

ВВЕДЕНИЕ

В системах навигации и стабилизации подвижных объектов основными датчиками первичной информации об угловых, а во многих случаях и линейных перемещениях объектов являются гироскопические приборы. Точность гироскопических приборов во многом определяет точность системы навигации и стабилизации в целом. Особенно жесткие требования предъявляют к точности гироскопов современных систем космической, авиационной и морской навигации и стабилизации. На протяжении многих лет функции измерителей угловых скоростей и перемещения выполняли механические гироскопы. С восьмидесятых годов 20 века в связи с развитием лазерной техники широкое распространение получили оптико-электронные измерители угловых скоростей и перемещений, основанные на эффекте Саньяка. Класс данных устройств получил название лазерные гироскопы. Лазерный гироскоп (ЛГ) – навигационный оптический прибор для определения углов поворота (угловой скорости) путем измерения разности частот встречных электромагнитных волн в кольцевом лазере. Принцип работы ЛГ в корне отличается от механического гироскопа вследствие отсутствия быстро вращающегося тела, ось которого фиксирована в инерциальном пространстве. Такие преимущества ЛГ, как устойчивость к перегрузкам, малое время готовности, цифровой характер выдаваемой внешним потребителям информации, малая потребляемая мощность и т. д., способствовали их активному внедрению в авиационно-космическую и ракетную технику. Цикл лабораторных работ направлен на освоение конструкции лазерных гироскопов, методов измерения и оценки их точностных параметров, оценки параметров навигационных приборов на основе лазерных гироскопов.

Лабораторная работа «Изучение конструктивных решений лазерных гироскопов в моноблочном исполнении» предполагает ознакомление студентов с особенностями конструкции лазерного гироскопа на базе изучения теоретической части и действующих образцов и закрепление теоретических

положений лекционного курса на примере изучения конструкции конкретного образца лазерного гиromетра и измерения его важнейших характеристик. В лабораторной работе изучаются принцип действия, структурная схема и основные элементы конструкции на примере лазерных гиromетров в моноблочном исполнении. Изучается современная и перспективная элементная база лазерных гиromетров: наиболее распространенные из возможных конфигураций резонаторов, основные типы оптических призм полного внутреннего отражения, систем накачки и стабилизации. Измеряются геометрикооптические характеристики и параметры выходной характеристики конкретного образца лазерного гиromетра.

Лабораторная работа «Измерение масштабного коэффициента лазерного гиromетра» предполагает изучение студентами принципов действия лазерного гиromетра и экспериментальное исследование его основных характеристик. В лабораторной работе изучается функциональная схема и система предварительной обработки информации лазерного гиromетра с виброподставкой. Проверки масштабного коэффициента, нелинейности масштабного коэффициента и нестабильности масштабного коэффициента лазерного гиromетра проводят на поворотном столе с автоколлиматором АК-1У с использованием персонального компьютера.

Лабораторная работа Измерение полосы захвата лазерного гиromетра предполагает изучение и экспериментальное исследование студентами эффекта синхронизации частот встречных волн и измерение полосы захвата лазерного гиromетра. В работе изучается эффект синхронизации частот встречных волн в лазерном гиromетре, определяющий полосу нечувствительности лазерного гиromетра (или порог захвата), а также нелинейность выходной характеристики лазерного гиromетра. По описанию лабораторной работы изучается лабораторный стенд и порядок проведения эксперимента. Затем проводится измерение зависимости угловой скорости вращения от давления. В результате обработки результатов эксперимента определяется значение угловой скорости, соответствующее границе зоны синхронизации, и ее среднеквадратическое

отклонение, а также коэффициент связи встречных волн и долю энергии, рассеиваемую одним отражателем

Лабораторная работа «Применение лазерного гиromетра в качестве чувствительного элемента гирокомпаса» предполагает ознакомление студентов с принципом определения направления истинного меридиана посредством лазерного гиromетра и экспериментальное определение азимута выбранного направления с помощью статического метода лазерного гирокомпасирования.

Цель лабораторных работ - освоение методов оценки точностных характеристик и измерения основных параметров лазерных гиromетров, получение навыков экспериментальной работы и методов статистической обработки полученных результатов.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЛАЗЕРНЫХ ГИРОМЕТРОВ В МОНОБЛОЧНОМ ИСПОЛНЕНИИ

1.1 Цель работы:

1. Ознакомление студентов с особенностями конструкции лазерного гиromетра на базе изучения теоретической части и действующих образцов;
2. Закрепление теоретических положений лекционного курса на примере изучения конструкции конкретного образца лазерного гиromетра и измерения его важнейших характеристик.

Лабораторная работа включает в себя два этапа:

1. Изучение принципов действия и основных элементов конструкции лазерных гиromетров на примере лазерных гиromетров в моноблочном исполнении;
2. Ознакомление с конструктивными особенностями и измерение геометрических характеристик конкретного образца (по указанию преподавателя)

1.2 Краткая характеристика конструкции лазерных гиromетров

Лазерный гиromетр - оптико-электронный квантовый прибор для определения угловой скорости (углов поворота) объекта в инерциальном пространстве. Он может быть использован в угломерных установках, в системах пространственной стабилизации объектов, а также в составе бесплатформенных инерциальных навигационных систем.

В основе принципа действия лазерного гиromетра лежит эффект Саньяка. В лазерном гиromетре используется кольцевой газовый лазер, в котором генерируются две независимые противоположно направленные (встречные) электромагнитные бегущие волны оптического диапазона. Частоты бегущих волн зависят от скорости вращения кольцевого лазера в инерциальном пространстве. Из разности частот двух встречных волн могут быть непосредственно определены параметры вращения кольцевого лазера, а, следовательно, и лазерного гиromетра.

1.2.1. Структурная схема лазерного гиromетра

Основными составными частями лазерного гиromетра являются:

- кольцевой лазер, содержащий активную газовую среду с системой возбуждения разряда и кольцевой резонатор;
- схему совмещения встречных волн;
- фотоприемник;
- вычислительное устройство.

Для обеспечения нормального функционирования лазерного гиromетра в его состав входят дополнительные системы и элементы. На рис.1 представлена структурная схема лазерного гиromетра с виброподставкой.

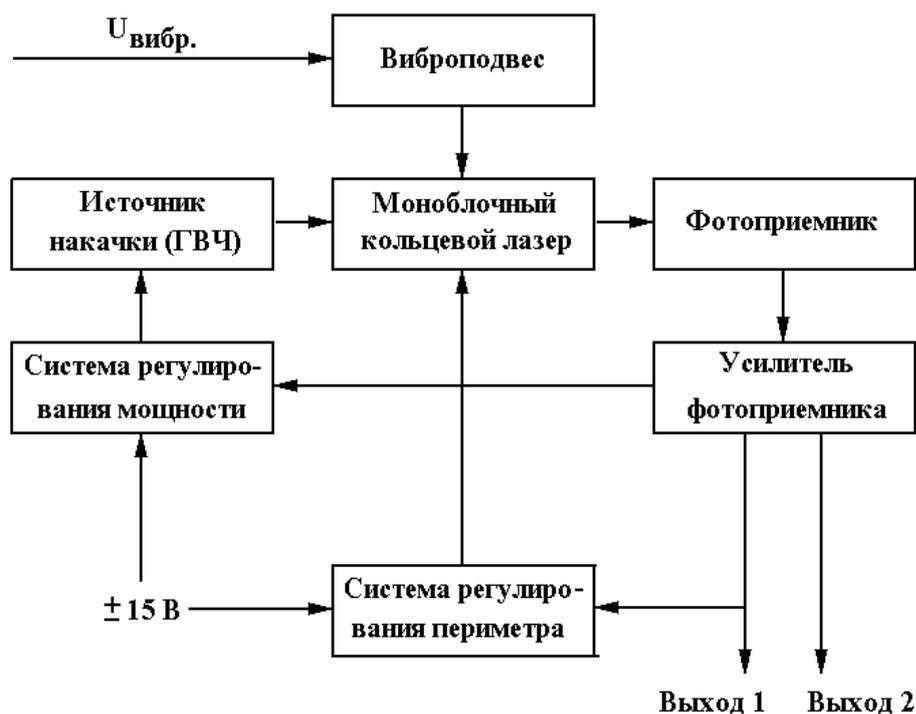


Рис. 1.

Структурная схема призмного лазерного гиromетра с виброподставкой

Лазерный гиromетр измеряет проекцию угловой скорости на ось чувствительности, перпендикулярную плоскости резонатора. В зависимости от количества измеряемых компонент (проекций) вектора угловой скорости

различают одноосные и трехосные лазерные гиromетры. Общий вид одноосного и трехосного лазерных гиromетров представлен на рис. 2.

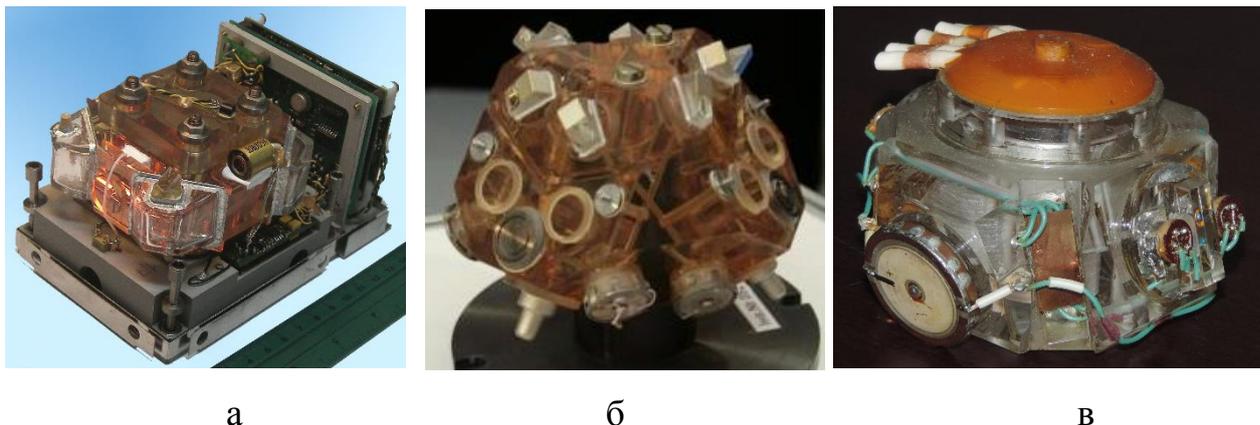


Рис. 2.

Лазерный гиromетр: а) одноосный; б) трехосный ; в) одноосный с неплоским контуром

1.2.2 Описание кольцевого лазера

Основным элементом лазерного гиromетра (ЛГ) является кольцевой лазер (КЛ). КЛ (рис. 2) представляет собой моноблочную конструкцию, что обеспечивает стабильное положение оптических и оптико-электронных элементов ЛГ, а также размещение активной среды.

Несущей конструкцией КЛ является моноблок (рис. 3). Моноблок изготавливается из материала СО-115М (ситалл), который отличается малым коэффициентом температурного расширения. В первых конструкциях КЛ для изготовления моноблока использовался плавленный кварц. В конструкции моноблока предусмотрены каналы для распространения оптического излучения, посадочные места для отражательных элементов (призм и зеркал), резервный объем для запаса газа, пазы для установки электродов системы возбуждения разряда. Для ЛГ, использующих виброподвес, в конструкции моноблока предусмотрены посадочные отверстия для установки виброэлементов (торсионов). Чертежи КЛ с призмными отражающими элементами и моноблока приведены на рис. 4, 5.



а



б

Рис. 3

Моноблок для одноосного ЛГ: а) с плоским резонатором; б) с неплоским резонатором

Кольцевой резонатор (КР) КЛ представляет собой систему отражающих элементов (призм или зеркал), соединенных каналами для распространения излучения. В призмённых отражающих элементах используются дисперсионные призмы полного внутреннего отражения (ПВО). Данные призмы изготовлены из кварцевого стекла марки КУ-1. При монтаже в КР призма устанавливается таким образом, чтобы входная преломляющая грань призмы образовывала угол Брюстера φ_B с осью резонатора. Это позволяет минимизировать поток излучения в направлении встречной волны, а также произвести селекцию продольных мод. В зеркальных отражающих элементах используются зеркала с многослойным диэлектрическим покрытием, отражающим излучение на длине волны генерации He-Ne активной среды (0,6328 мкм).

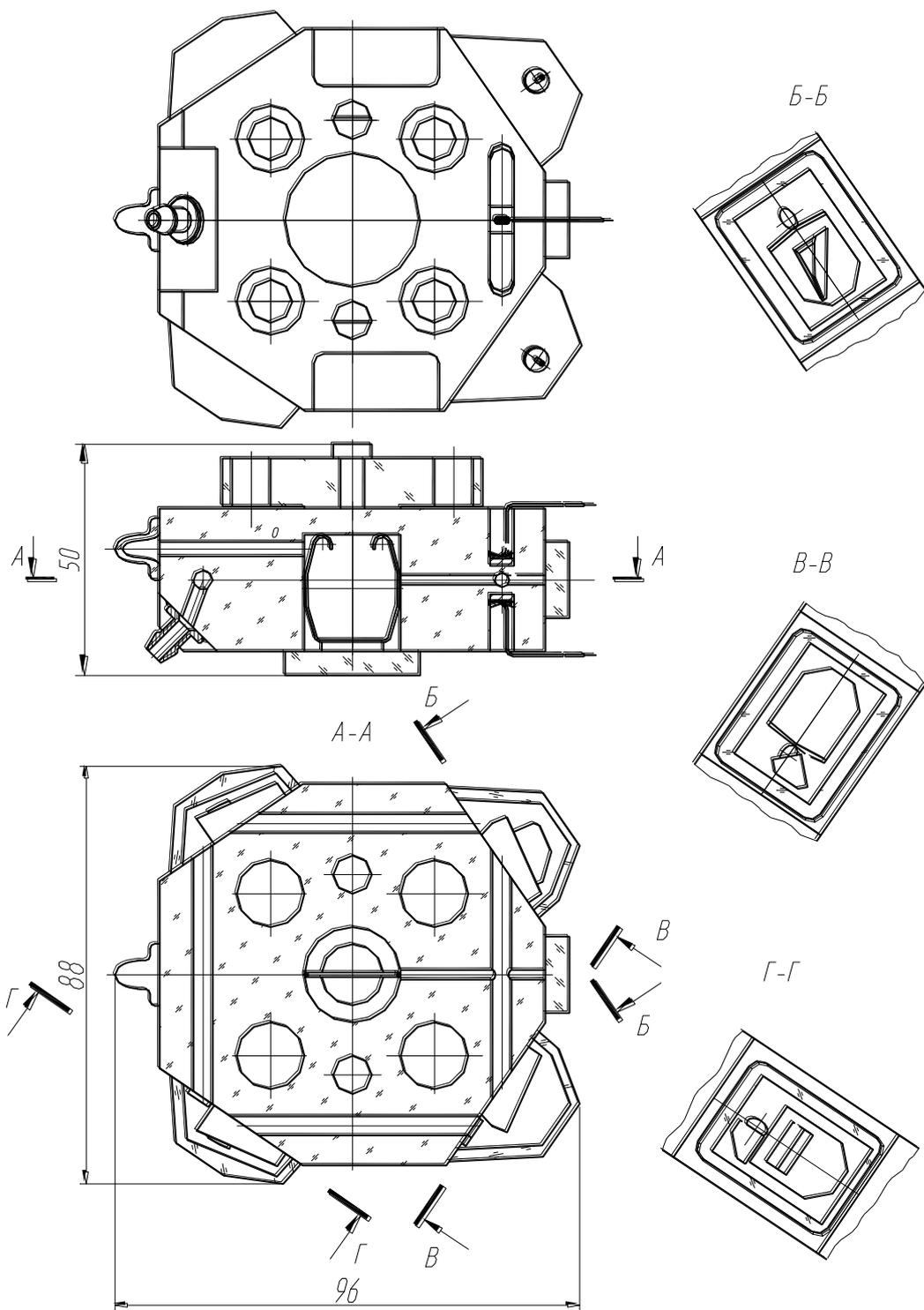


Рис. 4.
 Чертеж КЛ

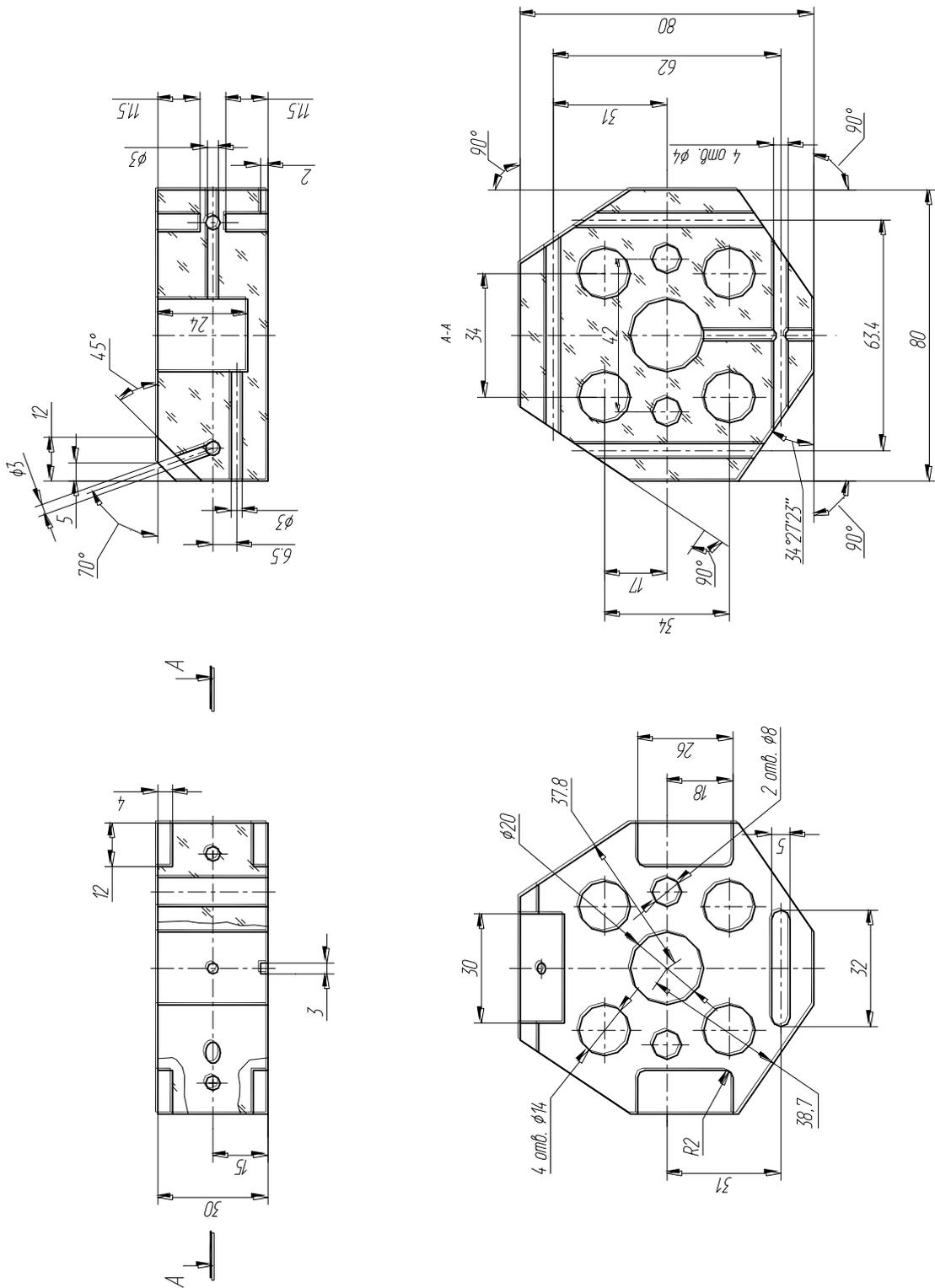
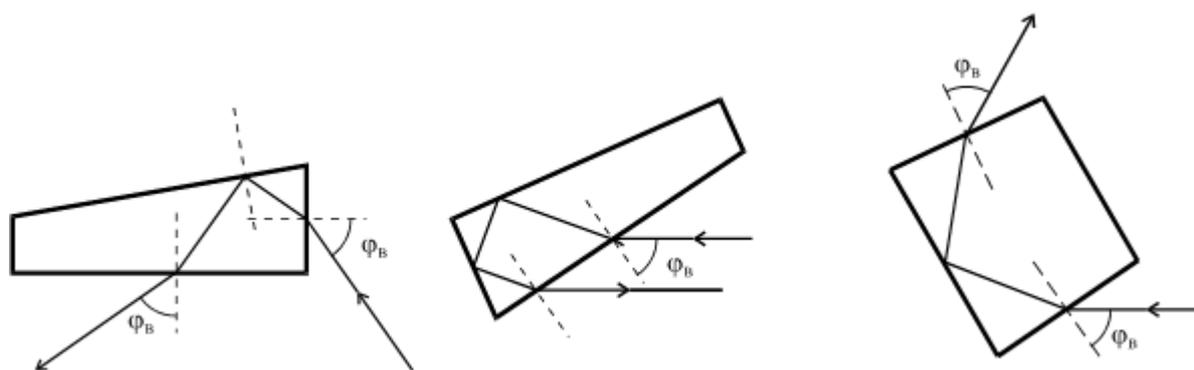


Рис. 5

Моноблок односного ЛГ

Призмы, зеркала и диафрагмы крепятся на моноблок на оптическом контакте. Оптический контакт возникает между двумя поверхностями, имеющими высокую плоскостность и низкую шероховатость. В основе оптического контакта лежат силы межмолекулярного взаимодействия, проявляющиеся при сближении поверхностей на расстояние, существенно меньшее длины волны видимого излучения. Этот вид соединения обеспечивает высокую точность и стабильность взаимного расположения соединяемых деталей, вакуумную прочность контакта и чистоту места соединения.

Основные типы оптических призм полного внутреннего отражения и их внешний вид приведены на рис. 6.



а



б



в

Рис. 6.

Основные типы отражателей КР. Призмы ПВО: а) ход лучей; б) внешний вид; в) зеркало - внешний вид

Приведенные на рис. 6 призмы ПВО обеспечивают поворот оптической оси резонатора на 90° , 180° и 120° соответственно. Во всех случаях угол падения излучения на поверхность призмы равен углу Брюстера, поэтому излучение в кольцевом резонаторе плоско поляризовано, потери на преломляющих поверхностях стремятся к нулю. Некоторые распространенные конфигурации резонаторов с призмными отражателями приведены ниже (рис. 7).

Для формирования циркулярно поляризованных встречных волн используется неплоский КР. Конфигурация резонатора такого типа приведена на рис. 7, б, а внешний вид ЛГ с неплоским контуром приведен на рис. 2,в.

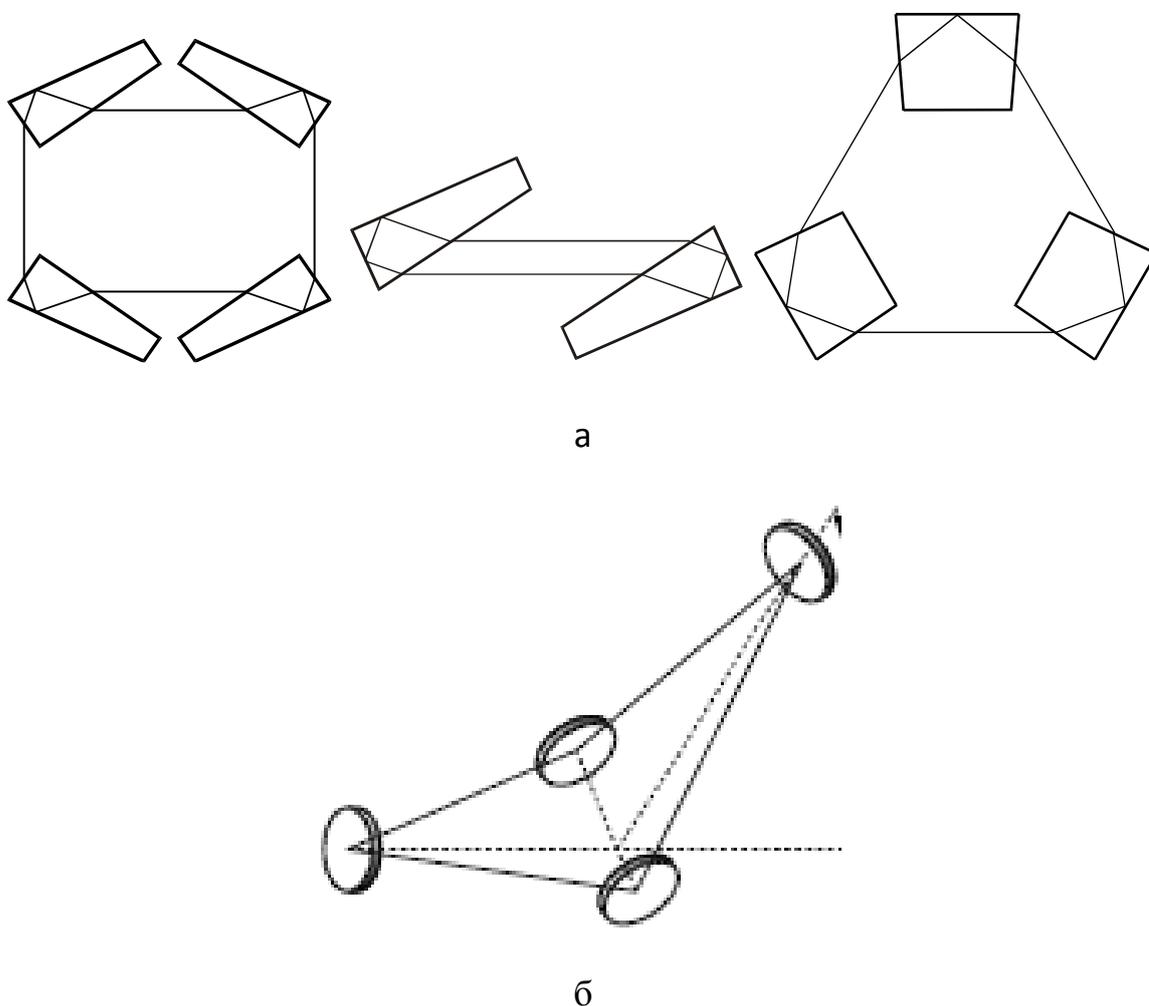


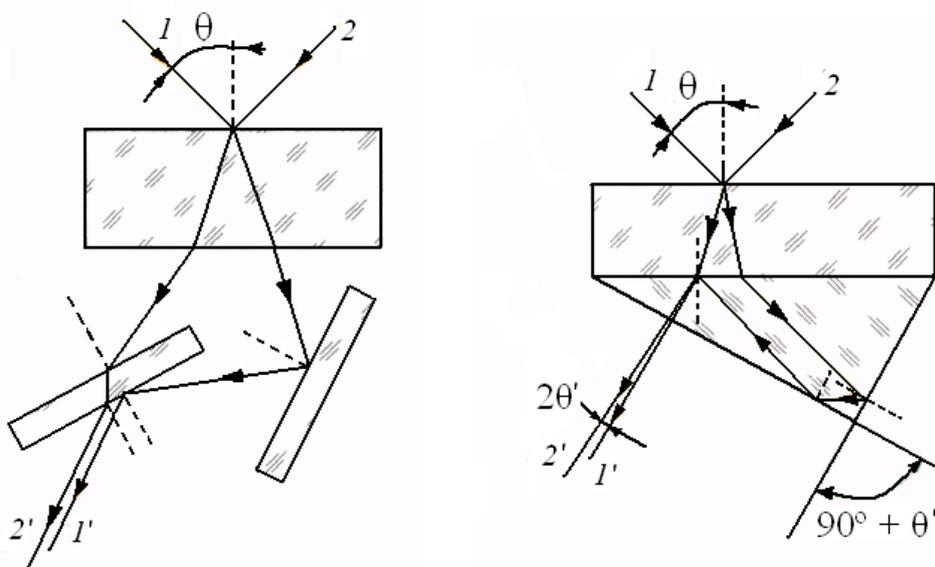
Рис. 7.

Конфигурации резонаторов КЛ: а) плоский контур с призмными отражателями; б) неплоский контур с зеркальными отражателями

1.2.3 Описание схемы совмещения встречных волн и фотоприемника

Для получения информации о параметрах вращения лазерного гиromетра часть энергии встречных волн выводится из кольцевого резонатора. Для этого в состав лазерного гиromетра вводится схема совмещения встречных волн, конструктивно реализуемая в виде системы призм (рис. 8, а) или одной призмы (рис. 8, б), обеспечивающих фотосмещение пучков лазерного излучения, выходящих из кольцевого лазера. Система призм устанавливается за одним из зеркал. При выполнении схема совмещения встречных волн из одной призмы данная призма получила название фотосмесительной призмы. Фотосмесительная призма крепится на один из отражателей. На выходе фотосмесительной призмы пучки встречных волн выходят под малым (единицы угловых минут) углом друг к другу для формирования интерференционной картины. Схемы фотосмесительных призм представлены на рис. 8. Призмные отражатели закрываются защитными колпачками, которые закрепляются пайкой индием. Использование ультразвуковой пайки индием обеспечивает простоту операций по установке и снятию защитных колпачков.

Фотоприемник предназначен для регистрации интерференционной картины. В качестве фотоприемника используются фотодиоды. Для возможности регистрации информации о направлении вращения лазерного гиromетра используются фотодиоды с двумя разнесенными фоточувствительными площадками.



а

б



в

Рис. 8.

Схема совмещения встречных волн КЛ в виде системы призм (а) или одной фотосмесительной призмы (б); внешний вид фотосмесительной призмы (в).

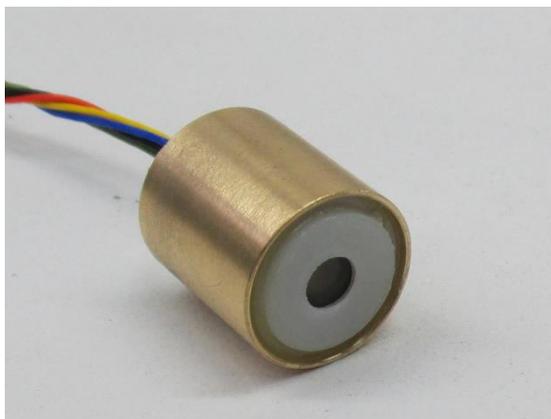


Рис. 9

Внешний вид фотоприемника

1.2.4 Описание системы накачки КЛ

Возбуждение активной гелий-неоновой среды осуществляется с помощью газового разряда. Разряд может быть продольным, когда электроды расположены на концах активного промежутка, и поперечным, когда активный канал расположен между двумя протяженными электродами, параллельными оптической оси.

В настоящее время основными способами возбуждения активной газовой среды являются: разряд постоянного тока (РПТ) и высокочастотный разряд (ВЧР). При РПТ основным источником разряда является электрическое поле высокого напряжения, необходимое для пробоя и поддержания разряда в

межэлектродном промежутке. При ВЧР подобную роль играют поля ВЧ и СВЧ диапазона.

При использовании РПТ в лазерных гиromетрах часто используются двухплечевые схемы разряда, обеспечивающие возбуждение активной среды практически по всему периметру кольцевого резонатора.

В малогабаритных призмных лазерных гиromетрах практически невозможно с помощью РПТ создать в одном плече резонатора разрядный промежуток длиной 30 мм (конструктивно допустимая длина активной среды в малогабаритном призмном лазерном гиromетре). Этот факт имеет две причины: во-первых, на такой малой длине конструктивно невозможно разместить электроды РПТ - катод и два анода, во-вторых, такая длина разряда не обеспечит необходимого усиления для получения генерации.

При использовании ВЧ разряда разряд возбуждается с помощью генератора высокой частоты (ГВЧ), питание которого может осуществляться по отдельному каналу от остальных устройств. Напряжение питания ГВЧ подается через стабилизатор амплитуды выходного сигнала.

Для поджига разряда в состав гиromетра включен высокочастотный трансформатор поджига. После подачи напряжения на ГВЧ на трансформатор поджига должны подаваться импульсы разряда конденсатора $0.15 \text{ мкФ} \pm 10\%$, заряженного напряжением 330 - 350 В. Интервал между подачей импульсов при включении не менее 0.5 с.

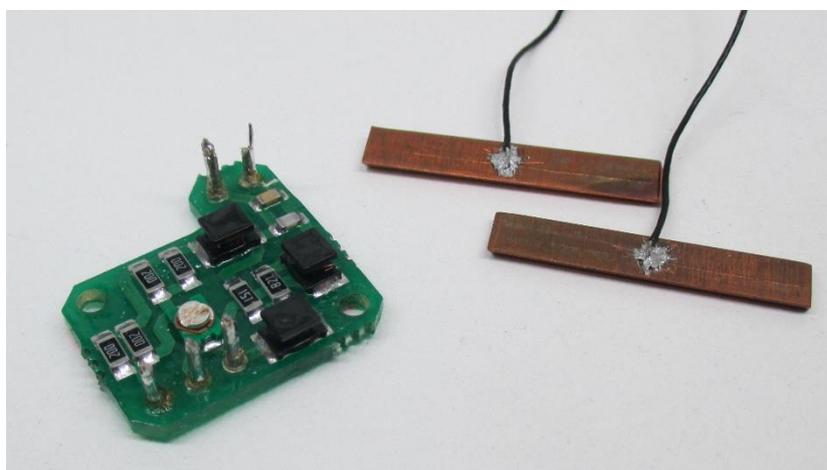


Рис. 10

Система накачки СВЧ-разрядом: электронный блок (а), электроды (б)

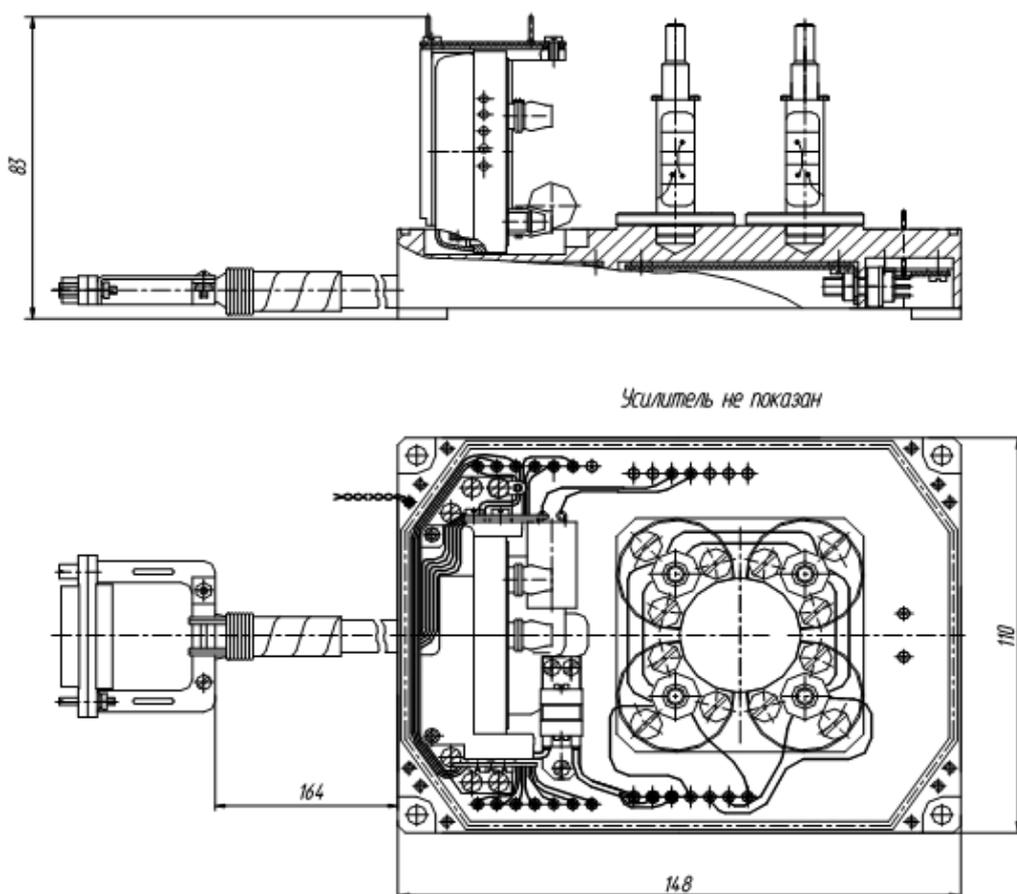
1.2.5 Описание основания лазерного гиromетра

Кроме кольцевого лазера в состав ЛГ входит ряд устройств для обеспечения функционирования и поддержания значений параметров в рабочем диапазоне.

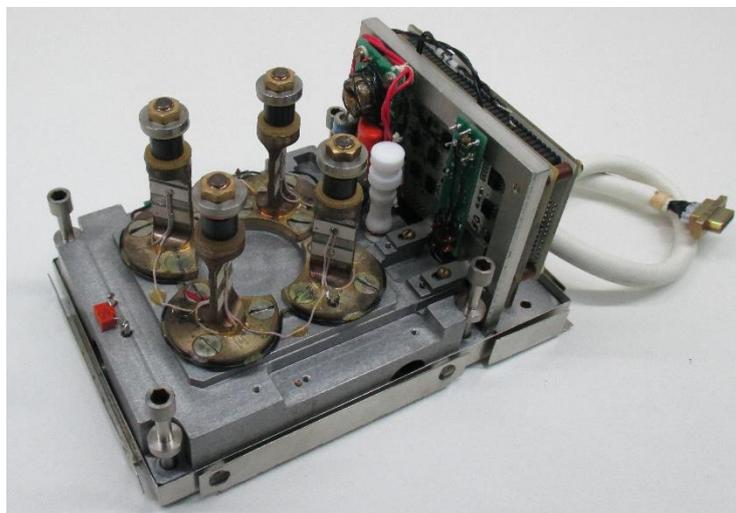
В ЛГ с виброподставкой кольцевой лазер закреплен на основании прибора (рис. 11) через упругие стойки – торсионы. При подаче на вибропривод переменного напряжения с частотой, близкой к резонансной частоте упругого подвеса, кольцевой лазер начинает совершать крутильные колебания в плоскости оптического резонатора. Амплитуда крутильных колебаний выбирается такой, чтобы эффективная частота выходного сигнала составляла 70 - 80 кГц. Для линеаризации выходной характеристики колебания кольцевого лазера должны иметь низкочастотную (порядка частоты крутильных колебаний) случайную составляющую с амплитудой, равной 5-10% амплитуды крутильных колебаний кольцевого лазера (в пересчете на частоту выходного сигнала 3-5 кГц). Это достигается, например, случайным отключением от виброподвеса питающего напряжения.

Для точного определения положения объекта в пространстве необходимо знать изменение положения кольцевого лазера относительно основания прибора (жестко связанного с объектом) вследствие колебательного движения. Для этого в состав прибора включен магнитоэлектрический датчик углового положения кольцевого лазера относительно основания.

В трехстепенных ЛГ обычно используют крутильные колебания кольцевого лазера вокруг оси, проекции которой на направления осей чувствительности отдельных контуров ЛГ одинаковы (например, вертикальное направление см. рис. 2, в).



а



б

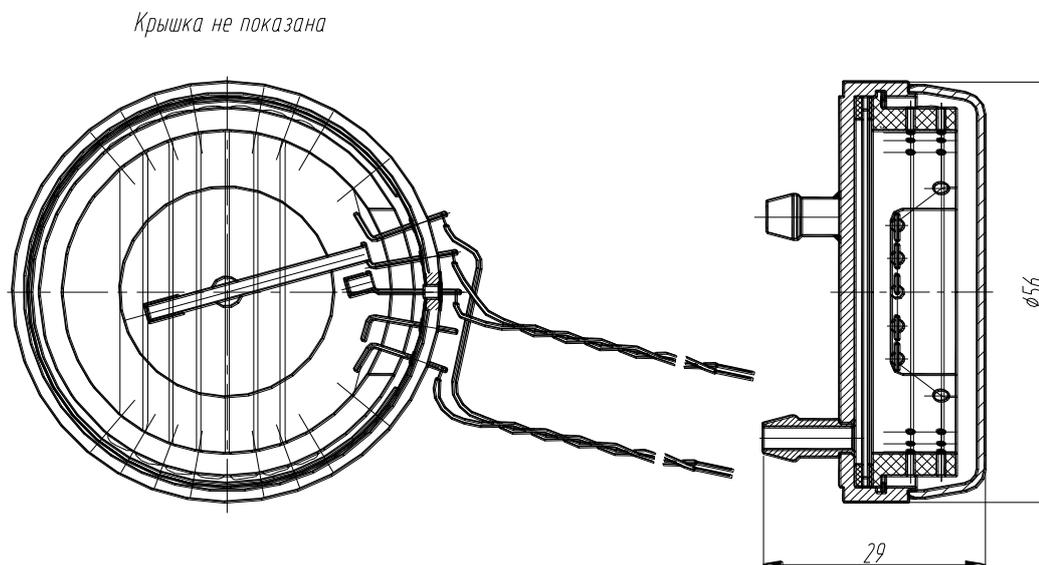
Рис. 11.

Основание: а) Чертеж ; б) внешний вид с установленными торсионами

1.2.6 Описание системы стабилизации периметра

Для подстройки частоты генерации на центр контура усиления гелий-неоновой активной среды в составе ЛГ имеется исполнительное устройство

(нагреватель) (рис. 12), регулирующее периметр резонатора. Периметр регулируется путем изменения плотности воздуха в одном из каналов кольцевого лазера.



а



б



в

Рис. 12.

Нагреватель (а,б) и пьезокерамический элемент (в)

Исполнительное устройство представляет собой герметичный объем, внутри которого находится мембрана с наклеенным на нее пьезокерамическим элементом, а также нихромовая спираль для разогрева воздуха внутри объема. Исполнительное устройство соединено с каналом КЛ с помощью трубопровода.

На пьезокерамический элемент подается переменное напряжение 30 ± 2 В с частотой от 80 до 120 Гц с модулятора. Колебания мембраны вызывают соответствующие колебания длины периметра, что, в свою очередь, приводит к сканированию частоты генерации лазера на частоте порядка 2 МГц. Если периметр КР не настроен на центр контура усиления, то наблюдается синхронное изменение амплитуды выходного сигнала кольцевого лазера. Сигнал обратной связи выделяется путем фазового детектирования амплитудной модуляции выходного сигнала прибора на блоке регулировки периметра. С помощью выделенного сигнала обратной связи изменяется режим нагрева спирали исполнительного устройства стабилизации периметра. Динамический диапазон исполнительного устройства стабилизации периметра часто не позволяет удерживать оптическую длину резонатора КЛ стабильной во всем требуемом диапазоне изменения температуры. Поэтому необходимо, чтобы система стабилизации периметра при достижении напряжения на нагревателе значений 4 ± 1 В или 20 ± 1 В скачкообразно возвращалась к среднему уровню напряжения 12 ± 1 В.

1.2.7 Описание лазерного гиromетра в сборе

Пример чертежа лазерного гиromетра с виброподвесом показан на рис. 13. Поскольку кольцевой лазер имеет высокую чувствительность к внешнему магнитному полю, то в конструкции ЛГ предусмотрена защита от него с помощью магнитных экранов, устанавливаемых на внутренней поверхности защитного кожуха или крышки корпуса.

В лазерный гиromетр для повышения точности включены два термодатчика. В качестве термодатчиков в приборе могут использоваться проволочные терморезисторы. С помощью термодатчиков осуществляется алгоритмическая компенсация в вычислителе сдвига нуля кольцевого лазера. Для такого вида компенсации требуется знание изменения температуры с точностью до 0,5 К. Температурную калибровку следует осуществлять на

специальном стенде, точно воспроизводящем условия подвода и отвода тепла на объекте или в системе, в которой ЛП будет окончательно установлен.

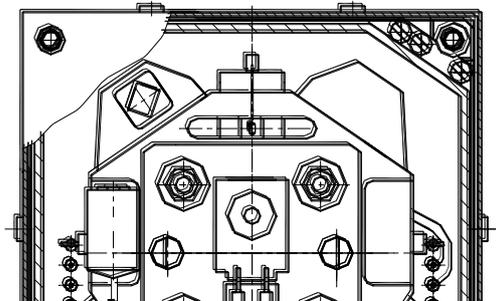
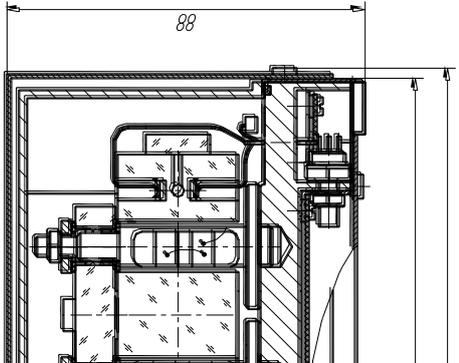
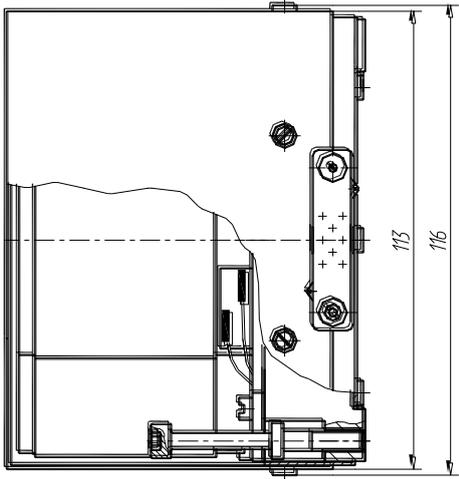


Рис. 13 Лазерный гигрометр

1.3 Практическая часть

Для изучения конструкции конкретного образца лазерного гиromетра (выбор образца по указанию преподавателя) необходимо:

1. Зарисовать резонатор гиromетра с призмными (зеркальными) отражателями, определить его тип;
2. Зарисовать систему сведения двух пучков излучения на фотоприемнике;
3. Зарисовать систему накачки, указать ее тип, основные элементы;
4. Измерить периметр кольцевого резонатора L и определить площадь резонатора S ;
5. Рассчитать масштабный коэффициент лазерного гиromетра по формуле:

$$K = \frac{4 \cdot S}{\lambda \cdot L}$$

и угловую цену одного импульса или разрешение по углу лазерного гиromетра

$$\Theta_{пред} = \left(\frac{2\pi K}{\Delta\varphi} \right)^{-1},$$

где $\Delta\varphi$ – шаг квантования (задается преподавателем)

6. Рассчитать количество импульсов на выходе лазерного гиromетра $N_{2\pi}$ за один целый оборот ($\Theta=2\pi$ рад).

Вопросы для самоконтроля и подготовки к защите лабораторной работы №1

1. Объясните принцип действия лазерного гиromетра на виброподвесе (по функциональной схеме).
2. Назовите основные конструктивные элементы и подсистемы призмного лазерного гиromетра.
3. Поясните конструктивные особенности данного конкретного образца лазерного гиromетра
4. Какими способами можно повысить разрешение по углу лазерного гиromетра?
5. Объясните принцип работы системы стабилизации периметра применительно к выбранному типу лазерного гиromетра?

6. Поясните особенности конструктивной реализации выбранного типа трехстепенного лазерного гиromетра.

7. Поясните основные принципы съема и обработки сигнала биений двух встречных волн с учетом виброподвеса и без учета виброподвеса

2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗМЕРЕНИЕ МАСШТАБНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЛАЗЕРНОГО ГИРОМЕТРА

2.1 Цель работы: Изучение принципов действия лазерного гиromетра и экспериментальное исследование его основных характеристик.

Лабораторная работа включает три этапа:

1. Изучение принципов действия и основных характеристик лазерного гиromетра;

2. Ознакомление с измерительным стендом;

3. Проведение эксперимента, обработка экспериментальных данных, построение выходной характеристики лазерного гиromетра, составление краткого отчета по выполненной работе и защита ее результатов.

2.2 Принцип действия лазерного гиromетра

В лазерном гиromетре информацию о параметрах вращения получают посредством измерения частоты биений встречно (противоположно) направленных волн, т.е. ЛГ является измерителем угловой скорости с частотным выходом.

Частота биений на выходе ЛГ определяется как $\Delta\nu = K\Omega$, где для перехода от значений $\Delta\nu$ к измеряемой угловой скорости Ω необходимо знать масштабный коэффициент ЛГ $K = 4S/\lambda_0 L$, измеряемый в Гц/(°/ч) или Гц/(рад/с).

Рассмотрим функциональную схему лазерного гиromетра с виброподставкой (рис. 14). ЛГ включает кольцевой лазер в торсионном подвесе (см. рис. 2, 11) с возбудителем колебаний и схему формирования измерительной информации. В рабочем режиме кольцевой лазер ЛГ совершает крутильные

колебания относительно основания ЛГ с заданной амплитудой и частотой. Использование знакопеременной подставки приводит к необходимости обязательного реверсивного счета выходных импульсов для ее исключения и выделения полезного входного сигнала. При этом необходимо считать периоды разностной частоты за целое число периодов подставки.

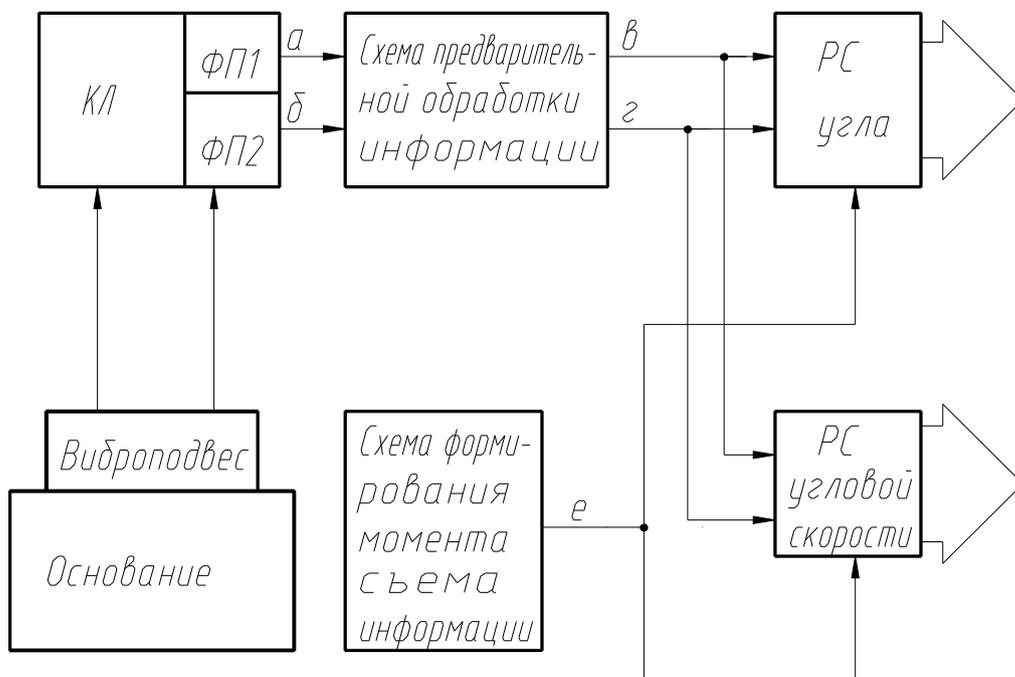


Рис.14.

Функциональная схема лазерного гиromетра с виброподставкой

Система предварительной обработки информации (СПОИ) по сигналам "А" и "В" двух фотоприемников (рис. 14, 15) вырабатывает последовательности счетных импульсов с заданным порогом квантования фазы, распределяет их на "положительную" или "отрицательную" шину и вырабатывает сигнал знака скорости (рис. 15). Схемой формирования момента съема информации по сигналу знака скорости вырабатываются импульсы в моменты переключения знака от отрицательного значения к положительному, формируя измерительный интервал, равный периоду повторения сигнала знака (или нескольким, наперед заданным целым числом таких периодов). Реверсивные счетчики угла и угловой скорости непрерывно подсчитывают импульсы, поступающие на их входы.

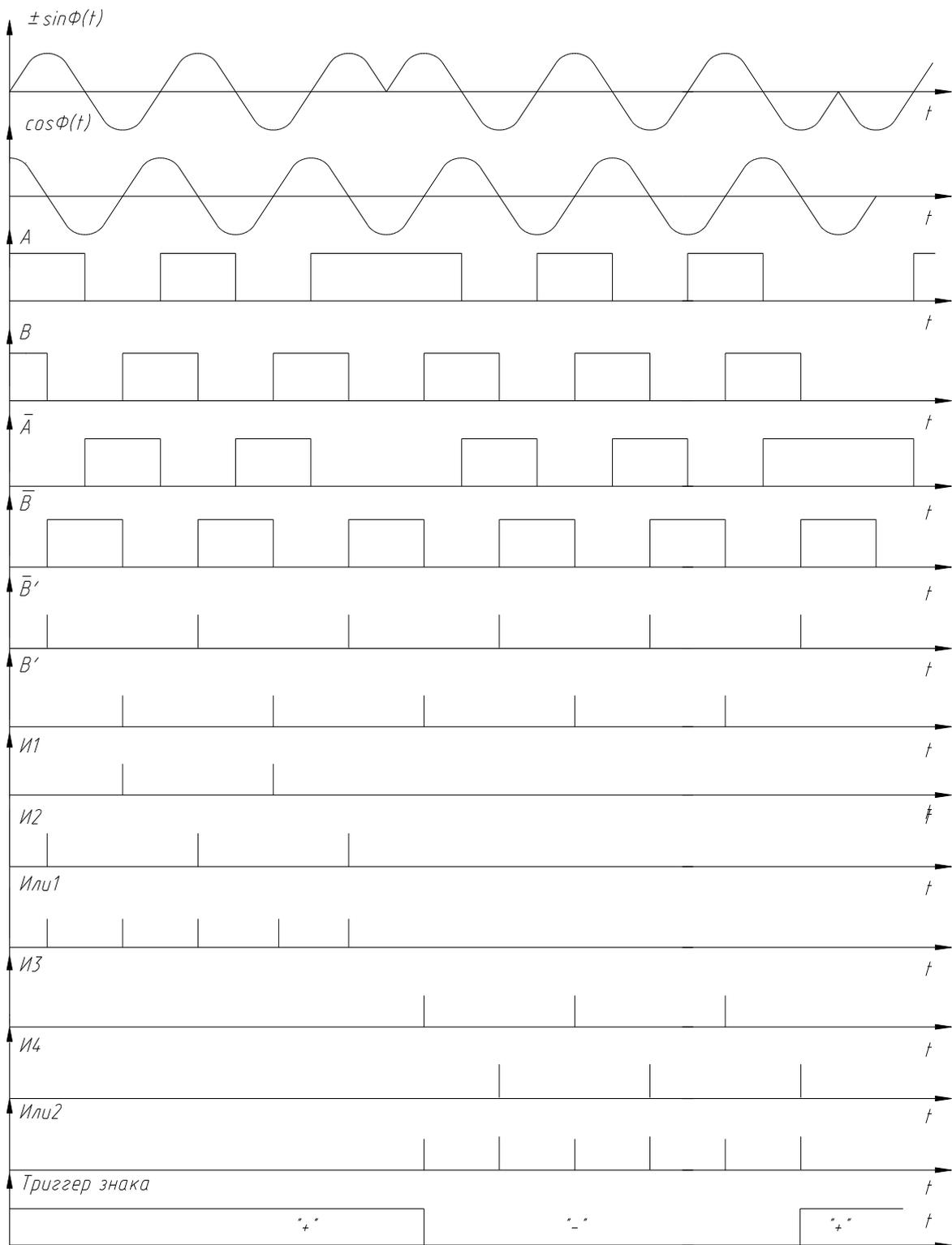


Рис. 15.

Формирование сигнала знака угловой скорости

В конце каждого измерительного интервала информация из счетчиков переписывается в соответствующие регистры, после чего показания счетчиков угловой скорости обнуляются.

Таким образом, в этом счетчике к концу каждого измерительного такта накапливается средняя угловой скорости за такт обработки T . Число импульсов в конце каждого измерительного такта будет пропорционально углу поворота основания ЛГ за полное время измерения $t_{и} = \sum_{i=1}^N T_i$. При отсутствии входного сигнала и симметричной подставке суммирование за период даст ноль. Временные диаграммы работы лазерного гиromетра с подставкой приведены на рис. 16.

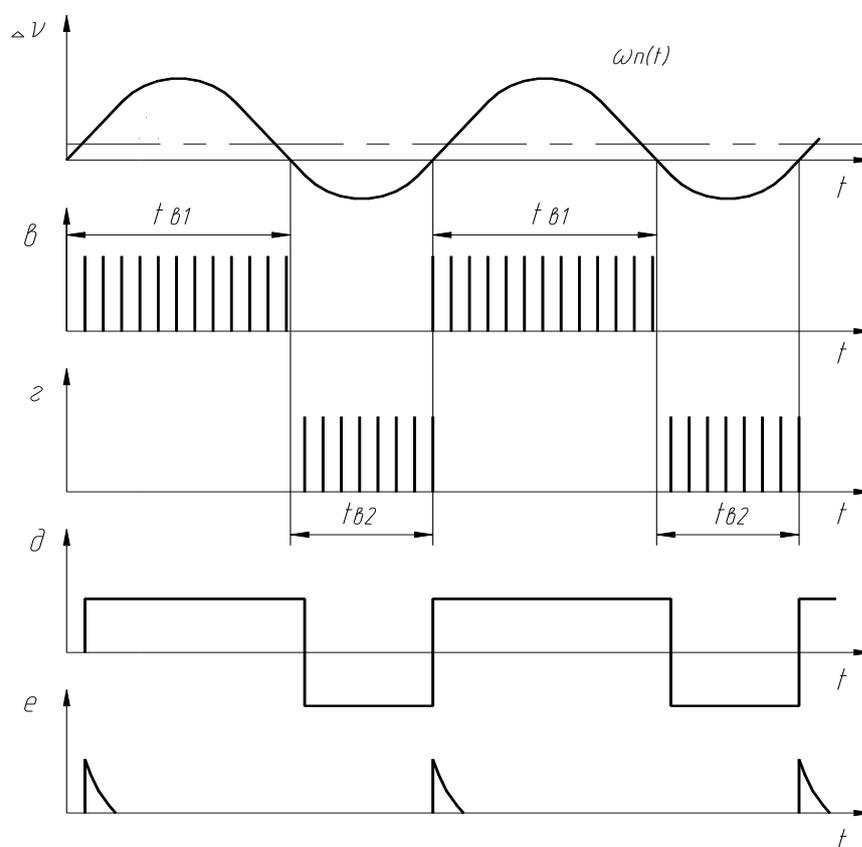


Рис.16.

Временные диаграммы работы лазерного гиromетра с виброподставкой

Масштабный коэффициент ЛГ определяется посредством вращения ЛГ с постоянной скоростью и измерения числа периодов выходного сигнала за один оборот при поочередном вращении в противоположных направлениях:

$$K = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{N_{2\pi}^+ + N_{2\pi}^-}{2}, \quad (1)$$

где $N_{2\pi}^{\pm} = \int_0^{t_{об}} (\Delta\nu)^{\pm} dt$, $t_{об}$ – время оборота, $(\Delta\nu)^{\pm}$ – частота выходного сигнала

ЛГ при вращении в положительном или отрицательном направлении. Точность определения масштабного коэффициента зависит в основном от точности фиксации прохождения угла 2π рад (оборота). При погрешности фиксации $1''$ относительная погрешность измерения масштабного коэффициента составляет $\sim 10^{-6}$.

Современные ЛГ характеризуются относительной нестабильностью масштабного коэффициента на уровне 10^{-4} . С учетом алгоритмической компенсации эта величина может снизиться до уровня $10^{-5} \dots 10^{-6}$. Нелинейность масштабного коэффициента в диапазоне угловых скоростей от минус 50 град/с до плюс 50 град/с составляет величину порядка 10^{-5} .

Для лазера с четырехугольным резонатором с длиной плеча 7 см, ($\lambda = 0,63$ мкм) величина масштабного коэффициента находится в пределах от 1,12 до 1,20 угл.с./имп.

2.3 Схема и описание лабораторной установки

Схема и внешний вид лабораторной установки приведены на рис. 17, 18.

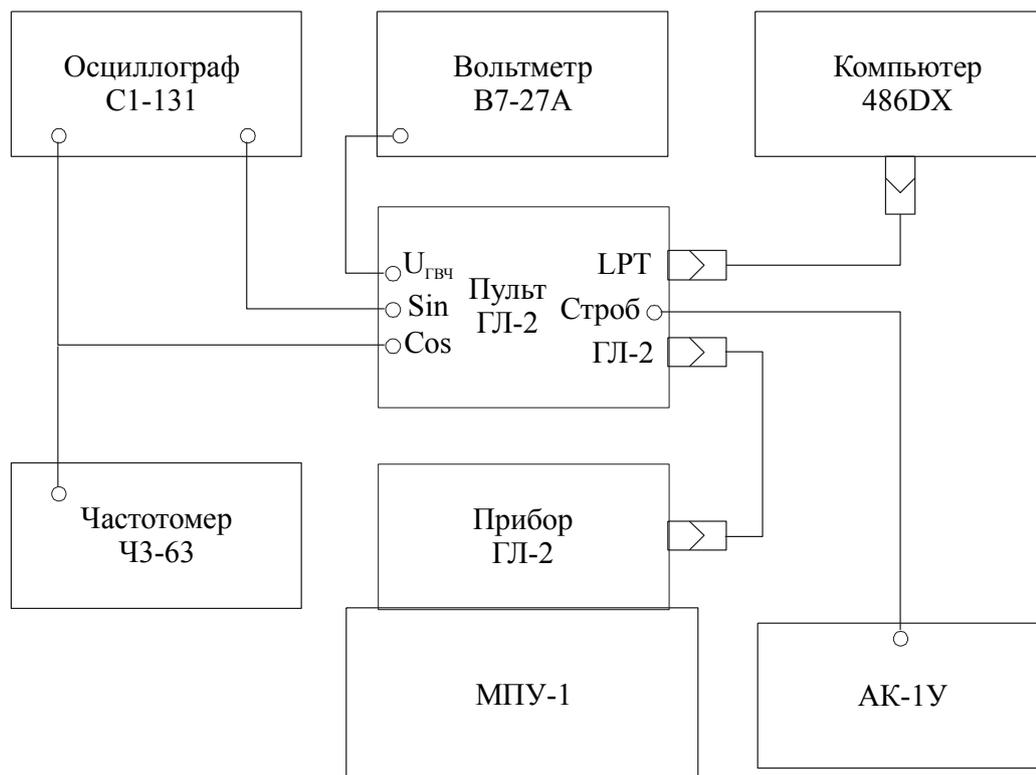


Рис. 17.

Схема соединений для проверки масштабного коэффициента ЛГ



Рис. 18.

Внешний вид лабораторной установки для проверки масштабного коэффициента ЛГ

2.4 Практическая часть

Проверку масштабного коэффициента, нелинейности масштабного коэффициента и неустойчивости масштабного коэффициента ЛГ проводят на столе поворотном МПУ-1 (в дальнейшем – поворотный стол) с автоколлиматором АК-1У с использованием пульта с компьютером РС-АТ/486DX в следующей последовательности:

1) Установите и закрепите прибор кожухом вверх (вертикальное положение оси OZ прибора) на поворотном столе.

2) Соедините прибор и испытательное оборудование в соответствии со схемой соединений, приведенной на рис. 17.

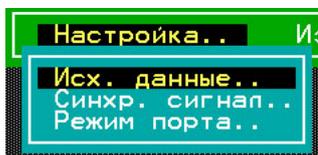
3) Включить ПК

Запустить программу SCALE.EXE.

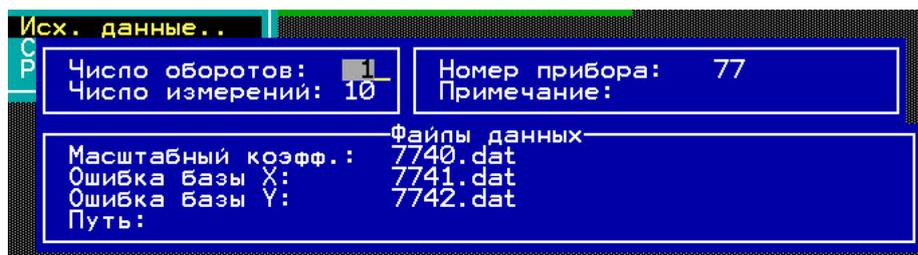
После запуска программы “SCALE.EXE” на дисплее появляется приглашение с названием и номером версии программы, а после нажатия на любую клавишу – главное меню.



В главном меню выбирают п. "Настройка". Появляется субменю "Настройка".

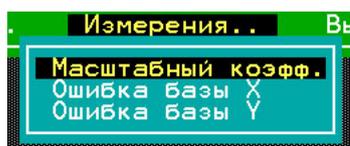


В субменю "Настройка" выбирают п. "Исх. данные". На дисплее появляются диалоговые окна исходных данных.



Перемещают курсор в поле "Номер прибора" и вводят номер испытываемого прибора (не более 6 символов). С помощью клавиши <Tab> переходят в окно "Файлы данных". Нажимают клавишу <Enter> для ввода установленных параметров. При этом диалоговые окна закроются. Для перехода в главное меню нажимают клавишу <Esc>.

Для начала испытания в главном меню выбирают п. "Измерения". Появляется субменю "Измерения".



В появившемся субменю "Измерения" выбирают п. "Масштабный коэфф.". На дисплее появляется окно предварительного режима, в которое с секундным интервалом выводятся параметры изделия.



4) Включите вращение поворотного стола в направлении против часовой стрелки со скоростью ~ 50 град./с. Скорость вращения определяют по времени одного оборота стола. Скорости вращения стола 50 град./с соответствует время одного оборота стола 7,2 с.

5) Занесите в таблицу 1 показания прибора – количество импульсов $N_{2\pi}$, регистрируемых в процессе испытания с помощью программы “SCALE.EXE” после каждого оборота стола.

6) После каждого оборота стола, который фиксируется с помощью автоколлиматора и зеркала, измените направление вращения поворотного стола на противоположное.

7) Повторите пп. 5, 6 20 раз.

Таблица 1

№ измерения	Количество импульсов при повороте по часовой стрелке $N_{2\pi^+}$ (имп.)	Количество импульсов при повороте по часовой стрелке $N_{2\pi^-}$ (имп.)	Масштабный коэффициент К (угл. сек./имп.)
1			
...			
20			

8) По полученным данным рассчитайте значение масштабного коэффициента K_i для каждого опыта по формуле (1) и занесите в таблицу 1.

9) Рассчитайте среднее значение масштабного коэффициента K_{cp} по формуле:

$$K_{cp} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M K_i \quad .$$

10) Рассчитайте среднеквадратическое отклонение масштабного коэффициента по формуле .

$$\sigma_{K_{cp}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (K_{cp} - K_i)^2}{M - 1}}$$

11) Рассчитайте доверительные границы ε случайной погрешности результата измерений по формуле:

$$\varepsilon = t \cdot \sigma_{K_{cp}}$$

где: t - коэффициент Стьюдента, который при доверительной вероятности при доверительной вероятности $P=0,95$ и числе наблюдений $N=20$ равен $t=2,094$.

12) Определите значение масштабного коэффициента с учетом доверительных границ случайной погрешности

$$K = K_{cp} \pm \varepsilon = K_{cp} \pm t \cdot \sigma_{K_{cp}}$$

Вопросы для самоконтроля и подготовки к защите лабораторной работы №2

1. Какова чувствительность эффекта Саньяка и какие пути ее повышения реализованы?
2. Чем определяется масштабный коэффициент лазерного гиromетра?
3. Какова методика измерения масштабного коэффициента в лазерном гиromетре?
4. От чего зависит разрешение по углу лазерного гиromетра и как его улучшить?
5. Каковы причины нестабильности масштабного коэффициента?
6. Почему масштабный коэффициент является основной метрологической характеристикой лазерного гиromетра?
7. Каковы конструктивно-технологические методы повышения стабильности масштабного коэффициента лазерного гиromетра?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛОСЫ ЗАХВАТА ЛАЗЕРНОГО ГИРОМЕТРА

3.1 Цель работы

Экспериментальное исследование эффекта синхронизации частот встречных волн и измерение полосы захвата лазерного гиromетра.

3.2 Краткая характеристика эффекта захвата частот в лазерном гиromетре

Выходная характеристика ЛГ, определяющая зависимость разности частот встречных волн от измеряемой угловой скорости, в случае отсутствия погрешностей в диапазоне измеряемых угловых скоростей имеет вид прямой линии. Любой эффект, который приводит к отклонению характеристики ЛГ от прямой линии на рис. 18, рассматривается как источник погрешностей.

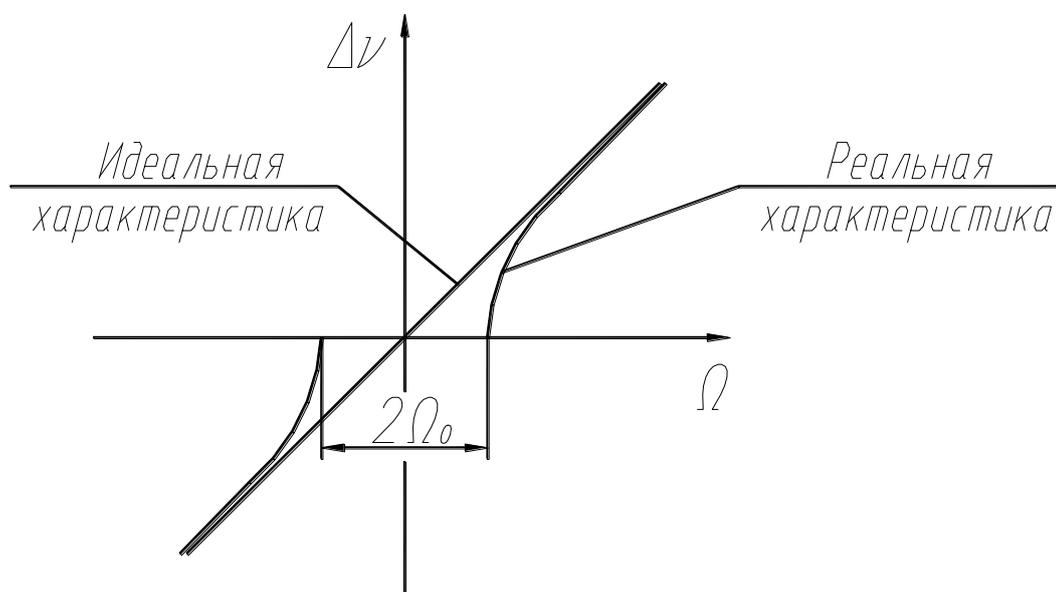


Рис. 18.

Выходная характеристика лазерного гиromетра

В идеальном неподвижном кольцевом резонаторе для встречных волн выполняется условие взаимности. Это означает, что длина оптического пути и потери для противоположно направленных волн одинаковы. В кольцевом резонаторе не существует иных источников возникновения сдвига частот, кроме вращения и магнитного поля.

Существуют три вида погрешностей, которые влияют на работу ЛГ:

- взаимная синхронизация частот встречных волн (захват) – сильное искажение рабочей характеристики вблизи нуля,
- сдвиг нуля – смещение характеристики как единое целое,

– нестабильность и нелинейность масштабного коэффициента.

Рассмотрим взаимную синхронизацию частот.

Синхронизация (захват) частот противоположно направленных (встречных) волн кольцевого лазера обусловлена их взаимной связью. Основным источником этой связи служит взаимное рассеяние электрического поля каждой волны в направлении другой (обратное рассеяние). Причиной энергетической связи является рассеяние света на неоднородностях зеркал или призм, отражение света от пылевых и других инородных частиц, от оптических неоднородностей в самой активной среде. Суть явления состоит в следующем: при уменьшении разности частот встречных волн до некоторого критического значения (порога захвата), которое возрастает пропорционально величине рассеяния и зависит от параметров резонатора, частоты становятся равными, синхронизируются.

Связь между встречными волнами изменяет существенным образом характер зависимости разностной частоты от угловой скорости вращения резонатора. При постоянной скорости вращения кольцевого лазера возможны два варианта связи встречных волн:

- если скорость вращения Ω ниже предельной скорости Ω_0 , то разность частот встречных волн равна нулю (так называемая полоса захвата);

- если скорость вращения Ω выше предельной скорости Ω_0 , но не велика то разность частот встречных волн $\Delta\nu$ определяется выражением

$$\Delta\nu = K\sqrt{\Omega^2 - \Omega_0^2},$$

где K – масштабный коэффициент КЛ.

При $\Omega \gg \Omega_0$ выходная характеристика ЛГ приближается к идеальной (рис. 18).

Величина Ω_0 определяет ширину области взаимной синхронизации частот встречных волн, так называемый, *порог захвата*. Это минимальная угловая скорость, при которой частоты встречных волн различаются. Этому значению соответствует *пороговая* разность частот: $\Delta\nu_0 = K\Omega_0$. Для угловых скоростей, превышающих порог захвата, синхронизация частот отсутствует. Напротив, если угловая скорость вращения кольцевого лазера достаточно мала, волны имеют

одинаковую частоту. Порог захвата зависит от многих факторов. В целом, он растет с увеличением коэффициентов рассеяния отражателей и обратно пропорционален периметру резонатора.

Благодаря синхронизации частот характеристика лазерного гироскопа становится нелинейной. Чем ближе к порогу захвата, тем эта нелинейность больше.

Оценим пороговое (минимальное) значение частоты встречных волн, которое можно измерить с помощью кольцевого лазера, если не предпринимать специальных мер. Пусть вся рассеиваемая мощность на зеркале определяется амплитудным коэффициентом рассеивания – r_s .

Оценить порог чувствительности Ω_0 можно по формуле

$$\Omega_0 = \frac{rc}{\pi LK}, \quad (2)$$

где r – коэффициент связи волн, c – скорость света, L – оптическая длина периметра резонатора. Для кольцевого лазера с квадратным резонатором со стороной 0.1 м, $r = 10^{-6}$, длины волны $\lambda = 0,63$ мкм, пороговая скорость составляет 310 °/час (полоса захвата $2\Omega_0 = 620$ °/час).

В современных лазерных гироскопах главными источниками обратного рассеяния являются зеркала или призмы резонатора. В этом случае, учитывая, что коэффициент связи r непосредственно не может быть измерен, его выражают через реальные параметры КЛ.

Пусть часть мощности r_s^2 одного пучка при отражении от зеркала равномерно рассеивается в телесный угол 4π . Тогда только часть мощности

рассеянного излучения $\frac{r^2}{r_s^2} = \theta_{\text{диф}} / 4\pi$, попадающая в телесный угол $\theta_{\text{диф}}$

распространения противоположного пучка, участвует в связи.

При условии, что угол расходимости лазерного пучка определяется углом дифракции λ / d_n , можно записать

$$\Omega_0 = \frac{c\lambda^2 r_s}{\pi d_n L^2} \quad (3)$$

где d_n – диаметр пучка излучения на зеркале.

Из формулы (3) следует, что уменьшение периметра резонатора приводит к существенному увеличению порога чувствительности по угловой скорости. Порог чувствительности современных лазерных гироскопов, работающих в одномодовом режиме генерации, лежит в диапазоне от нескольких сотен до нескольких десятков градусов в час. Последняя величина является предельной для современного уровня технологии изготовления оптических элементов и одномодового режима работы.

Способы вывода лазерного гироскопа из области захвата

Создание частотной подставки с помощью принудительного вращения

Первый способ борьбы с захватом состоит в смещении рабочей точки на характеристике лазерного гироскопа путем дополнительного вращения с большой постоянной угловой скоростью Ω_0 . Тогда $\Delta\nu = K(\Omega - \Omega_0)$. Однако, оказывается, что стабильность этого вращения должна быть чрезвычайно высокой.

Существенным шагом вперед является применение знакопеременной подставки, так как при этом значительно снижаются требования к стабильности абсолютной величины сдвига нуля.

Широкое распространение на практике получил способ вывода из захвата с помощью крутильных колебаний лазерного гироскопа.

Важными условиями осуществления знакопеременной подставки любого типа является, во-первых, превышение «амплитудой частоты смещения» порога захвата: $\Omega_H > \Omega_0$, и, во-вторых, равенство смещений в противоположные стороны относительно нулевой точки, поскольку любая асимметрия в течение одного периода смещения приводит к появлению кажущегося вращения. Идеальной формой колебаний для знакопеременного смещения являются прямоугольные импульсы с максимально возможной амплитудой. Вместе с тем,

синусоидальную или треугольную подставку легче осуществить, при этом целесообразно использовать метод создания белого шума.

3.3 Задачи и порядок выполнения работы

Лабораторная работа состоит из трех этапов:

1. Изучение эффекта синхронизации частот (захвата частот) в лазерном гиromетре;
2. Изучение экспериментальной установки;
3. Проведение эксперимента и обработка полученных экспериментальных данных.

3.4 Схема и описание лабораторной установки

Структурная схема лабораторного стенда показана на рис 19. Стенд состоит из нескольких узлов:

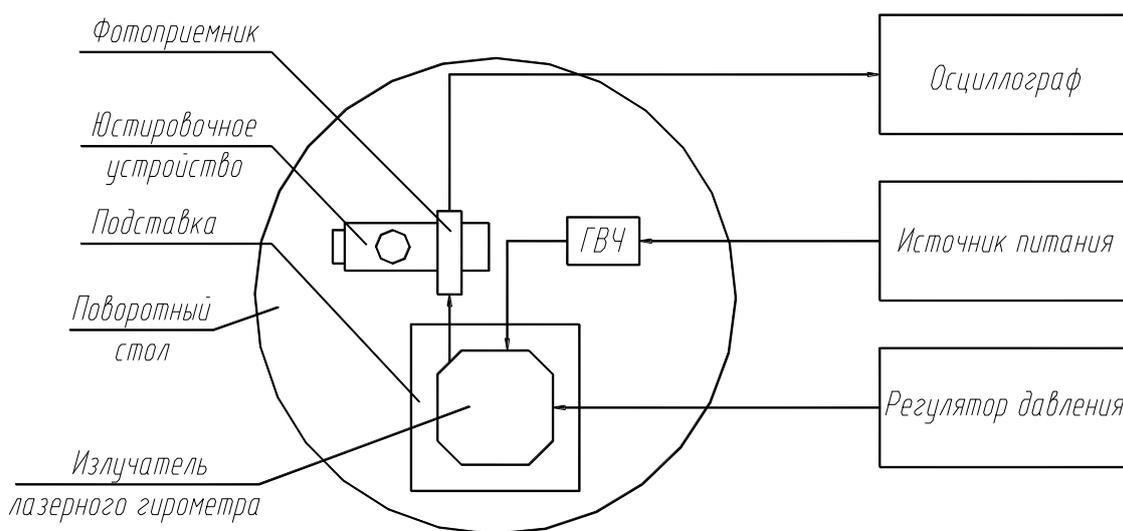


Рис. 19.

Структурная схема лабораторного стенда

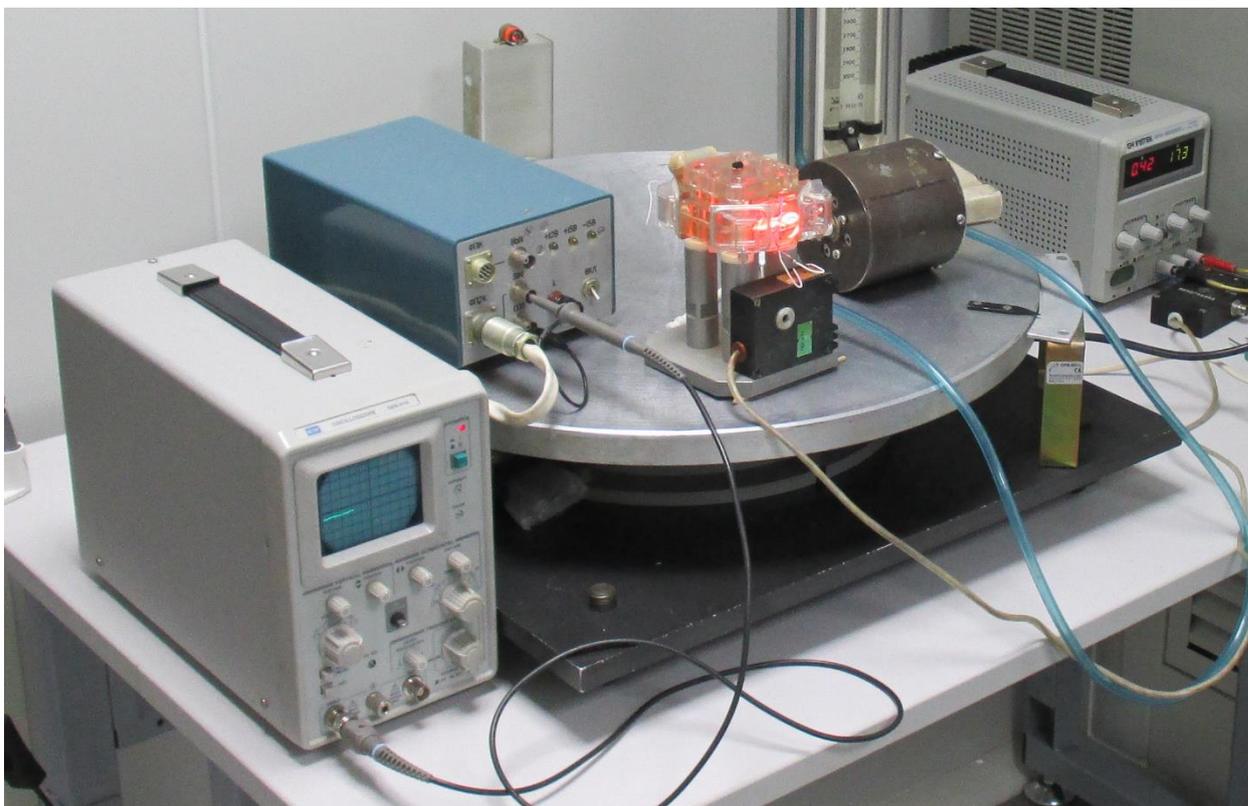


Рис. 20.

Внешний вид лабораторного стенда

3.5 Задачи и порядок проведения исследований

Порядок проведения эксперимента:

1. Закрепите кольцевой лазер лазерного гиromетра (КЛ без основания и виброподвеса) на подставке.

2. Установите подставку на поворотный стол таким образом, чтобы взаимное расположение шкалы поворотного стола и сборочной единицы обеспечивало удобство работы.

3. Подключите к излучателю генератор высокой частоты, а генератор к источнику питания.

4. Установите напряжение питания генератора 15В. С помощью пьезоэлектрической зажигалки инициируйте газовый разряд в канале излучателя, прикоснувшись электродом зажигалки к свинцовому шву между моноблоком и стеклянной трубкой. Уменьшите напряжение питания до 7В и с помощью диэлектрической отвертки подстройте генератор до получения максимальной длины разряда в канале.

5. Измерьте пороговое напряжение $U_{\text{пор}}$, для чего плавно изменяйте напряжение источника питания генератора до возникновения или исчезновения генерации. Установите напряжение питания генератора $U_{\text{раб}}=10\text{В}$.

6. Подсоедините трубку регулятора давления к штуцеру на излучателе.

7. Расположите фотоприемник и излучатель так, чтобы излучение попадало на чувствительную площадку фотоприемника.

8. Подключите выход фотоприемника к входному гнезду осциллографа. Включите осциллограф. Установите длительность развертки 10 мс, "В/ дел" - 1.

9. Подключите фотоприемник к источнику питания и установите напряжение 24В.

10. Ослабьте стопор поворотного стола и вращайте верхнюю плиту с небольшой скоростью. При этом на осциллографе должен наблюдаться сигнал синусоидальной формы, либо сигнал с формой, близкой к синусоидальной. Произведите дополнительную юстировку фотоприемника с помощью микровинтов, контролируя при этом сигнал на осциллографе и добиваясь максимальной амплитуды сигнала.

11. Равномерно вращайте верхнюю плиту поворотного стола, добиваясь наличия на экране осциллографа 2...5 импульсов в течение 15 секунд. Зафиксируйте число делений шкалы, на которое переместилась стрелка поворотного стола. Отметьте в таблице наличие одномодового или многомодового сигнала. Об одномодовости сигнала можно судить по отсутствию модуляции синусоидального сигнала при увеличении скорости вращения стола.

12. Измените давление с помощью регулятора давления.

13. Повторите п.11,12 20 раз.

14. Выключите осциллограф, фотоприемник, источник питания.

15. Измерьте расстояние от центра поворотного стола до конца стрелки.

Обработка результатов

1. Пересчитайте деления шкалы в угол поворота стола для каждого измерения. Рассчитайте угловую скорость вращения стола для каждого

измерения. Занесите угловую скорость в таблицу 2. Принятая для таких измерений размерность угловой скорости – градусы в час: [°/час].

2. Постройте график угловой скорости в зависимости от давления. Отметьте на графике зоны одомодовой генерации.

3. Выпишите угловые скорости, соответствующие центрам зон одомодовой генерации.

4. Найдите для выписанных значений среднее значение угловой скорости, соответствующее границе зоны синхронизации частот.

5. Найдите для выписанных значений среднеквадратическое отклонение угловой скорости, соответствующей границе зоны синхронизации частот.

6. Оцените коэффициент связи встречных волн.

7. Оцените долю мощности, рассеиваемую одним отражателем $r_s^2 / 4$.

8. Сделайте выводы по работе.

Таблица 2

N	Давление, мм рт. ст.	Число делений шкалы поворотного стола	Угол поворота, град.	Угловая скорость, град/час	Режим генерации
1					
...					
20					

Вопросы для самоконтроля и подготовки к защите лабораторной работы

№3

1. Объясните сущность эффекта синхронизации частот.
2. В чем заключается основная идея рассматриваемого эксперимента?
3. Поясните, чем определяется коэффициент связи встречных волн в данном КЛ.
4. Объясните основные методы борьбы с явлением синхронизации волн

5. Рассчитайте порог чувствительности для конкретного лазерного гиromетра (по данным преподавателя).
6. В чем отличие выходной характеристики лазерного гиromетра с виброподставкой и без нее?
7. Объясните причины введения ошумления в виброподвес. Какова величина ошумления? Какими конструктивными методами оно вводится?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ГИРОМЕТРА В КАЧЕСТВЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ГИРОКОМПАСА

4.1 Цель работы:

1. Ознакомление с принципом определения направления истинного меридиана с помощью лазерного гиromетра.
2. Определение азимута выбранного направления с помощью статического метода лазерного гиromетрирования с последующей статистической обработкой полученных результатов.

4.2 Теоретическая часть

Гиromетрирование – это прибор, позволяющий определить азимут выбранного направления. В зависимости от требуемой точности и доступного времени измерения гиromетрирования различаются по своему исполнению.

В основу определения направления истинного меридиана (ИМ) при помощи ЛГ положен способ, известный под названием гиromетрирования. Его основу составляет ориентирование инерциальной системы посредством определения двух физических величин в данной точке земной поверхности: ускорения силы тяжести g и угловой скорости суточного вращения Земли Ω_z . При условии неколлинеарности этих векторов через них можно провести единственную плоскость. Эта плоскость и является плоскостью ИМ (рис.21).

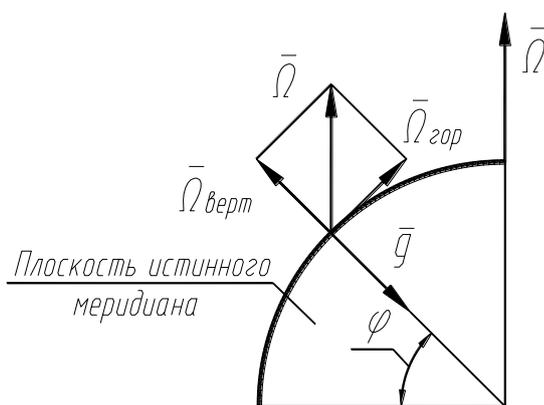


Рис. 21.

Плоскость истинного меридиана

Для определения направления ИМ на поверхности Земли при помощи ЛГ используют зависимость частоты биений (а, следовательно, и количества регистрируемых импульсов за время измерения) на его выходе от ориентации оси чувствительности ЛГ относительно вектора измеряемой угловой скорости вращения Земли Ω_z (рис. 22).

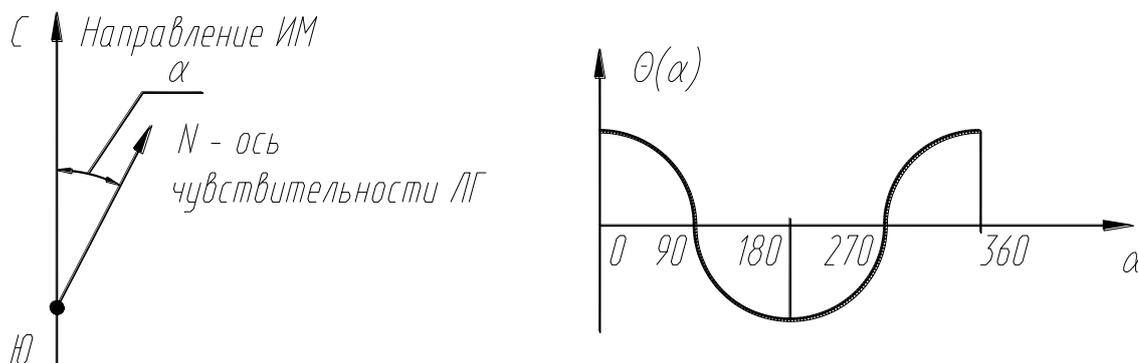


Рис. 22.

Геометрия измерений и азимутальная характеристика ЛГ.

В качестве модели азимутальной характеристики ЛГ можно принять следующее выражение:

$$N(t) = K_1 \cdot \theta(t) + K_0,$$

где $N(t)$ - количество регистрируемых импульсов, соответствующее повороту на угол $\theta(t)$ за время измерения t ;

K_1 - масштабный коэффициент (МК) ЛГ, измеряемый в $\frac{\text{имп.}}{\text{рад.}}$,

K_0 - сдвиг нуля ЛГ, определяемый количеством импульсов, соответствующим времени измерения t .

Поскольку в случае измерения горизонтальной составляющей скорости вращения Земли выражение для $\theta(t)$ имеет следующую зависимость:

$$\theta(t) = \Omega \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\alpha) \cdot t,$$

где φ и α - широта места измерения и азимут выбранного направления соответственно, то выходная характеристика ЛГ принимает вид:

$$N(t) = K_1 \cdot \Omega \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\alpha) \cdot t + K_0.$$

Откуда при известных параметрах K_1 , K_0 и φ можно получить алгоритм вычисления азимута выбранного направления:

$$\alpha = \arccos \frac{N(t) - K_0}{K_1 \cdot \Omega \cdot \cos(\varphi) \cdot t}.$$

Так как МК и сдвиг нуля ЛГ имеют погрешность от запуска к запуску и другую долговременную нестабильность, то данный способ определения азимута не может обеспечить высокой точности измерения и предпочтителен, если необходимо получить результат с минимальными затратами по времени, например в случае предварительного грубого ориентирования.

Однако, имеется возможность определения азимута выбранного направления при неизвестных точностных параметрах ЛГ и широты места измерения. Для этого необходимо произвести несколько измерений (минимум три), разворачивая ось чувствительности ЛГ на фиксированный угол. Анализ погрешностей показывает, что оптимальным является проведение измерения с разворотом на 90° и 180° относительно исходного положения при предварительной грубой выставке оси чувствительности ЛГ в направлении севера (предварительная выставка может осуществляться визуально, с помощью магнитного компаса или других средств). При этом делается допущение, что кратковременная нестабильность параметров ЛГ оказывает незначительное воздействие на точность измерения. Для определения азимута с помощью данного алгоритма необходимо решить систему трех уравнений относительно α :

$$N_\alpha = K_1 \cdot \Omega \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha \cdot t + K_0$$

$$N_{\alpha+90^\circ} = K_1 \cdot \Omega \cdot \cos \varphi \cdot \cos(\alpha + 90^\circ) \cdot t + K_0$$

$$N_{\alpha+180^\circ} = K_1 \cdot \Omega \cdot \cos \varphi \cdot \cos(\alpha + 180^\circ) \cdot t + K_0$$

Решение данной системы дает выражение, которое называется основным уравнением статического лазерного гирокомпаса:

$$\alpha = \arctg \left(-\frac{N'_{\alpha+90^\circ}}{N'_\alpha} \right),$$

где N'_α , $N'_{\alpha+90^\circ}$ – количество регистрируемых импульсов, соответствующее повороту на угол за время измерения с учетом сдвига нуля ЛГ.

Данный алгоритм предпочтителен, если необходимо получить точный результат при относительно большом времени измерения.

Кроме указанных выше причин, на погрешность определения азимута оказывает влияние точность ЛГ и точность горизонтирования оси чувствительности прибора:

$$\delta\alpha \approx \frac{\delta\Omega_{\text{ЛГ}}}{\Omega \cdot \cos \varphi} + \sigma_\Gamma \cdot \text{tg} \varphi,$$

где $\delta\Omega_{\text{ЛГ}}$ - погрешность ЛГ, σ_Γ - точность горизонтирования.

На практике горизонтирование может быть осуществлено только с конечной точностью, что, как видно из формулы, напрямую влияет на точность определения азимута. Поэтому начальное горизонтирование оси чувствительности ЛГ является важным этапом в процессе определения азимута выбранного направления.

4.3 Схема и описание лабораторной установки

Схема испытательного стенда приведена на рис. 23. Внешний вид стенда и пульта приведен на рис. 24.

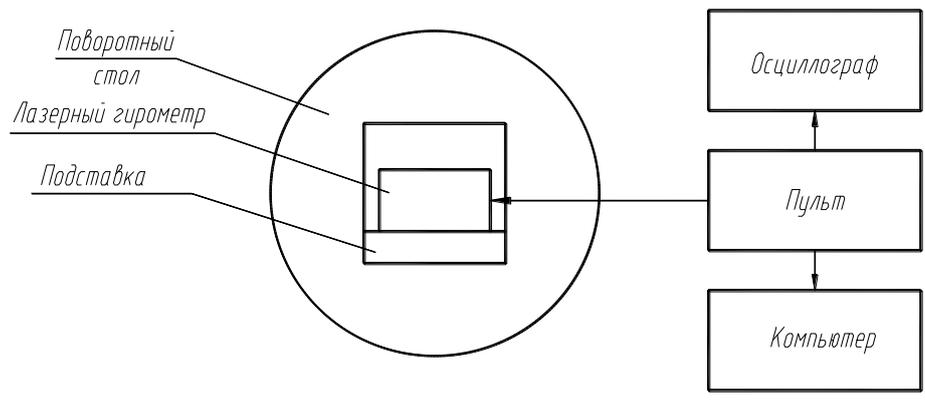


Рис. 23.

Схема испытательного стенда



Рис. 24.

Внешний вид испытательного стенда и пульта

4.4 Практическая часть

1. Собрать стенд в соответствии с рис. 23 (выполняется преподавателем).
2. Включить составные части стенда
3. С помощью уровня выставить поворотный стол горизонтально.
4. Установить поворотный стол в положение 1
5. Запустить на компьютере программу LGTEST.

После запуска программы “LGTEST.EXE” на дисплее компьютера появляется диалоговое окно ввода номера прибора:

Instrument serial

6. Осуществить предварительные установки программы.

Ввод номера испытываемого прибора производится с помощью цифровой клавиатуры (произвольная комбинация цифр) и завершается нажатием клавиши <ENTER>.

Instrument serial
XXX

После ввода номера испытываемого прибора на дисплее компьютера появляется диалоговое окно выбора источника прерываний

Question
Select Work Mode
Meander Dither Sensor

Выбор источника прерываний (Meander) осуществляется с помощью клавиш <←> и <→> и завершается нажатием клавиши <ENTER>.

После выбора источника прерываний на дисплее компьютера появляется диалоговое окно ввода времени накопления показаний (сек.).

Sampling Time
1

Ввод времени накопления показаний (ввести 100) производится с помощью цифровой клавиатуры и завершается нажатием клавиши <ENTER>.

После ввода времени накопления показаний программа переходит в режим измерения частоты расщепления и частоты крутильных колебаний прибора. На дисплее компьютера появляется информационное окно

Check up gyro parameters	
102.5 kHz	362 Hz
Press <INS> to begin measurements	

7. Перейти в режим накопления показаний

Переход в режим накопления показаний осуществляется нажатием клавиши <INS>.

В процессе испытания на экране дисплея индицируются и регистрируются в памяти компьютера:

- показания прибора $Angle_i$ (импульсы);
- рабочее напряжение $U_{HFO\ i}$ (В);
- напряжение на нагревателе $U_{WAR\ i}$ (В);

8. Завершить работу программы (окончание испытания) нажатием клавиши <Esc> через 1 мин.

После этого на дисплее компьютера появляется диалоговое окно:

End of work	
Are you shure?	
Yes	No

Для окончания испытания выбрать <Yes> с помощью клавиш <←> и <→> и нажать клавишу <Enter>.

После окончания испытания на дисплее компьютера появляется диалоговое окно сохранения результатов испытания:

Data not Saved	
Do You want save it?	
Yes	No

Для сохранения данных выбрать <Yes> с помощью клавиш <←> и <→> и нажать клавишу <Enter>. При выборе <No> результаты испытания не сохраняются.

9. Записать в таблицу 3 результаты измерений
10. Повернуть поворотный стол на 90° относительно исходного положения.
Повторить пункты 5 ... 10.
11. Повернуть поворотный стол на 180° относительно исходного положения.
Повторить пункты 5 ... 10.
12. Пункты 5 ... 11 повторить не менее четырех раз.
13. Результаты занести в таблицу.
14. Выполнить обработку результатов в соответствии с пояснениями к таблице 3.

Таблица 3.

№	N_α имп.	$N_{\alpha+90^\circ}$ имп.	$N_{\alpha+180^\circ}$ имп.	K_0 имп.	N'_α имп.	$N'_{\alpha+90^\circ}$ имп.	α градус	$\alpha_{\text{среднее}}$ градус	$\alpha - \alpha_{\text{среднее}}$ градус	σ угл. мин.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										
2										
3										
4										

N_i – количество регистрируемых импульсов, соответствующее повороту на угол за время измерения, при определенной ориентации оси чувствительности ЛГ относительно направления истинного меридиана.

$K_0 = \frac{N_\alpha + N_{\alpha+180^\circ}}{2}$ – сдвиг нуля ЛГ, определяемый количеством импульсов, соответствующим времени измерения.

$N'_i = N_i - K_0$ – количество регистрируемых импульсов, соответствующее повороту на угол время измерения, при определенной ориентации оси

чувствительности ЛГ относительно направления истинного меридиана, с учетом сдвига нуля ЛГ.

$\alpha = \operatorname{arctg}\left(-\frac{N'_{\alpha+90^\circ}}{N'_\alpha}\right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$ – азимут исходного направления, вычисленный в градусах.

$\alpha_{\text{среднее}} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n}$ – среднеарифметическое значение азимута исходного направления, полученное для n измерений и вычисленное в градусах.

$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_{\text{среднее}})^2}{n-1}} \cdot 60'$ – среднеквадратическое отклонение значения азимута исходного направления, полученное для n измерений и вычисленное в угловых минутах.

Полученный результат представить в виде: $\alpha = \alpha_{\text{среднее}} \pm 3\sigma$

Вопросы для самоконтроля и подготовки к защите лабораторной работы

№4

1. Объясните сущность методов гирокомпасирования с использованием лазерных гироскопов
2. В чем заключаются основные идеи рассматриваемого эксперимента?
3. Поясните, чем ограничивается определение азимута посредством лазерного гироскопа?
4. Каковы причины использования измерений при различной ориентации лазерного гироскопа?
5. Объясните причины проведения длительных измерений в процессе определения направления истинного меридиана.
6. Существуют ли ограничения на измерения направления азимута по поверхности Земного шара и чем они вызваны?
7. Чем вызвана необходимость горизонтирования лазерного гироскопа при измерении направления истинного меридиана?

Общие правила безопасности при выполнении лабораторных работ.

Перед началом работы в лаборатории необходимо:

- ознакомиться с инструкциями по эксплуатации элементов, входящих в состав стендов;
- проверить наличие заземления стенда и его элементов, заземление должно быть выполнено в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» и ГОСТ 12.2.007.0-75;
- удостовериться, что на рабочем месте отсутствуют посторонние предметы, мешающие работе на стенде;
- проверить отсутствие на элементах стенда механических повреждений;
- проверить исправность кабелей (шнуров), штепсельных вилок.

При работе на стенде необходимо соблюдать все указания по безопасности, изложенные в руководствах по эксплуатации элементов, входящих в состав установки.

Меры безопасности при работе на установках и стендах:

- По степени защиты человека от поражений электрическим током электрооборудование относится к классу 1 по ГОСТ 12.2.007.0-75.
- Запрещается монтаж, обслуживание и демонтаж оборудования под напряжением.
- Запрещается эксплуатация стендов без надежного заземления.
- Запрещается проводить техническое обслуживание и ремонт без отключения электропитания и вывешивания специальной надписи «Не включать, работают люди».
- Ремонт на ходу **КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ**.
- Необходимо периодически производить осмотр контрольно-измерительных приборов и измерительных устройств.

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ В ЛАБОРАТОРИИ

При выполнении лабораторных работ студенты обязаны строго придерживаться правил техники безопасности:

1. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомиться с заданием и правилами безопасности работ.
2. Не трогать, не включать и не выключать без разрешения руководителя занятий или лаборанта рубильники, тумблеры или вилки приборов.
3. Выполнение лабораторных работ вести в соответствии с описаниями; включение и выключение установок производить только в указанной последовательности.
4. Перед началом работы каждого студента на лабораторной установке необходимо, чтобы лаборант проверил ее техническое состояние и исправность.
5. Немедленно сообщить руководителю или лаборанту о замеченных неисправностях и нарушении правил и норм техники безопасности. Запрещается работать на неисправном оборудовании и самостоятельно производить ремонт или исправление его.
6. Не загромождать рабочее место и проходы между столами личными вещами.
7. Категорически воспрещается производить не порученную Вам работу.
8. Во время лабораторных работ не ходить без дела по лаборатории, так как этим вы отвлекаете внимание товарищей от своей работы и оставляете без наблюдения свою работу, что может привести к несчастным случаям.
9. Бережно относиться к приборам и лабораторному оборудованию.
10. Запрещается находиться в лаборатории в верхней одежде и приносить ее.
11. По окончании экспериментальной части работы, студенты должны доложить об этом руководителю или лаборанту и выключить установку с их разрешения.
12. По окончании всех работ привести в порядок рабочее место, поставить в известность руководителя или лаборанта об этом, и только по их разрешению можно оставить лабораторию.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арановиц Ф. Лазерные гироскопы/Применение лазеров / под ред. М. Росса. М.: Мир, 1974. С. 182 – 269.
2. Ачурин О.Н., Емельянцеv Г.И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2003, 390 с.
3. Болотнов С.А., Вереникина Н.М. Лазерные информационно-измерительные системы: Уч. пособие. М.: МГТУ, Ч. 1. 2003, 44 с.
4. Болотнов С.А., Вереникина Н.М. Лазерные информационно-измерительные системы: Уч. пособие. М.: МГТУ, Ч. 2. 2004, 92 с.
5. Болотнов С.А., Вереникина Н.М., Алексейченко А.А. Лазерные информационно-измерительные системы: Уч. пособие. Ч. 3. М.: МГТУ, 2006, 75 с.
6. Болотнов С.А., Вереникина Н.М., Алексейченко А.А. Лазерные информационно-измерительные системы: Уч. пособие. Ч. 4. М.: МГТУ, 2008, 32 с.
7. Бычков С.И., Лукьянов Д.П., Бакаляр А.И. Лазерный гироскоп. М.: Сов. радио, 1975, 424 с.
8. Р.Г.Джексон. Новейшие датчики. М.: Техносфера, 2008, 520 с.
9. О. Звелто. Принципы лазеров. СПб.: Лань, 2008, 720 с.
10. Лазерные измерительные системы / под ред. Д.П.Лукьянова. М.: Сов. радио, 1981, 456 с.
11. Серегин В.В., Кукулиев Р.М. Лазерные гиromетры и их применение. М.: Машиностроение, 1990, 288 с.

ФОРМЫ ОТЧЕТОВ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

ФИО студента _____ группа _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЛАЗЕРНЫХ
ГИРОМЕТРОВ В МОНОБЛОЧНОМ ИСПОЛНЕНИИ**

1. Выбран образец лазерного гиromетра №4.

Внешний вид лазерного гиromетра приведен на рис. 1.



Рисунок 1.

Моноблок ЛГ

2. Эскиз резонатора выбранного ЛГ приведен на рис. 2

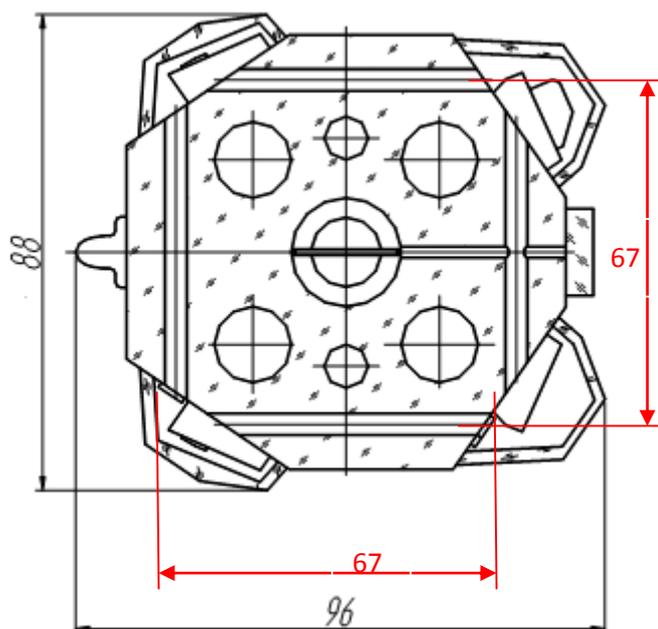


Рисунок 2.

Чертеж резонатора ЛГ

3. Характеристика резонатора.

Тип резонатора: плоский четырехугольный симметричный, призмный.

4. Схема сведения пучков излучения приведена на рис. 3.

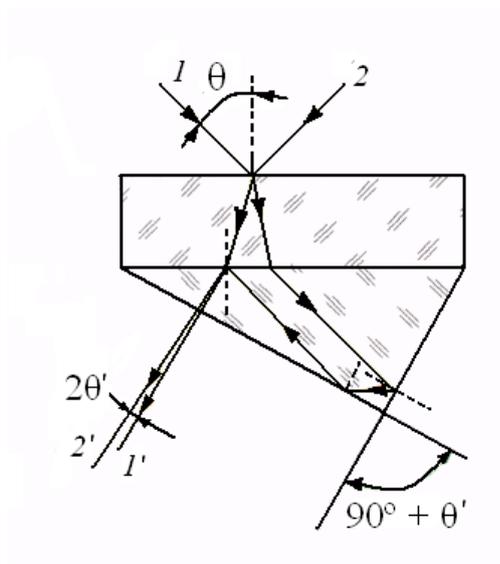


Рисунок 3.

Схема сведения пучков излучения

Схема сведения пучков излучения на базе призмы полного внутреннего отражения.

5. Система накачки приведена на рисунке 4.

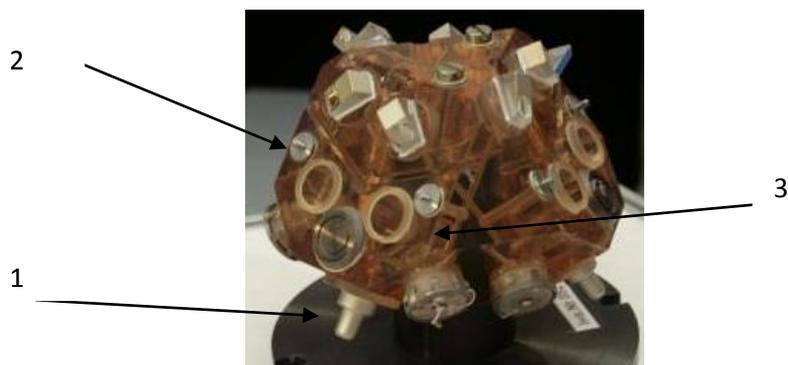


Рисунок 4

Система накачки ЛГ

Система накачки – разряд постоянного тока;

Основные элементы системы накачки:

1 – анод; 2 – катод; 3 – разрядные промежутки.

6. Длина стороны резонатора $L_1 = 67$ мм.

Длина периметра резонатора $L = 268$ мм.

7. Масштабный коэффициент лазерного гиromетра:

$$K = \frac{4 \cdot S}{\lambda \cdot L} =$$

Угловая цена одного импульса или разрешение по углу лазерного гиromетра:

$$\Theta_{пред} = \left(\frac{2\pi K}{\Delta\phi} \right)^{-1} =$$

Шаг квантования $\Delta\phi =$ (задан преподавателем).

8. Количество импульсов на выходе лазерного гиromетра $N_{2\pi}$ за один целый оборот ($\Theta=2\pi$ рад)

$$N_{2\pi} =$$

Выводы

ФИО студента _____ группа _____

2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗМЕРЕНИЕ МАСШТАБНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЛАЗЕРНОГО ГИРОМЕТРА

1. Схема и внешний вид лабораторной установки для измерения масштабного коэффициента лазерного гиromетра приведены на рис. 1, 2.

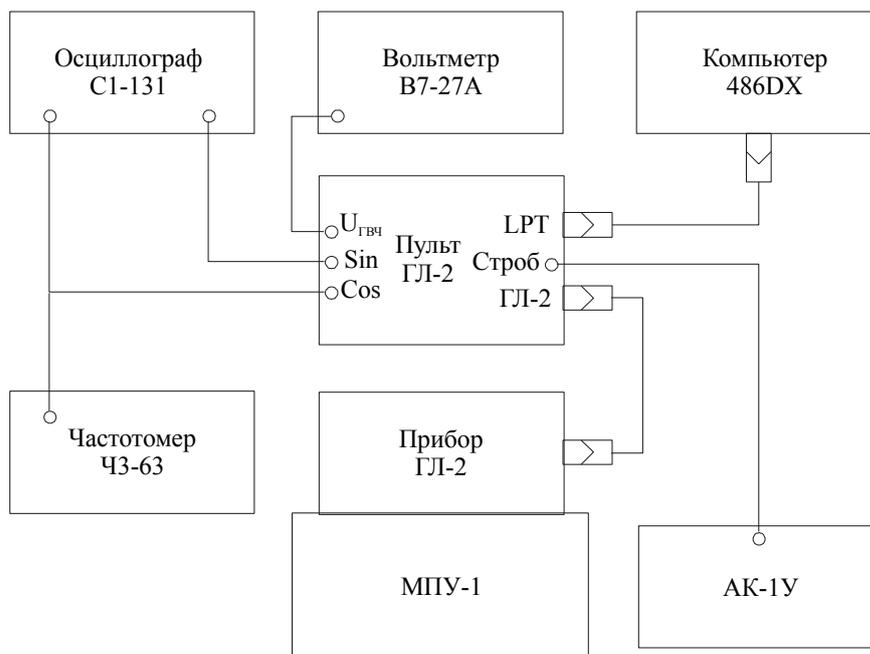


Рисунок 1.

Схема соединений для проверки масштабного коэффициента ЛГ



Рисунок 2.

Внешний вид лабораторной установки для проверки масштабного
коэффициента ЛГ

2. Количество импульсов за оборот стола для каждого измерения сведено в таблицу

№ измерения	Количество импульсов при повороте по часовой стрелке $N_{2\pi^+}$ (имп.)	Количество импульсов при повороте по часовой стрелке $N_{2\pi^-}$ (имп.)	Масштабный коэффициент К (угл. сек./имп.)
1			
...			
20			

3. Значение масштабного коэффициента K_i для каждого измерения занесено в таблицу.

4. Среднее значение масштабного коэффициента K_{cp} :

$$K_{cp} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M K_i = \quad .$$

5. Среднеквадратическое отклонение масштабного коэффициента:

$$\sigma_{K_{cp}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (K_{cp} - K_i)^2}{M - 1}} =$$

6. Доверительные границы ε случайной погрешности результата:

$$\varepsilon = t \cdot \sigma_{K_{cp}} =$$

где: t - коэффициент Стьюдента, который при доверительной вероятности при доверительной вероятности $P=0,95$ и числе наблюдений $N=20$ равен $t=2,094$.

7. Значение масштабного коэффициента с учетом доверительных границ случайной погрешности:

$$K = K_{cp} \pm \varepsilon = K_{cp} \pm t \cdot \sigma_{K_{cp}} =$$

Выводы.

ФИО студента _____ группа _____

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛОСЫ ЗАХВАТА ЛАЗЕРНОГО ГИРОМЕТРА

1. Структурная схема лабораторного стенда для измерения полосы захвата лазерного гиromетра и внешний вид стенда показаны на рис 1 и 2.

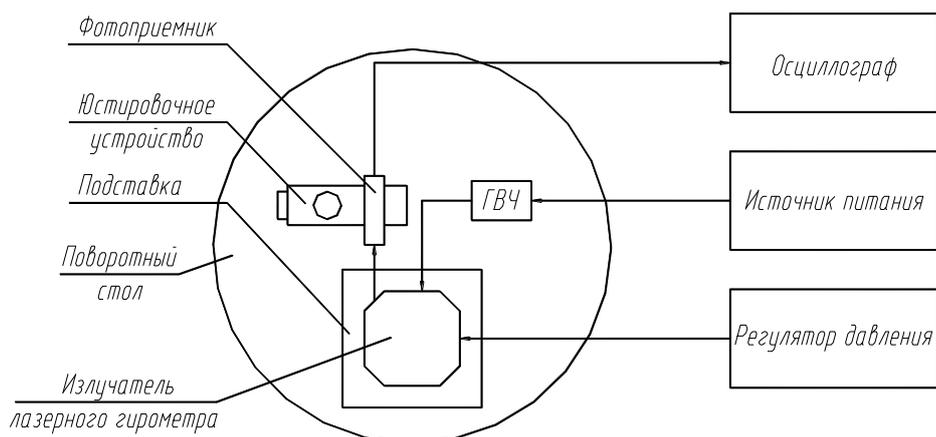


Рисунок 1.

Структурная схема лабораторного стенда

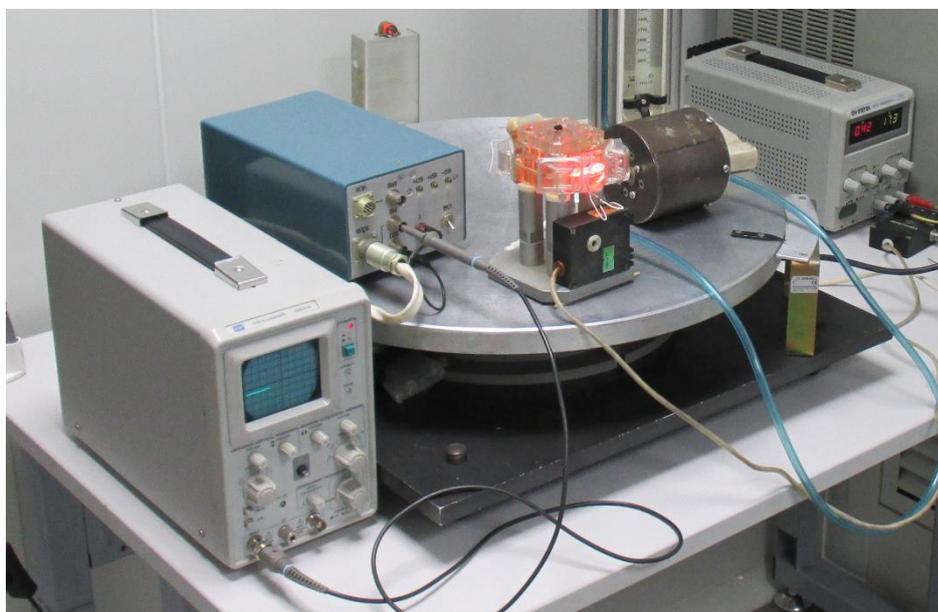


Рисунок 2.

Внешний вид лабораторного стенда

2. Результаты измерений давления и числа делений шкалы поворотного стола сведены в таблицу.

N	Давление, мм рт. ст.	Число делений шкалы поворотного стола	Угол поворота, град.	Угловая скорость, град/час	Режим генерации
1					
...					
20					

3. Расстояние от центра поворотного стола до конца стрелки $L =$

4. Пересчитанные в угол поворота стола деления шкалы для каждого измерения занесены в таблицу.

5. Рассчитанные значения угловой скорости вращения стола для каждого измерения занесены в таблицу.

6. График угловой скорости в зависимости от давления приведен на рисунке 3.

7. Угловые скорости, соответствующие центрам зон одномодовой генерации:

$$\Omega_1 =$$

$$\Omega_2 =$$

8. Среднее значение угловой скорости, соответствующее границе зоны синхронизации частот

$$\Omega_{сч} =$$

9. Среднеквадратическое отклонение угловой скорости, соответствующей границе зоны синхронизации частот равно

$$\sigma_{\Omega_{сч}} =$$

10. Коэффициент связи встречных волн

$$\hat{r} = \frac{\pi L K}{c} \Omega_{сч} =$$

11. Доля мощности, рассеиваемая одним отражателем

$$r^2 / 4 =$$

Выводы

ФИО студента _____ группа _____

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ГИРОМЕТРА В КАЧЕСТВЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ГИРОКОМПАСА

Схема испытательного стенда приведена на рис. 1. Внешний вид стенда и пульта приведен на рис. 2.

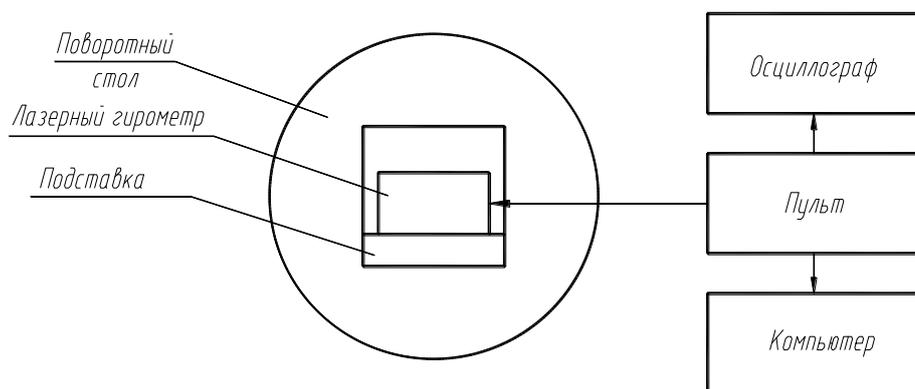


Рисунок 1.

Схема испытательного стенда



Рисунок 2.

Внешний вид испытательного стенда.

2. Занести в таблицу результаты испытаний

№	N_α имп.	$N_{\alpha+90^\circ}$ имп.	$N_{\alpha+180^\circ}$ имп.	K_0 имп.	N'_α имп.	$N'_{\alpha+90^\circ}$ имп.	α градус	$\alpha_{\text{среднее}}$ градус	$\alpha - \alpha_{\text{среднее}}$ градус	σ угл. мин.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										
2										
3										
4										

3. Для каждого испытания определено значение сдвига нуля ЛГ по формуле:

$$K_0 = \frac{N_\alpha + N_{\alpha+180^\circ}}{2}$$

Результаты занесены в таблицу (графа 5).

4. Для каждого испытания определено количество регистрируемых импульсов, соответствующее повороту на угол за время измерения, при определенной ориентации оси чувствительности ЛГ относительно направления истинного меридиана, с учетом сдвига нуля ЛГ:

$$N'_i = N_i - K_0$$

Результаты занесены в таблицу (графы 6, 7).

5. Для каждого испытания определен вычисленный в градусах азимут исходного направления:

$$\alpha = \arctg\left(-\frac{N'_{\alpha+90^\circ}}{N'_\alpha}\right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$$

Результаты занесены в таблицу (графа 8).

6. Среднеарифметическое значение азимута исходного направления, полученное для n измерений:

$$\alpha_{\text{среднее}} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n} =$$

7. Среднеквадратическое отклонение значения азимута исходного направления, полученное для n измерений и вычисленное в угловых минутах:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_{\text{среднее}})^2}{n-1}} \cdot 60' =$$

8. Определенное значение азимута исходного направления равно:

$$\alpha = \alpha_{\text{среднее}} \pm 3\sigma =$$

Выводы