнение данных характеристик показывает высокую поляризационную стабильность и отсутствие побочных резонансных частот, вызванных изменением состояния поляризации. На рисунке 3 представлена вариация Аллана сигнала собранного гироскопа.



**Рис. 3.** Вариация Аллана сигнала волоконно-оптического резонаторного гироскопа с делителем 3×3 на сохраняющем поляризацию волокне.

По данным вариации Аллана нестабильность нуля составляет 23 °/ч и случайное блуждание угла 1.6 °/√ч. Конфигурация оптического гироскопа с разветвителем 3×3 хорошо подходит для построения простых и дешевых гироскопов средней точности (10 - 100 °/ч).

### Обсуждение

Схема представленного волоконно-оптического резонаторного гироскопа с делителем 3х3 на сохраняющем поляризацию волокне демонстрирует значительно большую повторяемость результатов и стабильность, чем та же схема на изотропном волокне. Благодаря применению волокна с сохранением поляризации удалось устранить влияние поляризационной невязимности. Гироскоп с данными параметрами удовлетворяет промышленному и тактическому классу точности. Таким образом показана возможность создания недорогого миниатюрного оптического гироскопа с детектируемой угловой скоростью 20 °/ч на основе волоконно-оптического резонатора.

### Благодарности

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2023-0005).

### Список источников

- [1] Kuai X. et al. Suppression method of optical noises in resonator-integrated optic gyroscopes // Sensors. – 2022. – Vol. 22. – №. 8. – P. 2889.
- [2] Gilev D. G. et al. Fiber optic resonators for angular rate sensors // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2022. – Vol. 86. – №. Suppl 1. – P. S75-S80.
- [3] Filatov Y. V. et al. Experimental Investigation of an Optical Resonator Gyroscope with a Mach–Zehnder Modulator and Its Sensitive Elements // Photonics. – MDPI, 2022. – Vol. 10. – №. 1. – P. 4.

- [4] Ovchinnikov K. A. et al. A Prototype for a Passive Resonant Interferometric Fiber Optic Gyroscope with a 3×3 Directional Coupler // Sensors. – 2023. – T. 23. – №. 3. – C. 1319.
- [5] Gilev D. G. et al. Determination of induced birefringence in a fiber-optic resonator from the frequency difference between main and additional resonance peaks // Optics Continuum. – 2022. – T. 1. – №. 3. – C. 487-493.

## **Prototype of a fiber-optic resonator gyroscope with a 3×3 coupler on a polarization-maintaining fiber**

*K. A. Ovchinnikov<sup>1,2</sup>, D. G. Gilev<sup>1,2</sup>, V. V. Krishtop<sup>1,2</sup>, Vetoshkin M. A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

<sup>2</sup> Perm Scientific-Industrial Instrument Making Company, Perm, Russia

The paper presents a prototype of a fiber-optic resonator gyroscope with a 3x3 coupler on a polarization-maintaining fiber. When using an isotropic fiber, the effect of polarization nonreciprocity arises, which consists in the fact that light propagating inside the resonator in opposite directions arrives at the photodetector in different states of polarization, because of which the depth of interference decreases. In contrast to the prototype on isotropic fiber, polarization-maintaining fiber eliminates polarization nonreciprocity, thereby increasing the stability of the gyroscope.

*Keywords:* Fiber optic gyroscope, Resonators, Polarization-maintaining fiber, Polarization nonreciprocity.