

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОЛЬЦЕВОГО ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА ПРИ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Тихменев Н. В.¹, Назаров С. И.², Ушанов А. А.³
(АО «Государственный научно-исследовательский
институт приборостроения», Москва)

Синельников А. О.⁴
(АО «Государственный научно-исследовательский
институт приборостроения», Москва,
Российский университет дружбы народов, Москва)

Выполнен теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования кольцевого лазерного гироскопа при вибрационных воздействиях. Целью исследования является улучшение технико-экономических и эксплуатационных характеристик, заключающихся в снижении чувствительности кольцевого лазерного гироскопа на виброподвесе к внешним механическим воздействиям. Выполнен обзор ключевых характеристик и конструктивно-технологических решений построения наиболее распространённых в России и за рубежом моделей кольцевых лазерных гироскопов и инерциальных навигационных систем на их основе. Проведены динамические расчёты конструкции прибора. Используя методы конечно-элементного анализа, исследовано функционирование механической системы кольцевого лазерного гироскопа при вибрационных воздействиях. Экспериментально исследовано влияние внешнего вибрационного воздействия на выходной сигнал кольцевого лазерного гироскопа на виброподвесе. Показано, что ошибки измерения угловой скорости возникают в области частот собственных резонансов конструкции. Получено согласование результатов расчёта собственных резонансных частот кольцевого лазерного гироскопа на виброподвесе с экспериментальными данными. Сформулированы требования, позволяющие повысить виброустойчивость конструкции. Данное исследование позволит разработать методику проектирования конструкции и систем жизнеобеспечения кольцевого лазерного гироскопа на виброподвесе на основе исследования ошибок, возникающих при внешних механических воздействиях.

¹ Николай Владимович Тихменев, к.ф.-м.н., нач.отдела (nik-tikhmenev@yandex.ru).

² Сергей Иванович Назаров, аспирант (apologet17@yandex.ru).

³ Александр Александрович Ушанов, аспирант (a.a.uschanov@mail.ru).

⁴ Антон Олегович Синельников, к.т.н., доцент (mr.sinelnikov.a@mail.ru).

Ключевые слова: инерциальная навигационная система, кольцевой лазерный гироскоп, виброподвес, частотная подставка, вибрационное воздействие.

1. Введение

Развитие гражданской и оборонной промышленности с середины XX века привело к прогрессу систем ориентации, навигации и стабилизации наземной, воздушной и морской техники [2, 4, 8]. Базовыми элементами таких систем стали гироскопы, построенные на различных физических принципах [14].

Гироскопам, в том числе лазерным, посвящены многочисленные аналитические статьи и обзоры [15, 22–24]. Кольцевой лазерный гироскоп (КЛГ) является наиболее распространенным чувствительным элементом при решении задач автономной навигации, что обусловлено его высокой точностью, широким диапазоном измеряемых угловых скоростей, малой чувствительностью к внешним воздействиям, удобством съёма и обработки выходной информации [7].

Вопросам совершенствования КЛГ с механической вибрационной частотной подставкой в настоящее время уделяется большое внимание [1, 16–19], поскольку виброподвес, применяемый для преодоления эффекта захвата частот встречных волн, при этом является дополнительным источником его погрешностей [13].

Настоящая работа посвящена исследованию функционирования КЛГ на виброподвесе при внешних механических возмущениях. Актуальность темы исследования вызвана отсутствием на отечественном рынке КЛГ на виброподвесе с характеристиками, обеспечивающими точность не хуже 0,01 %/ч при виброустойчивости до 20 g [20].

Целью работы является выявление причин нарушения точностных характеристик КЛГ на виброподвесе и поиск возможности уменьшения погрешностей, возникающих под действием внешних вибраций.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Обзор характеристик и конструктивно-технологических решений построения наиболее распространённых в России и за рубежом моделей КЛГ и инерциальных измерительных систем (ИНС) на их основе.

2. Анализ конструкции КЛГ с помощью динамической модели, определение частот собственных резонансов и исследование их влияния на точность КЛГ.

3. Экспериментальное исследование КЛГ для верификации динамической модели и поиска технических решений по повышению его виброустойчивости.

2. Постановка задачи

Для выявления образцов навигационных систем, устойчивых к вибрационным воздействиям, проведен анализ наиболее распространённых в России и за рубежом моделей КЛГ и ИНС на их основе [10, 14, 20]. Основные параметры точных приборов представлены в таблице 1, грубых – в таблице 2.

Таблица 1. «Точные ИНС для автономной навигации»

Класс КЛГ	Точные для автономной навигации	
Фирма	Honeywell, США	АО КРЭТ, РФ
Модель ИНС/ГИБ	HG9900	БИНС-СП
Модель КЛГ	GG-1320	Тип КЛ-3
Периметр КЛГ, см	15,4	28
Точность КЛГ, град/ч	0,0035	0,0035-0,01
Виброустойчивость, g	20 g	4,5 g
Амортизация в составе ИНС	Есть	Есть
Физический принцип построения КЛГ	Линейная поляризация света, механическое расщепление частот вибрационным подвесом	
Объем ИНС/ГИБ, л	3,2/–	18,3/6,5

Отмечено, что фирмой Honeywell (США) решаются разнообразные задачи навигации с помощью двух типов КЛГ на виброподвесе: это высокоточные приборы типа GG-1320 с точностью не хуже 0,01°/час для автономной навигации и миниатюрные бюджетные приборы типа GG-1308 с точностью 1°/час

для стабилизации курса [21]. Эти КЛГ обладают вибрационной устойчивостью до 20 g.

Таблица 2. «Грубые ИНС для навигации со спутниковой коррекцией»

Класс КЛГ	Грубые для навигации со спутниковой коррекцией	
Фирма	Honeywell, США	АО «НИИ «Полнос» им. М.Ф. Стельмаха», РФ
Модель ИНС/ГИБ	HG 1700AG37	МТ-401
Модель КЛГ	GG-1308	ЭК-104С
Периметр КЛГ, см	6,1	16
Точность КЛГ, град/ч	1	1
Виброустойчивость, g	20 g	20 g
Амортизация в составе ИНС	Есть	Нет
Физический принцип построения КЛГ	Линейная поляризация света, механическое расщепление частот вибрационным подвесом	Круговая поляризация света, зеемановское расщепление частот магнитным полем
Объем ИНС/ГИБ, л	2,7/0,54	-/5,1

Отечественным аналогом прибора GG-1308 в настоящее время является КЛГ типа ЭК-104С с магнитооптической частотной подставкой, обладающий точностью до 1°/час и вибрационной устойчивостью до 20g [5]. Однако ИНС типа МТ-401 на основе КЛГ ЭК-104С значительно превышает зарубежный аналог по габаритам [11]. Ближайшим аналогом высокоточных КЛГ на виброподвесе типа GG-1320 является отечественный прибор КЛ-3 с точностью не хуже 0,01°/час, применение которого для автономной навигации высокоманевренных объектов ограничено невысокой вибрационной устойчивостью в 4,5 g [7].

Приведенный анализ показывает, что перспективным вектором развития лазерных ИНС является обеспечение виброустойчивости отечественных КЛГ с линейной поляризацией света и механическим расщеплением частот вибрационным

подвесом, обеспечивающих точность до $0,01^\circ/\text{час}$ для автономной навигации.

Одной из возможных причин ограничения вибрационной устойчивости КЛГ на виброподвесе может быть нежесткость крепления кольцевого лазера [9], приводящая к дополнительным резонансам конструкции.

На рис. 1 представлены экспериментальные данные вибрационных испытаний КЛГ на виброподвесе в диапазоне частот 20–2000 Гц с амплитудой ускорения 4g.

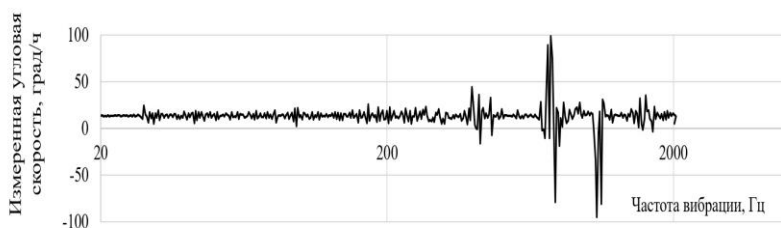


Рис. 1. Результаты исследования виброустойчивости КЛГ на виброподвесе

Основным параметром, по которому оценивается функционирование КЛГ, является стабильность смещения нуля при отсутствии вращения. В ходе эксперимента с помощью КЛГ регистрировалась вертикальная проекция скорости вращения Земли ($12,4^\circ/\text{ч}$) и смещение нуля, вызванное механическим воздействием. Из рис. 1 видно наличие ошибок в измерении угловой скорости КЛГ, причиной которых могут быть собственные резонансы конструкции, приводящие к снижению его функциональности при вибрационных воздействиях [12, 25].

3. Моделирование механической системы КЛГ на виброподвесе

Для исследования функционирования механической системы КЛГ на виброподвесе была создана трехмерная модель, представленная рис. 2.

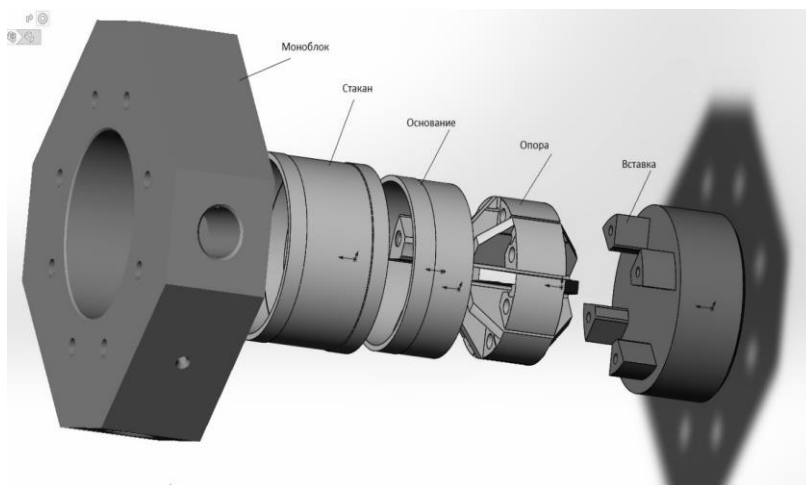


Рис. 2. Детализация модели КЛГ

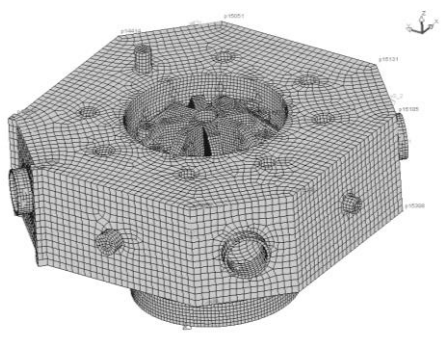
В таблице 3 указаны основные конструкционные элементы КЛГ и материалы, из которых они изготовлены.

Таблица 3. Конструкционный состав КЛГ на виброподвесе

Элемент	Материал
Моноблок КЛГ	Ситалл СО115М
Стакан	Инвар 36Н
Основание	Инвар 36Н
Опора	Инвар 36Н
Вставка	Титановый сплав ВТ6

Динамические расчёты конструкции выполнены в системе ANSYS и программном комплексе EULER. При использовании технологии программного комплекса EULER объект исследования (многокомпонентная механическая система) представляется как совокупность множества тел – звеньев, связанных кинематическими связями и упругодемпфирующими элементами (пружины, амортизаторы, отбойники, конструктивные жесткости и т.д.) [3].

Для выявления резонансов конструкции одноосного КЛГ в среде ANSYS была построена его конечно-элементная модель, представленная на рис. 3.



*Рис.3. Конечно-элементная модель КЛГ
для динамического анализа*

Модель включает в себя моноблок лазерного резонатора, стакан и основание, предназначенные для компенсации теплового расширения вибрационной опоры, и фиксированной в пространстве вставки, к которой крепится вся конструкция (см. рис. 2, таблицу 3). Интерфейсные узлы на нижней поверхности титановой вставки жестко скрепляются между собой и создается поступательный шарнир между ними и инерциальным звеном. Модель испытания является параметризованной. Ось шарнира и направление силы гравитации меняется в зависимости от испытания. Частота виброподвеса постоянна.

Для моделирования функционирования КЛГ при внешних механических воздействиях была создана специальная модель испытания в программном комплексе EULER, имитирующая работу динамического вибрационного стенда.

Одним из самых распространенных методов проведения динамических испытаний является метод испытания синусоидальным сигналом. При этих испытаниях сигнал управления вибростендом имеет форму синусоиды, частота которой изменяется по времени. Уровень или амплитуда сигнала может задаваться в виде ускорения, скорости или перемещения.

Колебания вибростенда задаются программным движением на ускорения в поступательном шарнире. Функция ускорения является гармонической и имеет вид

$$(1) \quad F(A) = A \cdot \cos(2\pi \cdot \psi(t)),$$

где A – амплитуда колебаний, м/с²; t – текущий момент времени, с; $\psi(t)$ – функция фазы колебаний.

Функция фазы колебаний $\psi(t)$ подбирается таким образом, чтобы частота колебаний f плавно изменялась по показательному закону:

$$(2) \quad f = f_0 \cdot 2^{\frac{t}{t_f}},$$

где f_0 – начальная частота, Гц; t_f – время удвоения частоты, с.

При $t_f = 1$ с скорость изменения частоты колебаний вибростенда v_t соответствует 1 окт/с; при $t_f = 60$ $v_t = 1$ окт/мин.

Для условия эксперимента был выбран диапазон частот от 20 Гц до 2000 Гц, амплитуда колебаний $A = 1g$ (9,8 м/с²), скорость изменения частоты $v_t = 1$ окт/мин.

Количество октав i_0 определяется следующим выражением:

$$(3) \quad i_0 = \frac{\lg f_e}{\lg 2},$$

где f_e – конечная частота, Гц; f_0 – начальная частота, Гц.

Функцию фазы $\psi(t)$ можно найти интегрированием функции частоты по времени $f(t)$:

$$(4) \quad \psi(t) = \int f dt = f_0 \cdot \frac{2^{\frac{t}{t_s}} \cdot f_s}{\ln 2} + C.$$

Определим константу C из условия $\psi(t) = 0$. Отсюда функция фазы колебаний примет вид

$$(5) \quad \psi(t) = f_0 \cdot \frac{t_s \cdot (2^{\frac{t}{t_s}} - 1)}{\ln 2}.$$

Динамический анализ модели показал, что резонансы всей конструкции КЛГ определяются формой и упругими характеристиками детали «опора» (см. рис. 2), за счет ребер жесткости (лопастей) которой создаются крутильные колебания.

Колебания моноблока резонатора КЛГ при трех первых типах колебаний представлены на рис. 4.

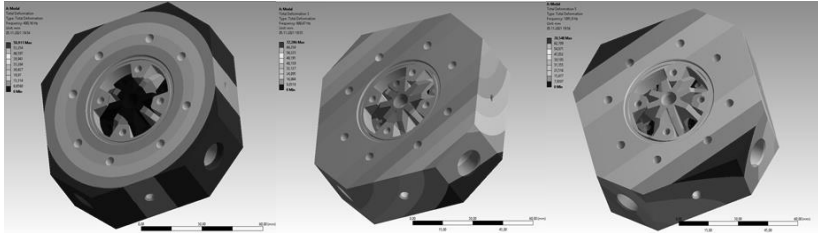


Рис. 4. а) Полезная мода; б) первый паразитный резонанс, в) второй паразитный резонанс

На рис. 4а показана основная «полезная» мода 0, представляющая резонанс крутильных колебаний виброподвеса на частоте ~ 400 Гц. На рис. 4б показана «паразитная» мода, или первый паразитный резонанс, приводящий к раскачке моноблока КЛГ в двух ортогональных направлениях на частоте ~ 700 Гц. На рис. 4в показан второй паразитный резонанс, приводящий к раскачке моноблока в двух ортогональных направлениях со смещением на частоте ~ 1100 Гц.

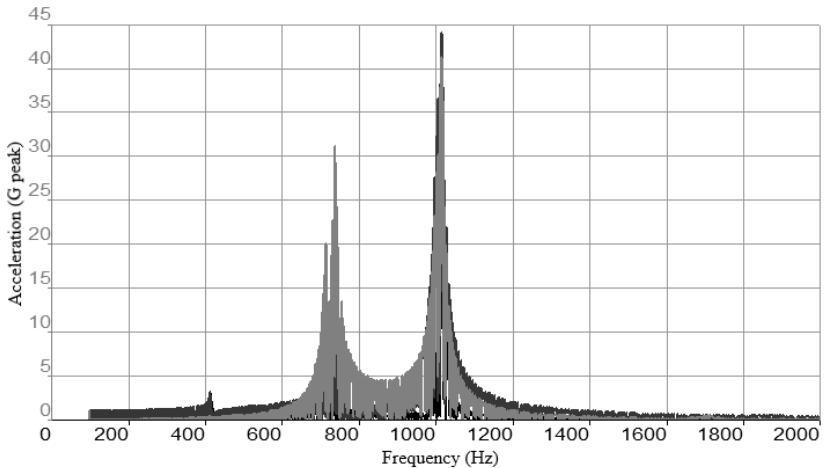


Рис. 5. Моделирование АЧХ

Пример рассчитанной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) динамической модели КЛГ в зависимости от частоты виброускорения нормированной по интенсивности $1g$ при сканировании синусоидальным сигналом в диапазоне частот 20-2000 Гц показан на рис. 5.

Проверка теоретических расчетов и подтверждение результатов моделирования выполнены в ходе эксперимента, представленного в следующем разделе.

4. Экспериментальное исследование функционирования КЛГ на виброподвесе

Экспериментальные исследования проводились на масогабаритном макете КЛГ на виброподвесе. Для контроля амплитуды вибрационных воздействий на моноблоке КЛГ в трех ортогональных плоскостях были установлены акселерометры, которые вырабатывают выходной сигнал пропорциональный ускорению.

Общий вид макета КЛГ, установленного на горизонтальном динамическом вибрационном стенде, показан на рис. 6.

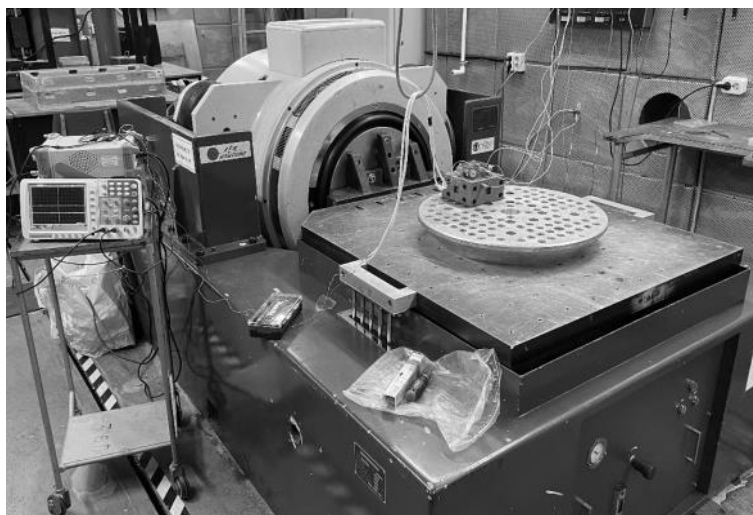


Рис. 6. Исследуемый макет КЛГ на вибростенде

На рис. 7 показан вид сверху макета КЛГ с координатными осями и местом крепления акселерометров.

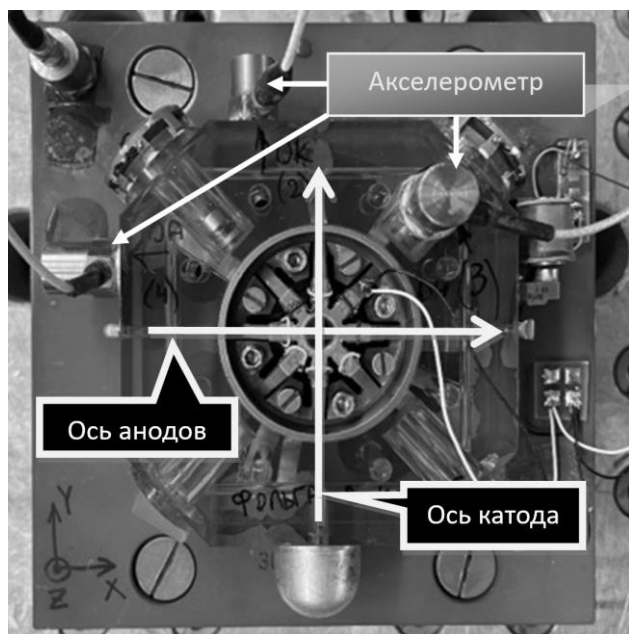


Рис. 7. Макет КЛГ с акселерометрами

Ось чувствительности КЛГ перпендикулярна оптическому контуру, лежащему в плоскости рисунка, и направлена вверх. Перпендикулярные ей боковые оси (ось катода, ось анодов) показаны белыми стрелками. Динамическое воздействие вибрационного стенда направлено вдоль оси катода макета КЛГ.

Акселерометры, закрепленные на взаимно перпендикулярных плоскостях моноблока, регистрируют амплитуду ускорения в направлениях по соответствующим осям координат.]

Акселерометр, задающий амплитуду входного виброускорения динамического стенда, расположен на массивной оснастке, к которой крепится весь макет КЛГ.

На рис. 8 представлен вид одной из экспериментальных АЧХ, полученных на динамическом вибрационном стенде, при

механических воздействиях, соответствующих расчётной зависимости, полученной с помощью программного комплекса EULER. Видно хорошее согласование поведения расчётной динамической модели КЛГ с экспериментальными данными.

В области резонансов конструкции на моноблоке макета возникают виброускорения, в десятки раз превышающие амплитуду входного воздействия, что может являться причиной нарушения режима функционирования КЛГ.

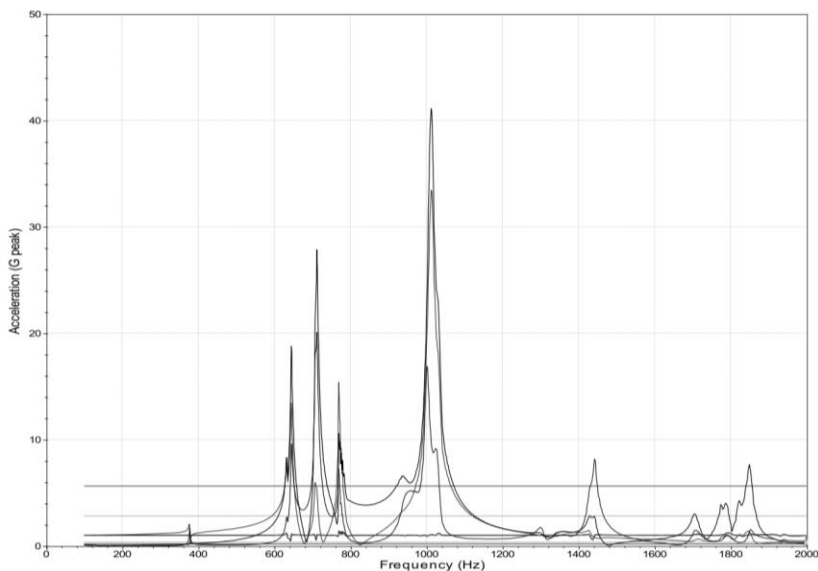


Рис. 8. Резонансы конструкции во время вибрации

5. Обсуждение результатов

По результатам моделирования определены собственные резонансные частоты и паразитные резонансы конструкции КЛГ на виброподвесе. Полученные экспериментальные результаты хорошо согласуются с результатами моделирования.

В таблице 4 приведено сравнение амплитуды ускорения на моноблоке КЛГ при перегрузках в области резонансов конструкции при моделировании и эксперименте.

Проведенные исследования виброустойчивости КЛГ на виброподвесе показывают, что основным источником ошибок измерения угловой скорости являются паразитные резонансы конструкции. Это позволяет сформулировать требования к доработке виброподвеса КЛГ, заключающейся в смещении частот паразитных резонансов за область диапазона воздействия (выше 2000 Гц), что существенно уменьшит ошибки измерения.

Таблица 4. Сравнение характерных пиков с результатами эксперимента

№ п/п	Динамическая модель		Экспериментальные данные	
	Частота, Гц	Амплитуда, g	Частота, Гц	Амплитуда, g
1	415	3	381	4
2	744	30	710	28
3	1026	40	1010	42
4	–	–	1440	7
5	–	–	1850	6

6. Заключение

В работе рассмотрены характеристики наиболее распространённых типов КЛГ с вибрационной и магнитооптической частотными подставками.

Проведена оценка функционирования КЛГ на виброподвесе при воздействии синусоидальной вибрации с амплитудой 4g в диапазоне частот от 20 до 2000 Гц. Показано наличие выбросов выходной в характеристике КЛГ приводящих к снижению точности определения угловой скорости.

Теоретически и экспериментально исследовано влияние внешнего механического воздействия на работу КЛГ на виброподвесе. На основе динамических расчётов модели КЛГ определены собственные резонансные частоты конструкции. Получено согласование экспериментальных данных с результатами моделирования.

Показано, что ошибки измерения угловой скорости возникают в области частот собственных резонансов конструкции и

вызваны несовершенством механического узла виброподвеса КЛГ. Основные ошибки измерения угловой скорости возникают на частотах, близких или кратных резонансной частоте виброподвеса (380–410 Гц, 710–750 Гц, 1000–1100 Гц и др.).

На основе полученных данных сформулированы требования к изменению конструкции виброподвеса, позволяющие сдвинуть частоту паразитных резонансов выше 2000 Гц, что позволит повысить виброустойчивость КЛГ к внешним механическим воздействиям при сохранении требуемой точности измерения угловой скорости.

Литература

1. АФАНАСЬЕВ В.Б., ВОРОБЬЕВ Т.К., МАМАЕВ В.А. и др. *Автоматизация процесса анализа отказов, оценки надежности и эффективности доработок изделий* // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». – 2021. – №1(36). – С. 76–84.
2. АФАНАСЬЕВ В.Б., МАМАЕВ В.А., МЕДВЕДЕВ В.М. и др. *К вопросам качества и надежности лазерных инерциальных систем* // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2023. – №1(126). – С. 87–95.
3. БОЙКОВ В.Г., ЮДАКОВ А.А. *Моделирование динамики системы твердых и упругих тел в программном комплексе EULER* // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2011. – №1. – С. 42–52.
4. БОЛОТНОВ А.С. *Применение лазерного гироскопа в бесплатформенных инерциальных системах* // Политехнический молодежный журнал. – 2019. – Вып. 10(39).
5. ГРУШИН М.Е., КОЛБАС Ю.Ю. *Вибрационная ошибка лазерных гироскопов* // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». – 2017. – №4(115). – С. 27–42.
6. ЕНИН В.Н., САНЕЕВ И.В., ВОЛКОВ Э.В. *Малогабаритный прецизионный лазерный гироскоп с виброподставкой* // Электронный журнал «Наука и образование». МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2017. – №5. – С. 105–118.
7. КУЗНЕЦОВ А.Г., МОЛЧАНОВ А.В., ЧИРКИН М.В. и др. *Прецизионный лазерный гироскоп для автономной инерциальной навигации* // Квантовая электроника. – 2015. – Т. 45, №1. – С. 78–88.

8. КУЗНЕЦОВ Е., ПОПОВ С., СОЛОВЬЕВА Т. *Применение кольцевых лазерных гироскопов компании «Ханиуэлл» в ракетно-бомбовом вооружении и беспилотных аппаратах ВС США* // За рубежом военное обозрение. – №6. – 2023. – С. 29–34.
9. ЛУКЬЯНОВ Д.П., РАСПОПОВ В.Я., ФИЛАТОВ Ю.В. *Прикладная теория гироскопов.* – СПб: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2015. – 316 с.
10. ПЕШЕХОНОВ В.Г. *Перспективы развития гироскопии* // Гироскопия и навигация. – 2020. – Т. 28, №2(109). – С. 3–10. – DOI: 10.17285/0869-7035.0028.
11. СИНЕЛЬНИКОВ А.О., МЕДВЕДЕВ А.А., ГОЛЯЕВ Ю.Д. и др. *Роль тепловых дрейфов нуля в магнитооптических зеемановских лазерных гироскопах* // Гироскопия и навигация. – 2021. – Т. 29, №4(115). – С. 46–55. – DOI 10.17285/0869-7035.0079.
12. ТИХМЕНЕВ Н.В., СИНЕЛЬНИКОВ А.О., УШАНОВ А.А. и др. *Взаимодействие виброподвеса кольцевого лазерного гироскопа с внешним механическим возмущением* // В сб.: XXX Юбилейная Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. сборник материалов конференции. Санкт-Петербург, 2023. – С. 221–224.
13. ARONOWITZ F. *Fundamentals of the ring laser gyro* // Optical Gyros and their Application, RTO AGARDograph. – 1999. – Vol. 339, 3-1-3-45.
14. CHOPRA K.N. *Ring Laser Gyroscopes* // Optoelectronic Gyroscopes. Progress in Optical Science and Photonics. –2021. – Vol. 11. – Springer, Singapore.
15. DAMIANOS D., GIRARDIN G. *High-End Inertial Sensors for Defense, Aerospace & Industrial Applications* // Market and Technology Report by Yole development, 2020
16. FANG FANG, WENHUI ZENG, ZILONG LI *Coupled Dynamic Analysis and Decoupling Optimization Method of the Laser Gyro Inertial Measurement Unit* // Sensors. – 2020. – Vol. 20, No. 111. – DOI: 10.3390/s20010111.
17. JEONG ICK LEE. *Mechanical Design of Ring Laser Gyroscope Using Finite Element Method* // Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers. – 2013. – Vol. 22, No. 1, 2. – P. 107–111.
18. KUZNETSOV E., GOLYAEV Y., KOLBAS Y. et al. *The method of intelligent computer simulation of laser gyros behavior under vibrations to ensure their reliability and cost-effective development and production* // Proc. of SPIE. – 2020. – Vol. 11523, 115230B.

19. LIN WANG, WENQI WU, GENGLI et al. *Ring Laser Gyro G-Sensitive Misalignment Calibration in Linear Vibration Environments* // Sensors. – 2018. – Vol. 18. – P. 601. – DOI: 10.3390/s18020601.
20. LUKYANOV D., FILATOV YU., GOLYAEV YU. et al. *50th anniversary of the laser gyro* // Proc. 20th Saint-Petersburg Int. Conf. on Integrated Navigation Systems ICINS, 2013. – P. 36–49.
21. OELSCHLAEGER M., THIELMAN L.O. *GG1308 ring laser gyro inertial measurement systems: Honeywell's low-cost solution for tactical applications* // IEEE Position Location and Navigation Symposium, Las Vegas, USA, 1990. – P. 528–536.
22. PASSARO V.M.N., CUCCOVILLO A., VAIAM L. et al. *Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective* // Sensors. – 2017. – Vol. 17, 2284. – P. 1–22.
23. ROBIN L., PERLMUTTER M. *Gyroscopes and IMUs for Defence Aerospace and Industrial* // Report by Yole development, 2012.
24. SHAODI WANG, ZHILI ZHANG *Research on principle, application and development trend of laser gyro* // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1549(2). – 022118.
25. SINELNIKOV A.O., TIKHMENEV N.V., USHANOV A.A. et al. *Interaction of the Dither of a Ring Laser Gyroscope with an External Mechanical Disturbance* // IEEE Xplore. – 2023. – P. 1–4. – DOI: 10.23919/ICINS51816.2023.10168376.

STYDY OF THE RING LASER GYROSCOPE FUNCTION- ING ON VIBRATION INFLUENCES

Nikolay Tikhmenev, JSC «State Research Institute of Instrument Engineering», Moscow, Ph.D. of Physics and Mathematics Sciences, head of development department (nik-tikhmenev@yandex.ru).

Sergey Nazarov, JSC «State Research Institute of Instrument Engineering», Moscow, postgraduate student (apologet17@yandex.ru).

Aleksandr Ushanov, JSC «State Research Institute of Instrument Engineering», Moscow, postgraduate student (a.a.ushanov@mail.ru).

Anton Sinelnikov, JSC «State Research Institute of Instrument Engineering», Moscow, Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor of RUDN University (mr.sinelnikov.a@mail.ru).

Abstract: Theoretical analysis and experimental study of the ring laser gyroscope functioning under vibration influences was carried out in this work. The purpose of the study is to improve the technical, economic and operational characteristics, which consist in reducing the dithered ring laser gyroscope to external mechanical influences. The work provides a review of the key characteristics, design and technological solutions for constructing the most common models of ring laser gyroscopes and inertial navigation systems. Dynamic calculations of the device design have been carried out. The mechanical system functioning of the ring laser gyroscope under vibration influences was studied using finite element analysis methods. The external mechanical influence of the dithered ring laser gyroscope on output signal was studied experimentally. It is shown that errors in measuring angular velocity arise in the frequency range of the structure's own resonances. Agreement between the results of calculating the intrinsic resonances of an often dithered ring laser gyroscope and experimental data has been obtained. This research will allow us to develop a methodology for designing the dithered ring laser gyroscope structure and life support systems based on the study of errors arising from external mechanical influences.

Keywords: inertial navigation system, ring laser gyroscope, dither, frequency bias, vibration influence.

УДК 629.7.054.07

ББК 32.86-53

DOI: 10.25728/ubs.2024.109.13

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии А.И. Алчиновым.*

Поступила в редакцию 26.12.2023.

Опубликована 31.05.2024.