

УДК 531.383–11:681.7

# ВЫСОКОТОЧНЫЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ГИРОСКОПЫ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**Б.А. Блажнов**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»*  
Россия, 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30  
E-mail: [blazhnov\\_b@mail.ru](mailto:blazhnov_b@mail.ru)

**Д.В. Вольнский**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»*  
Россия, 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30  
E-mail: [silent\\_d@mail.ru](mailto:silent_d@mail.ru)

**А.В. Рупасов**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»*  
Россия, 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30  
E-mail: [a.v.rupasov@gmail.com](mailto:a.v.rupasov@gmail.com)

**А.П. Степанов**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»*  
Россия, 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30  
E-mail: [apstepanov@mail.ru](mailto:apstepanov@mail.ru)

**А.А. Унтилов**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»*  
Россия, 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30  
E-mail: [untilov\\_aa@elprib.ru](mailto:untilov_aa@elprib.ru)

**Ключевые слова:** волоконно-оптический гироскоп

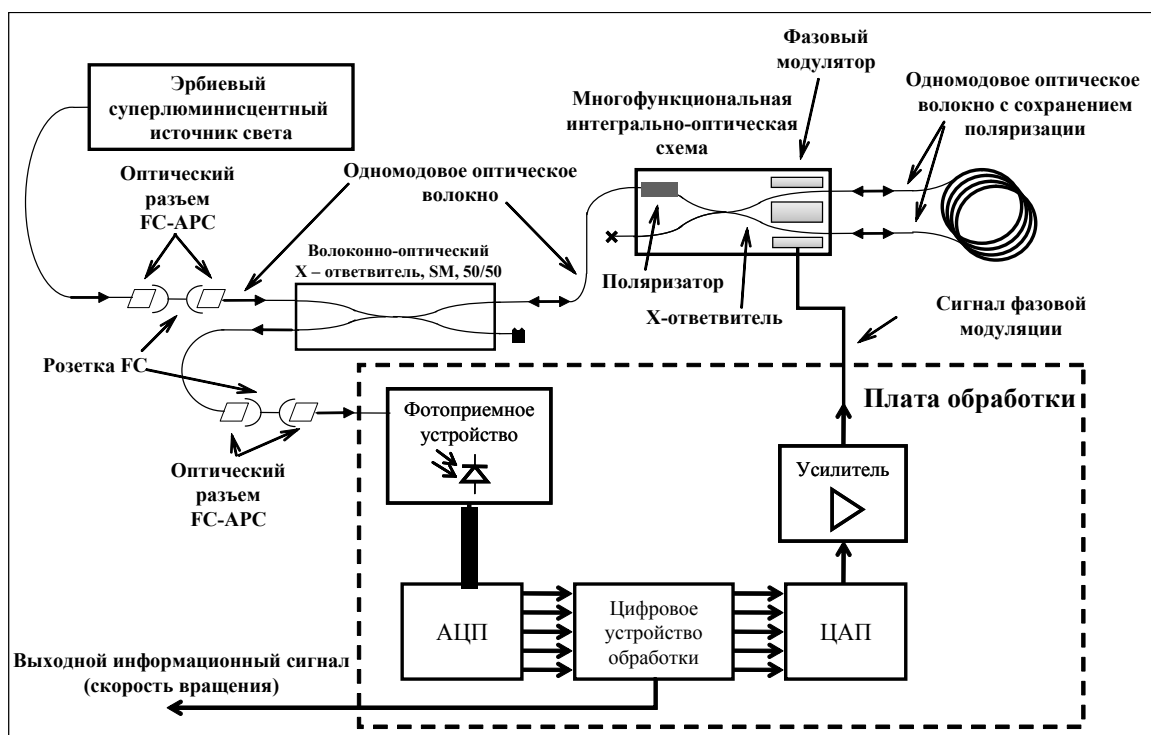
**Аннотация:** В докладе рассмотрены высокоточные волоконно-оптические гироскопы (ВОГ), изготавливаемые в АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Рассматривается конструкция и характеристики ВОГ. Приводятся результаты испытаний на долговременную стабильность. Обсуждаются области возможного применения и направления дальнейшего развития.

## 1. Введение

В настоящее время наблюдается постепенный переход на применение ВОГ в различных области навигации, ориентации и управления движением объектов [1, 2]. Применение ВОГ обусловлено улучшением их характеристик и прогрессом в развитии фотонных технологий.

Мировыми лидерами в области разработки и производства высокоточных ВОГ, а также инерциальных измерительных модулей на их основе являются компании Northrop Grumman, Honeywell (США), IXblue (Франция) и ряд других [3-7]. В нашей стране в этой области работают компании: ООО НПК «Оптолинк», АО «Пермская НППК», АО «НИИ ПМ» (филиал ЦЭНКИ), АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» [8-12].

Разработка собственного ВОГ началась в АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» совместно с Университетом ИТМО в 2007 году. Изначально разработка ориентировалась на гироскоп класса 0,01 град/час с перспективой дальнейшего повышения точности. ВОГ построен по замкнутой схеме, приведенной на рис. 1. Для достижения наилучшего температурного режима оптическая часть отделена от сервисной электроники. В ВОГ используется одномодовое оптическое волокно с сохранением поляризации с  $h$ -параметром на уровне  $5 \cdot 10^{-6}$  и оптическими потерями на уровне 1,3 дБ/км. В качестве оптического источника взят эрбиевый суперлюминисцентный источник оптического излучения. В связи с его достаточной мощностью используется один источник оптического излучения для трех ВОГ навигационной системы. К настоящему времени изготовлено более 250 ВОГ.



**Рис. 1.** Схема построения ВОГ замкнутого типа, производства АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Фотография интерферометра в магнитном экране (со снятым верхним экраном) приведена на рис. 2.



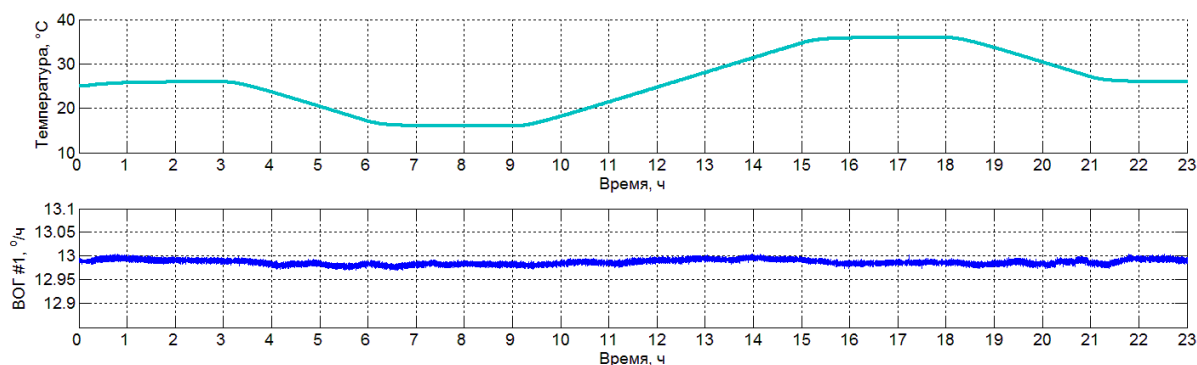
**Рис. 2.** Фотография оптической части (со снятым верхним магнитным экраном) ВОГ, производства АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Некоторые характеристики серийного ВОГ приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Характеристики серийно выпускаемого ВОГ, производства АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Параметр	Значение
Диапазон измеряемой угловой скорости, °/с	$\pm 500$
Случайная составляющая дрейфа нулевого сигнала при фиксированной температуре (3 $\sigma$ ), °/ч	$< 0,005$
Погрешность масштабного коэффициента (3 $\sigma$ ), ppm	$< 50$
Температурный диапазон предельный, °С	-40 ... +70
Температурный диапазон рабочий, °С	+15 ... +35
Габаритные размеры оптической части, мм	202 x 40

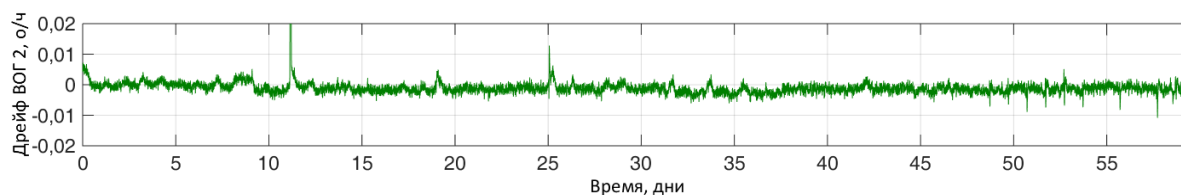
На рис. 3 приведен график изменения выходного сигнала ВОГ на неподвижном основании при изменении температуры в пределах (+15...+35)°С.



**Рис. 3.** График изменения выходного сигнала ВОГ на неподвижном основании при изменении температуры в пределах (+15...+35)°С. Осреднение сигнала по 900 с, постоянное смещение нуля не введено.

## 2. Испытание на стабильность характеристик ВОГ

Долговременная стабильность является одним из ключевых параметров гироскопа. Для испытаний были взяты серийные ВОГ без предварительного подбора. С целью приближения результатов к поведению ВОГ в реальных условиях гироскопы были установлены на штатные места в серийно изготавливаемом приборе. Прибор подвергался различным испытаниям, как на стендах предприятия, так и на объекте. Одним из испытаний были длительные испытания в нормальных климатических условиях на неподвижном основании в течении 59 суток. На рис. 4 приведен график реализации одного из ВОГ.



**Рис. 4.** График изменения выходного сигнала ВОГ на неподвижном основании при комнатной температуре. Осреднение сигнала по 900 с, среднее значение выходного сигнала вычтено, термомодель введена, выбросы обусловлены изменением температуры.

Результаты испытаний по трем ВОГ с учетом термомодели приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Результаты испытаний на стабильность.

	<b>ВОГ 1</b>	<b>ВОГ 2</b>	<b>ВОГ 3</b>
<b>СКО смещения нуля выходного сигнала ВОГ в пуске при осреднении по 900 с (<math>1\sigma</math>), °/ч</b>	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$
<b>Спектральная плотность шума выходного сигнала ВОГ, °/ч/<math>\sqrt{\text{Гц}}</math></b>	0,02	0,03	0,02

## 3. Перспективы развития

Развитие ВОГ идет в сторону уменьшения габаритов при сохранении точностных характеристик и обеспечения их стабильности в меняющихся условиях эксплуатации. С этой целью был разработан вначале экспериментальный ВОГ уменьшенного габарита [13], а затем и опытный образец, фотография оптической части которого приведена на рис. 5. Данный ВОГ в настоящее время проходит испытания.

На рис. 6 показан спектр выходного сигнала ВОГ уменьшенного габарита на неподвижном основании при постоянной температуре окружающей среды, построенный по 72-часовой реализации выходного сигнала. В области низких и средних частот уровень шума ВОГ составляет примерно  $0,04$  (°/ч)/ $\sqrt{\text{Гц}}$ , среднеквадратическая погрешность (СКП) выходного сигнала за 12 часов при усреднении на 100 с – менее  $0,005$  °/ч. Также на рис. 6 приведена вариация Аллана, построенная по тому же массиву данных. По графику можно дать оценку потенциально достижимой точности ВОГ [14], которая для данного образца находится на уровне  $0,001$  °/ч при осреднении  $\sim 1000$  с.

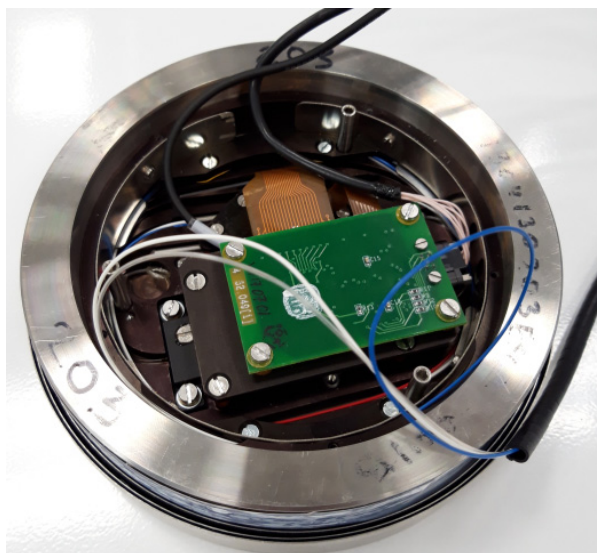


Рис. 5. Фотография ВОГ уменьшенного габарита.

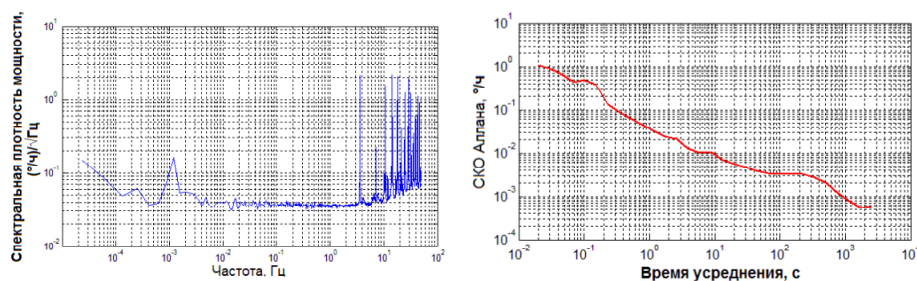


Рис. 6. Спектр выходного сигнала на неподвижном основании и вариация Аллана.

## 6. Заключение

В докладе описаны конструктивные особенности, точностные характеристики и результаты испытаний разработанного в АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» серийного ВОГ уровня 0,01-0,005 град/час. Результаты испытаний на долговременную стабильность показывают возможность повышения точности серийных ВОГ до класса точности 0,001 град/час.

Дальнейшее развитие ВОГ лежит как в области уменьшения габаритов и повышения точности, так и в расширении класса подвижных объектов, на которые они могут быть установлены. ВОГ могут найти применение в космической, авиационной и наземной технике. С этой целью разработан ВОГ уменьшенных габаритов класса точности 0,01 град/час, обладающий большей стойкостью к внешним механическим воздействиям.

## Список литературы

1. Пешехонов В. Г. Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация. 2011. № 1 (72). С. 3-17.
2. Сущенко О. А., Пальчик В. В. Обзор современного состояния волоконно-оптических датчиков угловой скорости и тенденции их развития // Электроніка та системи управління. 2011. № 3 (29).

3. Northrop Grumman. Navigation Systems: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nsd.es.northropgrumman.com/Automated/products/>. (Дата обращения: 09.02.2011).
4. Pavlath G.A. Closed-loop fiber optic gyros. // Proc. of SPIE. 1996. Vol. 2837. P.46-60.
5. Honeywell: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.honeywell.com>. (Дата обращения: 13.08.2011).
6. iXBlue: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ixblue.com>. (Дата обращения: 06.10.2016).
7. FOG Photonics, Inc.: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fogphotonics.com>. (Дата обращения: 06.03.2017).
8. Мешковский И. К., Стригалева В. Е., Дейнека Г. Б., Пешехонов В. Г., Несенюк Л. П. Трехосный волоконно-оптический гироскоп для морских навигационных систем // Материалы XVI Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. СПб: ГНЦ РФ «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. С. 7-12.
9. Научно-Производственная Компания «Оптолинк»: [Электронный ресурс]. URL: <http://optolink.ru>. (Дата обращения: 08.02.2017).
10. Колеватов А. П., Николаев С. Г., Струк В. К., Парфенов А. С., Нестеров И. И. Успехи в разработке бесплатформенных инерциальных навигационных систем на базе волоконно-оптических гироскопов // XVI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. СПб.: ГНЦ РФ «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. С. 13-20.
11. Антонова М.В. Модель погрешностей волоконно-оптического гироскопа: дис. ... канд. техн. наук. М.: МГТУ им. Баумана, 2014.
12. Курбатов А. М., Курбатов Р. А. Пути повышения точности волоконно-оптических гироскопов // Гироскопия и навигация. 2012. № 1. С. 102-121.
13. Унтилов А.А., Егоров Д.А., Рупасов А.В., Новиков Р.Л., Нефоросный С.Т., Азбелева М.П., Драницына Е.В. Результаты испытаний волоконно-оптического гироскопа // Гироскопия и навигация. 2017. Т. 25, № 3 (98). С. 78-85.
14. IEEE Std 952-1997 – Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Single-Axis Interferometric Fiber Optic Gyros. ISBN 1-55937-961-8.