Кубанский государственный университет

Физико-технический факультет

Специальность Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Тема доклада:
Волоконно-оптические гироскопы

Докладчик: Сердюков В.В, 4 курс

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

Одним из интереснейших применений лазеров является их использование в навигационной технике, в частности *в качестве датчиков вращения* для автономного измерения угловой скорости объекта. Ранее для этой цели использовались только механические гироскопы, действие которых основано на эффекте «волчка», то есть способности раскрученного массивного тела сохранять в пространстве направление оси вращения. Лазерный гироскоп имеет ряд существенных преимуществ перед механическим.

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 гиро-приборов считается класс **оптических гироскопов**.

Основные достоинства таких гироскопов:

*Во-первых, отсутствие движущихся частей позволяет снизить время выхода прибора на режим с 20 – 30 *с* до 0.5 – 1.0 *с* и повысить устойчивость прибора к механическим воздействиям (по ударам с 10 - 20 *g* до 150 - 200 *g*).

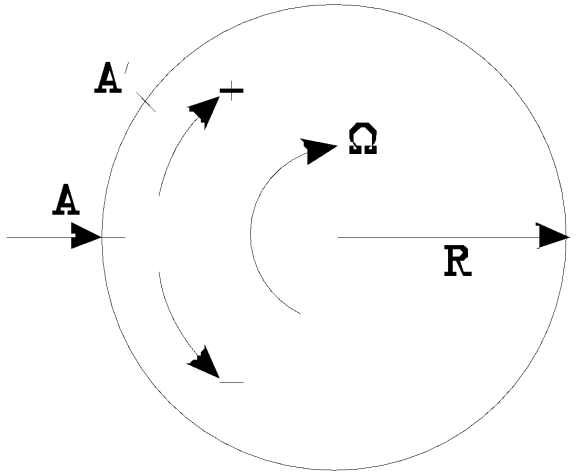
*Во-вторых, лазерный гироскоп нечувствителен к линейным ускорениям до 1000 *g*, в то время как механический гироскоп дает значительную ошибку при ускорении от 50 *g* и выше.

*В-третьих, лазерный гироскоп выдает информацию в дискретном виде, что удобно при преобразовании ее в цифровую для последующей обработки.

Принцип действия большинства оптических гироскопов основан на эффекте Саньяка.

Пассивный интерферометр Саньяка

В основе работы лазерного гироскопа лежит эффект Саньяка, заключающийся в том, что во вращающемся оптическом контуре две волны, распространяющиеся из одной точки в противоположных направлениях, возвращаются в исходную точку в разные моменты времени, то есть длина оптического контура по и против направления вращения становится различной.



Кольцевой интерферометр Саньяка

Выражение для разности оптических путей обхода

световового контура встречными волнами:

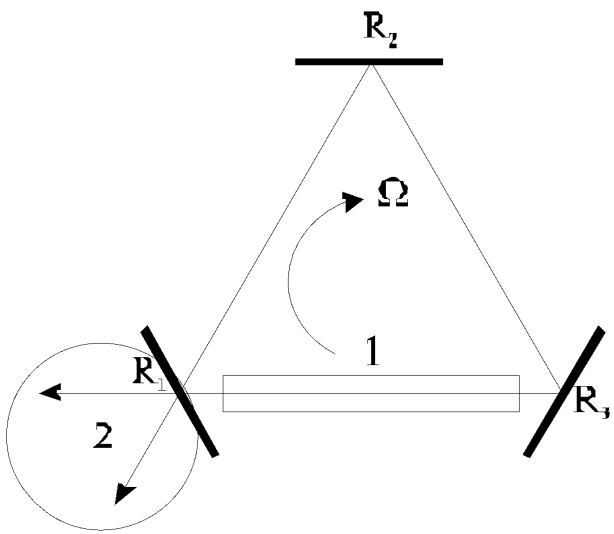
$$\Delta L = c\Delta t = \frac{4\pi\Omega R^2}{c} = \frac{4S\Omega}{c}$$

S – площадь, охватываемая оптическим контуром.

Разность хода встречных световых пучков, возникающая во вращающемся интерферометре Саньяка, может быть использована для определения скорости его вращения.

Кольцевой лазер как датчик вращения

К кардинальному повышению чувствительности оптического гироскопа приводит помещение в интерферометр Саньяка активного элемента, т. е. превращение его в активный интерферометр – кольцевой лазер.



Трехзеркальный лазерный гироскоп, где R_1, R_2, R_3 – зеркала резонатора, 1 – активная среда, 2 – смеситель с фотодетекторами

Принцип работы лазерного гироскопа основывается *на наблюдении разности частот* генерируемых в кольцевом лазере встречных волн, которая возникает из-за неравенства оптических длин резонатора для встречных волн при его вращении.

$$\nu = \frac{mc}{L}; \quad m = 1, 2, 3, \ldots$$

$$\nu_{\pm} = \frac{mc}{L \pm \Delta L/2}; \quad \Delta\nu = \nu_{-} - \nu_{+} = \frac{4S\Omega}{L\lambda}$$

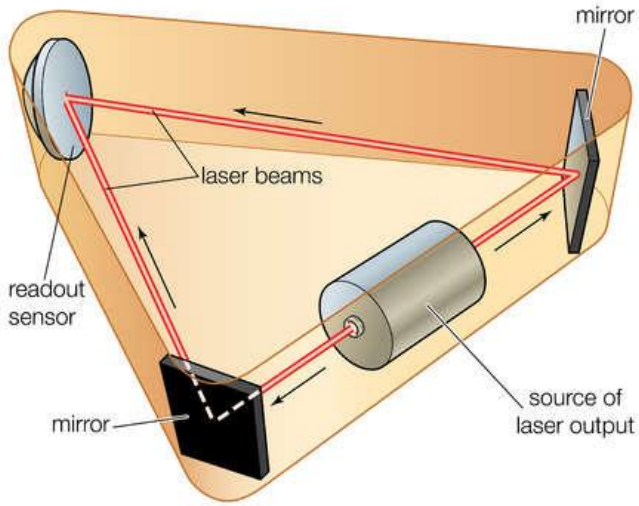
Типы оптических гироскопов

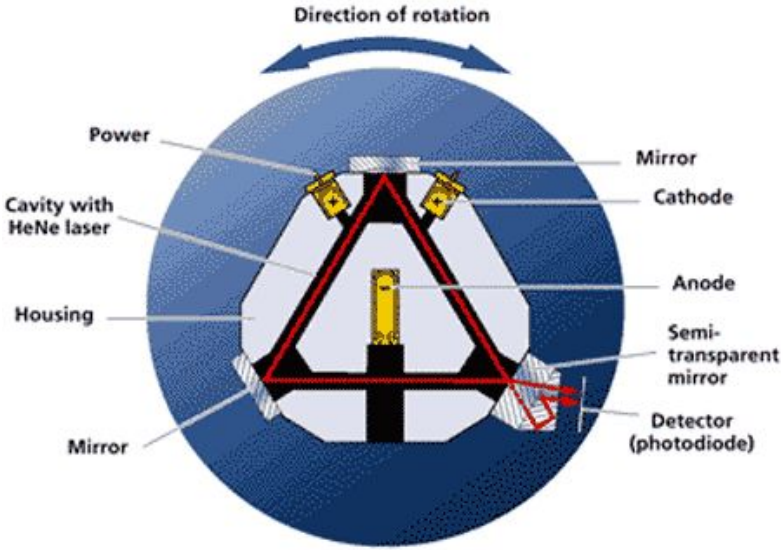
В зависимости от конструкции замкнутого оптического контура различают два типа оптических гироскопов

Кольцевой лазерный гироскоп

Волоконно-оптический гироскоп

Кольцевой лазерный гироскоп (КЛГ)

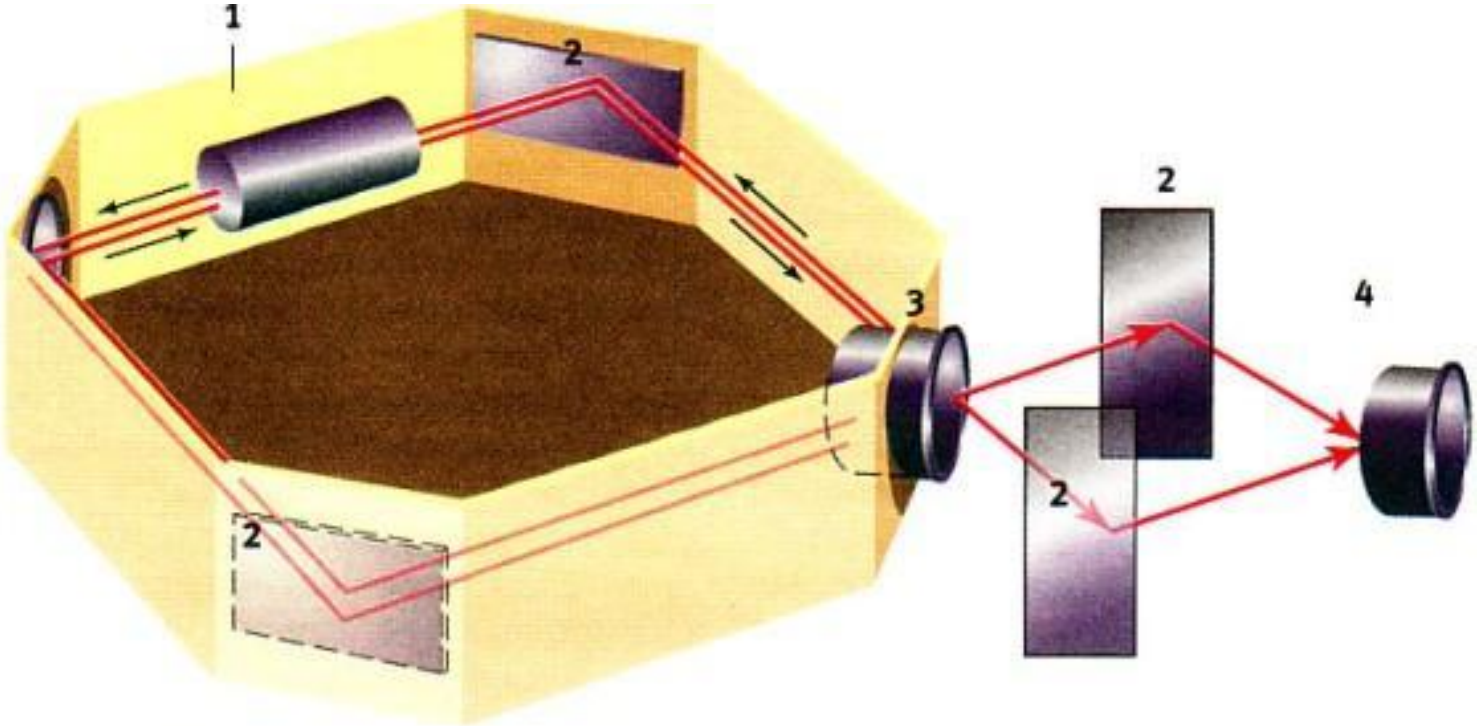




Частоты двух генерируемых световых волн, распространяющихся в противоположных направлениях по треугольному оптическому пути, неодинаковы из-за разности оптической длины ΔL.

По сути, это обычный интерферометр Саньяка.

Биения



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

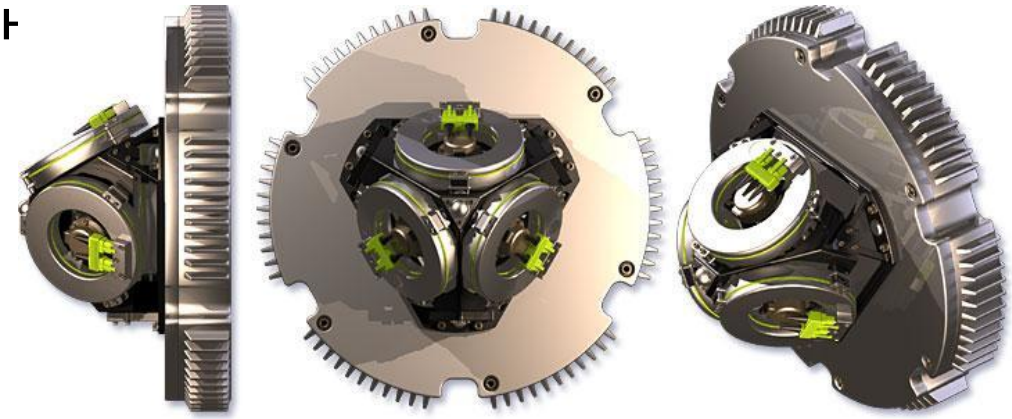
Лазерный гироскоп ЛГ-1 Серпуховского завода «Металлист». Три таких устройства, расположенных взаимно перпендикулярно, измеряют угловую скорость по трем осям с погрешностью примерно 0,1 оборота в сутки

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 расширен деформаций.

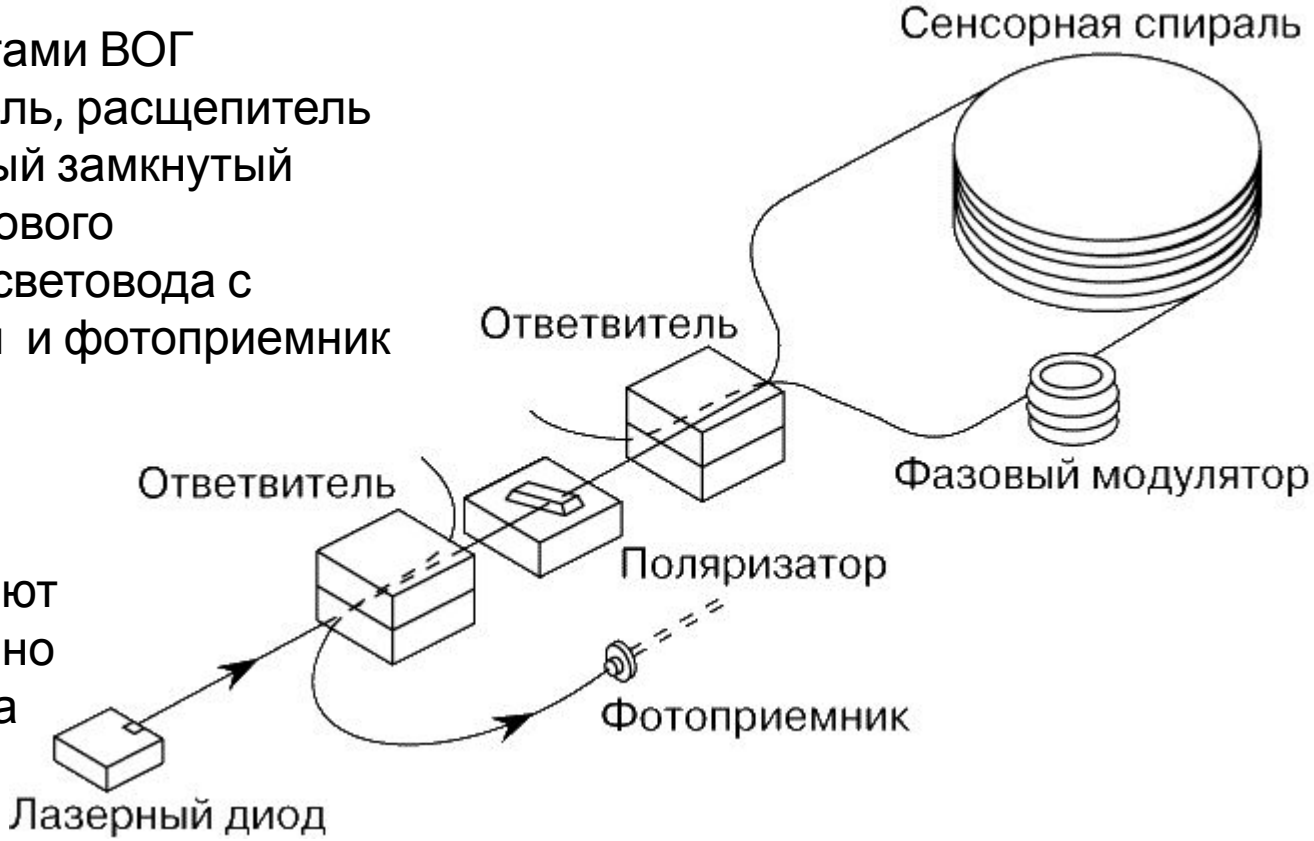


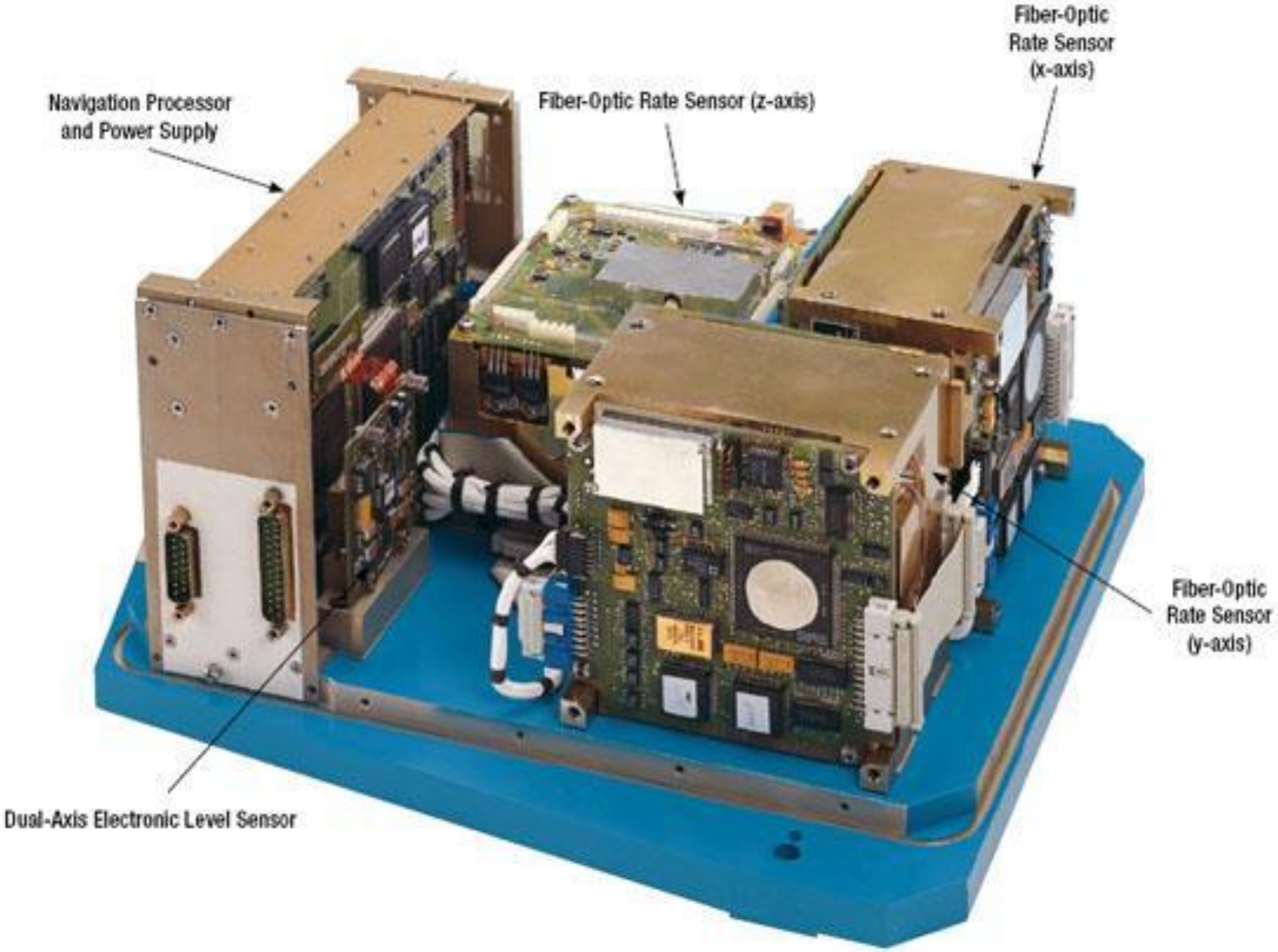
Волоконно-оптический гироскоп (ВОГ)

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.




Navigation Processor
and Power Supply
Fiber-Optic Rate Sensor (z-axis)
Fiber-Optic
Rate Sensor
(x-axis)
Fiber-Optic
Rate Sensor
(y-axis)
Dual-Axis Electronic Level Sensor

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.

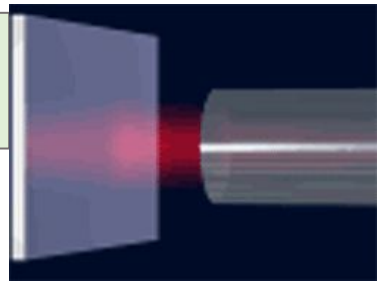
Свойства ВОГ:

- 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.

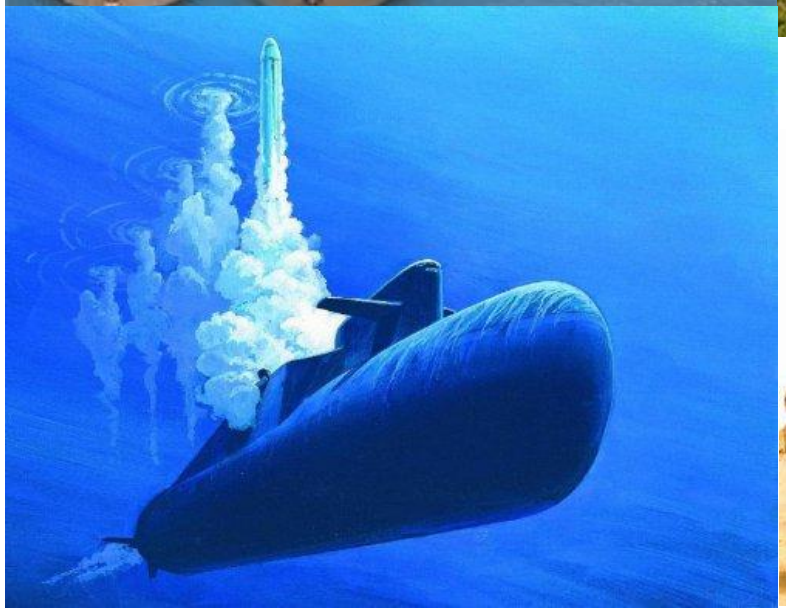
При выборе фотодетектора для ВОГ необходимо в требуемом спектральном диапазоне обеспечивать максимальную интегральную чувствительность, минимальную эквивалентную мощность шумов и минимальный темновой ток.

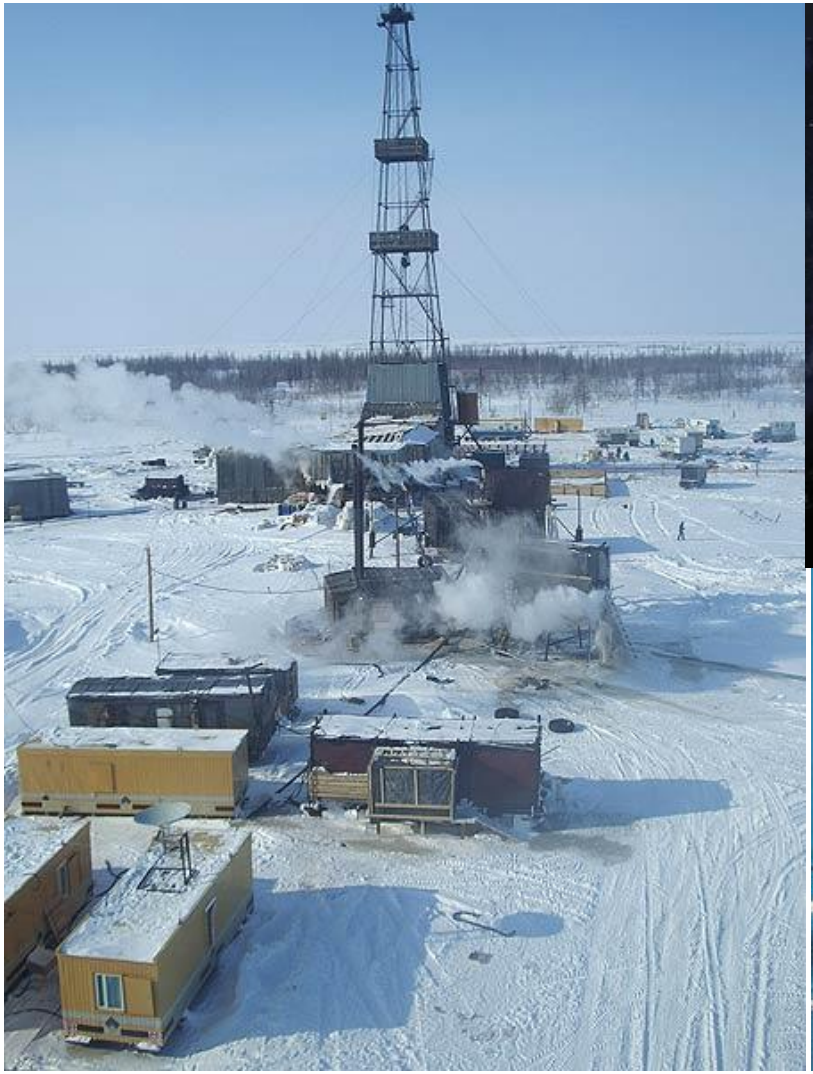
Современные ВОГ российского производства

ТИУС-500

ТИУС-200

Основные области применения:





Спасибо за внимание!