

Волоконно-оптические гироскопы

Выполнил:

студент 6 курса
физико-технического факультета,
гр.21611

Прокопович Павел Федорович

Гироскоп - устройство, способное измерять изменение углов ориентации связанного с ним тела относительно инерциальной системы координат.



До недавнего времени в системах навигации в основном применялись механические гироскопы, работающие на основе эффекта удержания оси вращения тела в одном направлении инерциального пространства.

Механические гироскопы - дорогостоящие приборы, поскольку для их корректной работы требуется высокая точность формы тела вращения и минимально-возможное трение подшипников.

В настоящее время, одним из наиболее перспективных классов gyro-приборов считается класс **оптических гироскопов**.

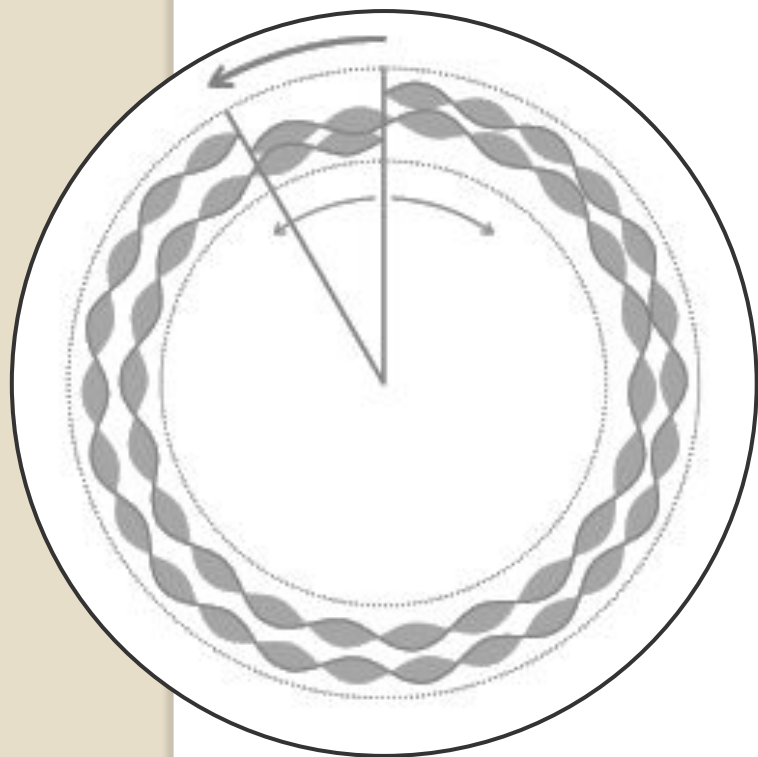
Основные достоинства таких гироскопов:

- отсутствие подвижных частей;
- простота конструкции;
- короткое время запуска;
- высокая чувствительность;
- высокая линейность характеристик;
- низкая потребляемая мощность;
- высокая надежность.

Принцип действия большинства оптических гироскопов основан на эффекте Саньяка.

Эффект Саньяка

Эффект Саньяка – появление фазового сдвига встречных электромагнитных волн во вращающемся кольцевом интерферометре.



В рамках кинематической теории может быть получена формула (коэффициент преломления на оптическом пути принят равным единице):

$$\Delta\varphi = \frac{4kS}{c} \cdot \Omega$$

$\Delta\varphi$ – фазовый сдвиг;

k – волновое число;

S – площадь, окаймленная оптическим путем;

c – скорость волны;

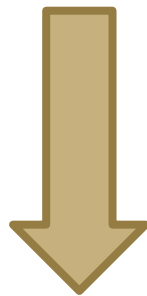
Ω – угловая скорость вращения системы.

Эффект Саньяка прямо пропорционален угловой скорости вращения интерферометра, площади, охватываемой путём распространения световых волн в интерферометре и частоте излучения.

Эффект Саньяка обусловлен невзаимностью распространения встречных волн во вращающейся системе отсчета, связанной с различными длинами оптических путей.

Типы оптических гироскопов

В зависимости от конструкции замкнутого оптического контура различают два типа оптических гироскопов



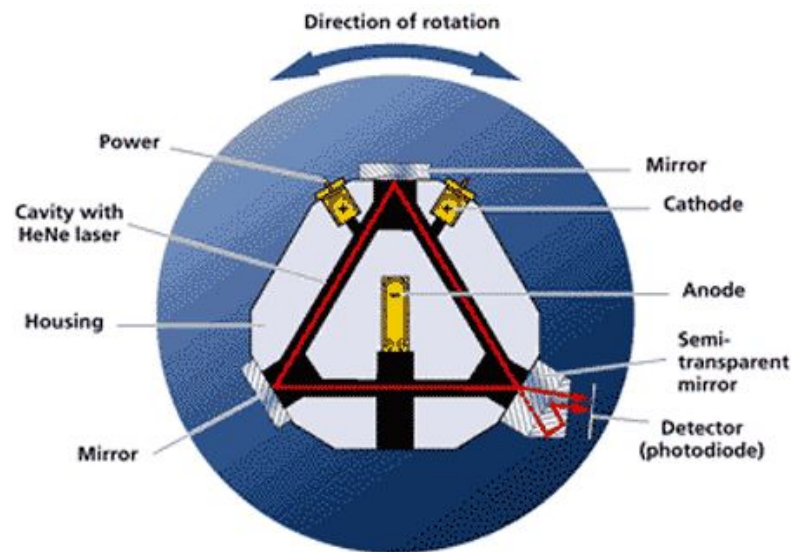
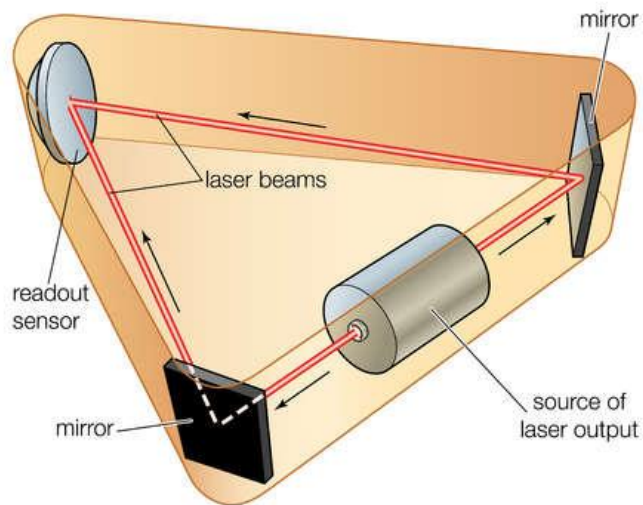
Кольцевой лазерный гироскоп



Волоконно-оптический гироскоп



Кольцевой лазерный гироскоп (КЛГ)

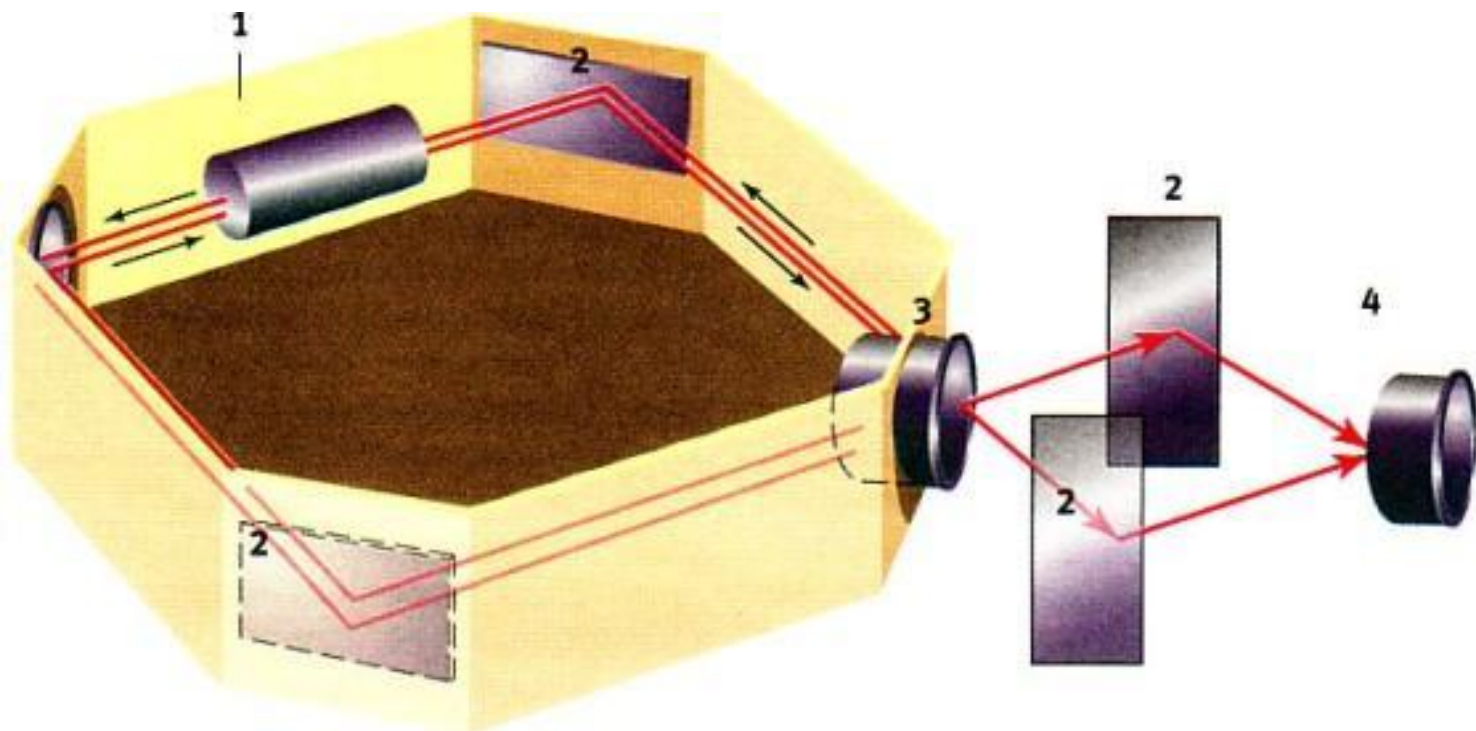


По сути, это обычный интерферометр Саньяка.

Частоты двух генерируемых световых волн, распространяющихся в противоположных направлениях по треугольному оптическому пути, неодинаковы из-за разности оптической длины ΔL .



Биения



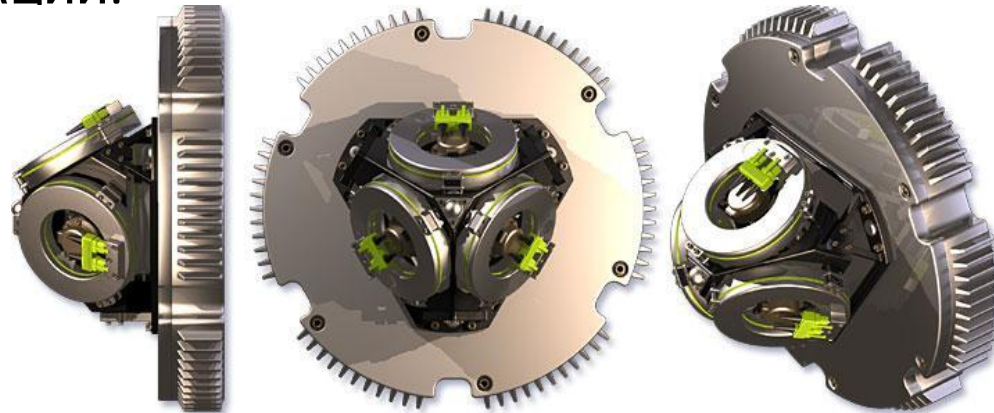
1. Рабочая среда лазера
2. Зеркала
3. Полупрозрачное зеркало
4. Интерферометр



Лазерный гироскоп ЛГ-1 Серпуховского завода «Металлист». Три таких устройства, расположенных взаимно перпендикулярно, измеряют угловую скорость по трем осям с погрешностью примерно 0,1 оборота в сутки

Недостатки КЛГ:

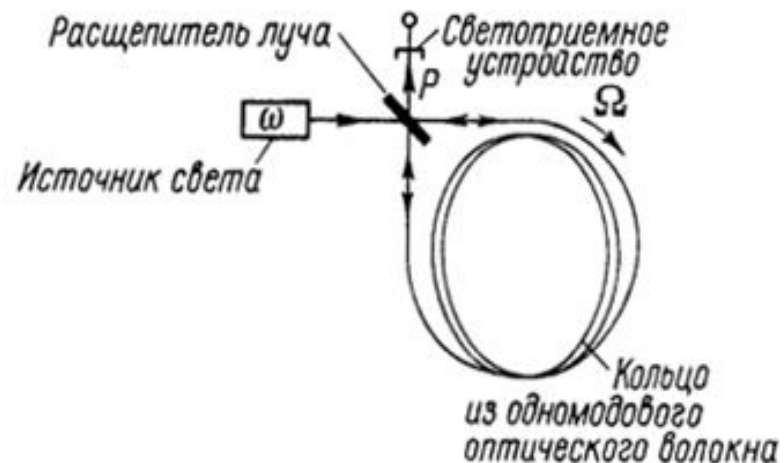
1. Нелинейность выходного сигнала при малой угловой скорости (влияние синхронизма).
2. Дрейф выходного сигнала из-за газовых потоков в лазере.
3. Изменение длины оптического пути под воздействием теплового расширения, давления и механических деформаций.



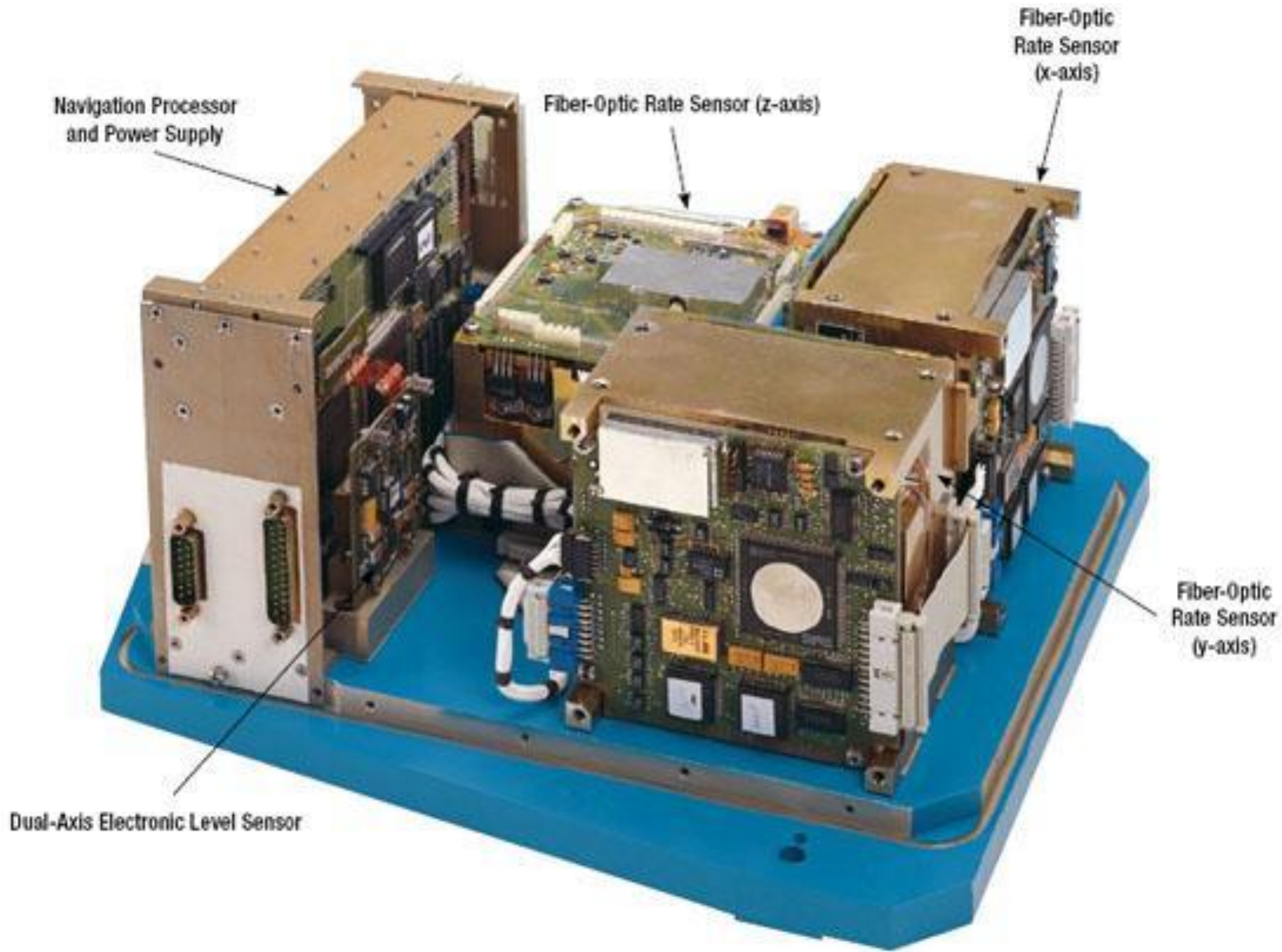
Волоконно-оптический гироскоп (ВОГ)

Волоконно-оптический гироскоп представляет собой интерферометр Саньяка, в котором круговой оптический контур заменен на катушку из длинного одномодового оптического волокна.

Главными элементами ВОГ являются излучатель, расщепитель луча, многовитковый замкнутый контур из одномодового диэлектрического световода с малым затуханием и фотоприемник.



В отличие от КЛГ волоконно-оптические гироскопы позволяют измерять собственно угловую скорость, а не её приращение.



Преимущества перед КЛГ:

- Эффект Саньяка, на котором основан принцип работы прибора, проявляется на несколько порядков сильнее из-за малых потерь в оптическом волокне и большой длины волокна.
- Конструкция ВОГ целиком выполняется в виде твердого тела, что облегчает эксплуатацию и повышает надежность по сравнению с КЛГ.
- ВОГ измеряет скорость вращения, в то время как КЛГ фиксирует приращение скорости.
- Конфигурация ВОГ позволяет "чувствовать" реверс направления вращения.
- Возможность измерения малых угловых скоростей.

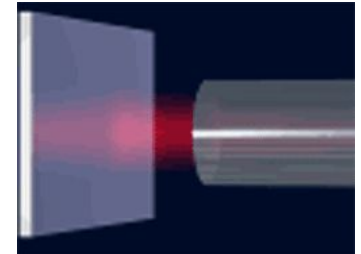
Свойства ВОГ:

- потенциально высокая чувствительность (точность) прибора;
- малые габариты и масса конструкции;
- невысокая стоимость производства и конструирования при массовом изготовлении, относительная простота технологии;
- ничтожное потребление энергии;
- большой динамический диапазон измеряемых угловых скоростей;
- отсутствие вращающихся механических элементов (роторов) и подшипников;
- практически мгновенная готовность к работе;
- нечувствительность к большим линейным ускорениям.

ВОГ с кольцевым резонатором пассивного типа

Повысить чувствительность ВОГ можно с помощью кольцевого оптического резонатора, используя для этого полупрозрачные зеркала с высокими коэффициентами отражения, закрепленные на концах кольца из оптического волокна.

Такой резонатор, усиливает моды, соответствующие стоячим волнам данного резонатора, и ослабляет другие.



Выходной сигнал светоприемника резко реагирует на изменение фазы при однократном прохождении световой волной кольцевого оптического пути.

Можно создать высокочувствительный датчик, измеряющий смещение резонансного пика, обусловленное поворотом.

Модифицировав таким образом схему, можно уменьшить длину волокна чувствительного кольца (если гироскоп среднего класса, то вполне можно использовать даже одновитковое волоконное кольцо).

Основные элементы ВОГ

При конструировании волоконных оптических гироскопов, как правило, в качестве излучателей используют полупроводниковые лазеры (лазерные диоды), светодиоды и суперлюминесцентные диоды.

В ряде экспериментальных установок ВОГ применяют газовые лазеры.

Специфика конструкции ВОГ предъявляет дополнительные требования к источникам излучения. К ним относят: соответствие длины волны излучения номинальной длине волны световода, где потери минимальны; обеспечение достаточно высокой эффективности ввода излучения в световод; возможность работы источника излучения в непрерывном режиме без охлаждения; достаточно высокий уровень выходной мощности излучателя; долговечность, воспроизводимость характеристик, жесткость конструкции, а также минимальные габариты, масса, потребляемая мощность и стоимость.

В ВОГ для намотки чувствительного контура используют три вида волокна: многомодовое, одномодовое и одномодовое с устойчивой поляризацией.

Длина периметра контура определяется исходя из двух предпосылок:

- увеличение длины контура повышает точность системы в целом, так как величина невзаимного фазового сдвига пропорциональна длине волокна
- для более длинного контура в большей степени на работу системы оказывают влияние параметры затухания и нерегулярности волокна.

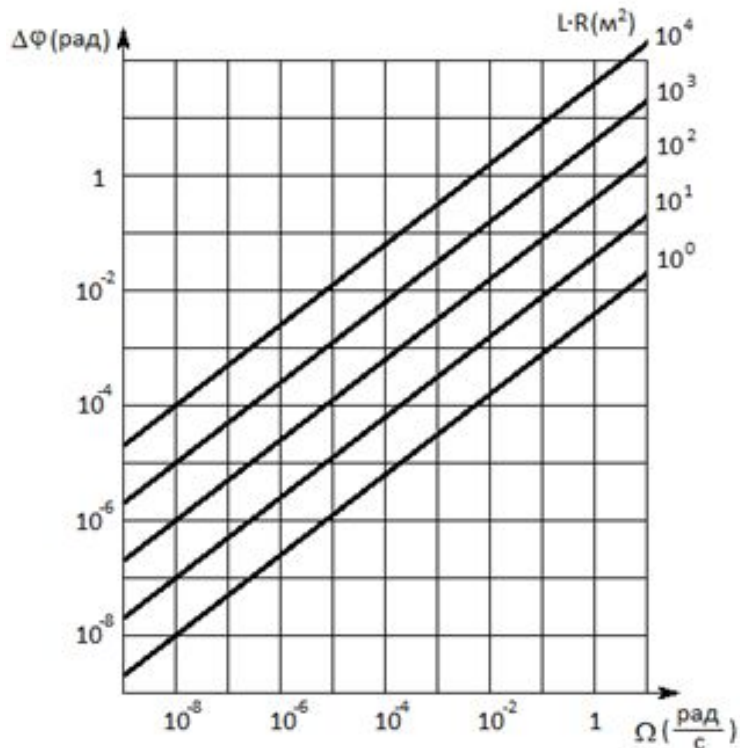
Обычно используются волокна длиной от 200 до 1500 м. Диаметр катушки выбирается по критерию минимизации потерь в волокне на изгибах и с учетом габаритных размеров устройства. Типовое значение диаметра составляет от 6 до 40 см.



В качестве фотодетекторов в большинстве ВОГ используются полупроводниковые фотодиоды, *p-i-n* – фотодиоды и лавинные фотодиоды.

При выборе фотодетектора для ВОГ необходимо в требуемом спектральном диапазоне обеспечивать максимальную интегральную чувствительность, минимальную эквивалентную мощность шумов и минимальный темновой ток.

Принцип взаимности в ВОГ



В типичных экспериментальных конструкциях гироскопов используется катушка с радиусом намотки $R \approx 100$ мм при длине волокна $L \approx 500$ м. Обнаружение скорости вращения в 1 град/ч требует регистрации фазы с разрешением порядка 10^{-5} рад.

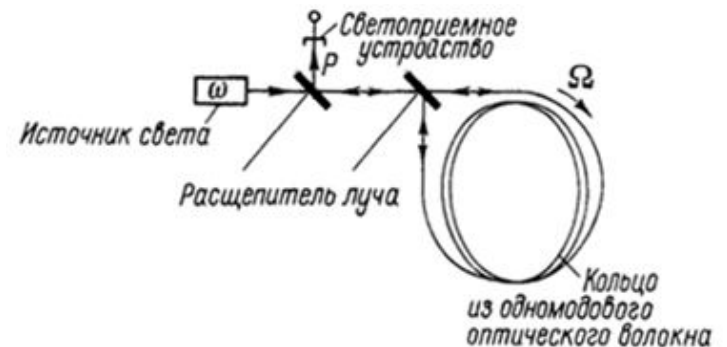
Любая фазовая невязка в ВОГ для двух направлений дает изменения в показаниях гироскопа. Если невязка является функцией времени, то имеет место некоторый временной дрейф в показаниях гироскопа.

Теоремы взаимности Лоренца постулирует:

в случае линейной системы оптические пути в точности взаимны, если данная входная пространственная мода оказывается такой же на выходе.

Общая оптическая схема ВОГ, изображенная выше, не обладает свойством взаимности, так как пучок света, распространяющийся по часовой стрелке, проходит через делитель света и отражается от него, а пучок света, распространяющийся против часовой стрелки, отражается от светоделителя дважды.

Добиться взаимности в системе регистрации можно, если поместить второй расщепитель пучка вдоль входного оптического пути.

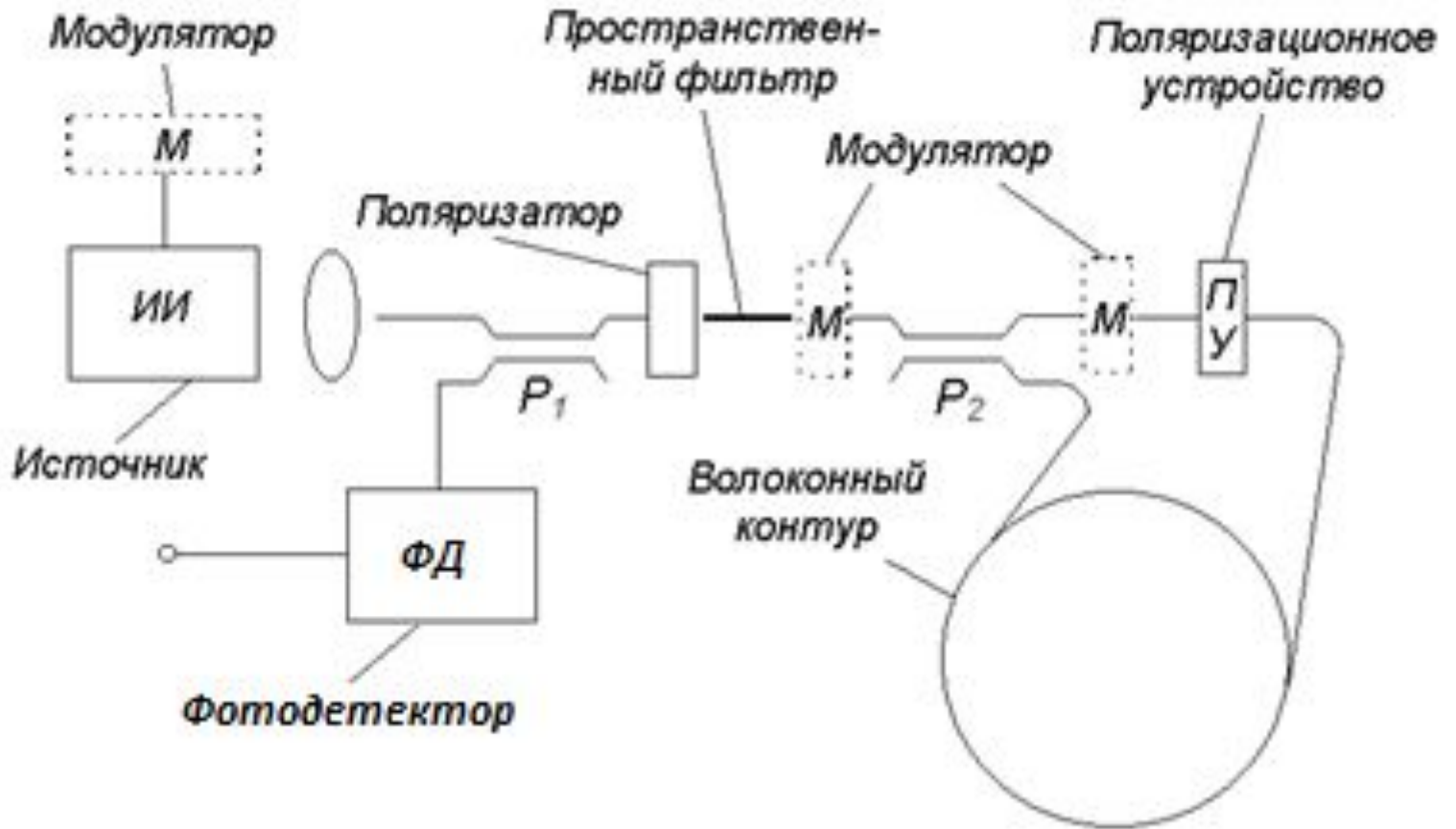


Если нелинейности значительны, то ВОГ будет обладать взаимностью лишь в том случае, если имеется точная симметрия свойств волокна относительно средней точки волоконного контура.

Шумы в ВОГ

Шумовой фактор	Рекомендуемые меры по снижению шума
Колебания поляризации в оптическом волокне.	Включение на выходе волокна анализатора, для того чтобы выделить составляющую поляризации одного направления.
Разность длин оптических путей для световых волн, идущих в противоположных направлениях, при динамической нестабильности спектра источника света.	Стабилизация спектра источника света.
Разность частот волн, идущих по волокну в противоположных направлениях, при колебаниях температуры.	Использование двух акустооптических модуляторов или модуляция прямоугольными импульсами.
Неравномерность распределения температуры вдоль волокна.	Намотка оптического волокна, при которой распределение температуры симметрично относительно середины катушки.
Изменение фазы выходного сигнала из-за эффекта Фарадея.	Магнитное экранирование и использование волокна с сохранением поляризации.
Колебания (в расщепителе луча) отношения интенсивности прямого и обратного луча вследствие оптического эффекта Керра.	Модуляция излучаемого света прямоугольными импульсами со скважностью 50%; использование широкополосного источника света.
Интерференция прямого луча и луча обратного рассеяния Рэлея.	Фазовая модуляция световой волны; импульсная частотная модуляция лазерного излучения; использование слабоинтегрирующего источника света.
Дробовый шум.	Не устраним.

Минимальная конфигурация ВОГ



Современные ВОГ российского производства



ТИУС-50

0



ТИУС-20

0

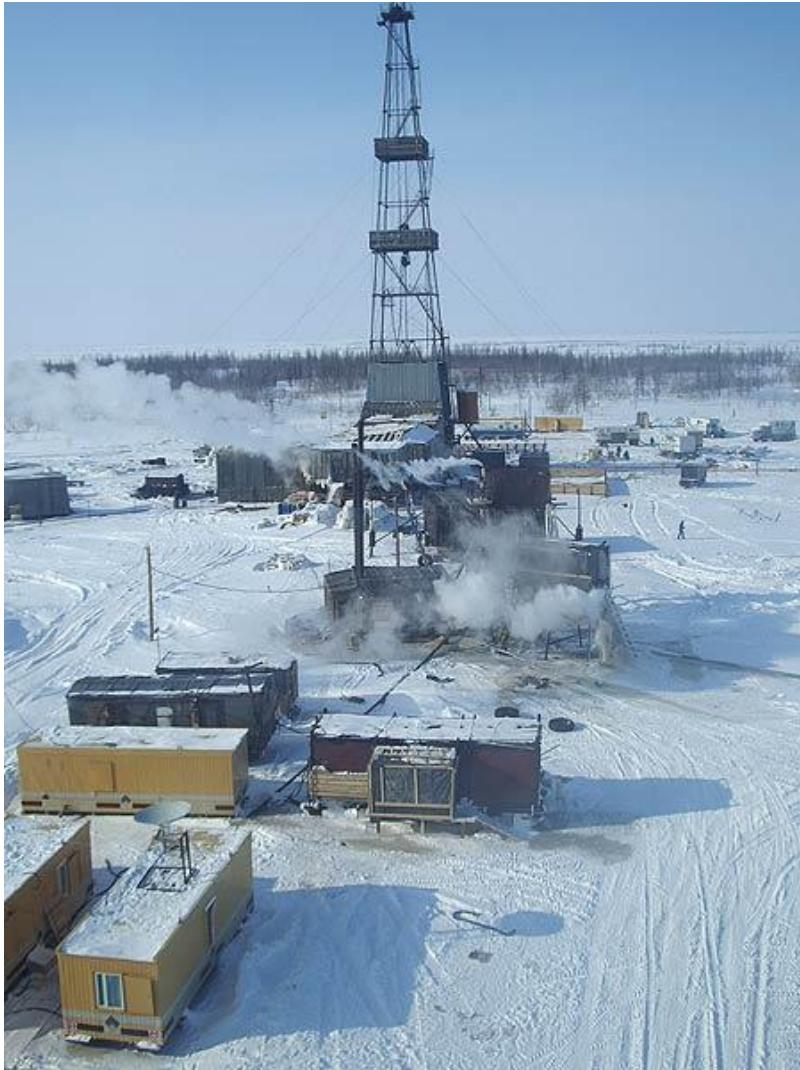


Характеристики российских ВОГ

Характеристики	ОИУС-2000 Одноосный	ОИУС-1000 Одноосный	ОИУС-501 Одноосный	ОИУС-200 Трехосный	ТИУС-500 Трехосный	ТИУС-200 Трехосный
Диапазон измеряемых угловых скоростей, °/сек	±40	± 100	±250	±750	±300	±750
Смещение нуля при фиксированной температуре, °/сек	<0.005	<0.01	<0.1	<0.2	<0.5	<10.0
Погрешность масштабного коэффициента, %	0.008	0.01	0.05	0.01	0.1	0.5
Спектральная плотность мощности шума, °/√час	0.001	0.002	0.008	0.02	0.01	0.02
Масса прибора, кг	1.7	0.8	0.4	0.22	1.1	0.4
Габаритные размеры, мм	∅250x40	∅150x40	∅100x30	∅70x28	110x110x90	∅61x90
Выходной сигнал	RS232/RS485/RS422					
Потребляемая мощность, Вт	7					
Напряжение питания, В	5.0					

Основные области применения:







Спасибо за внимание!