

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей физики

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ МИНИМИЗАЦИИ ВЛИЯНИЯ
ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ
НА ИНФОРМАЦИОННЫЙ СИГНАЛ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА
В СОСТАВЕ АППАРАТУРЫ**

АВТОРЕФЕРАТ
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса физического факультета 251 группы
направления подготовки 03.04.02 «Физика»

Сердобинцева Сергея Владимировича

Научный руководитель
к.ф.-м.н. доцент
должность, уч. степень, уч. звание



подпись, дата

Овчинников С.В.
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой
д.ф.-м. н., профессор



подпись, дата

А.А. Игнатъев
инициалы, фамилия

Саратов 2018

Структура и объем работы

Магистерская работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы. Основной текст содержит 50 стр. машинописного текста, включая 12 рисунков и 2 таблицы. Список литературы на 2 страницах содержит 16 наименований.

Основное содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность тематики магистерской работы, сформулирована цель работы и основные задачи работы, отмечены новизна и практическая значимость полученных результатов, изложено краткое содержание работы и основные положения, выносимые на защиту.

Целью работы является поиск и разработка способов минимизации влияния основных внешних воздействующих факторов (температура, механическая вибрация, электромагнитное поле) на информационный сигнал ВОГ, включая как технические, так и программные средства.

Соответственно задачами работы являются рассмотрение физики и архитектуры волоконно-оптических гироскопов и подходов к решению проблемы влияния внешних факторов на функционирование ВОГ.

В **первой главе**, имеющей обзорный характер, рассмотрены вопросы, связанные с основными достижениями в области волоконно-оптической гироскопии. Рассмотрены принципы построения ВОГ: метод измерения фазы Саньяка, смещающая модуляция, компенсация фазы. Проведен обзор существующих оптических схем ВОГ. Отмечены основные особенности и проблемы построения высокоточного ВОГ. Рассмотрены основные факторы, ограничивающие точность ВОГ, и используемые методы борьбы с ними. В главе приведено описание исследуемого ВОГ и основных особенностей его построения.

Во **второй главе**, проводится анализ внешних воздействующих факторов на информационный сигнал ВОГ и методики борьбы с ними.

Причина возникновения дрейфа вследствие различных внешних возмущений: нестационарных неравномерных температурных, электромагнитных, акустических полей и напряженно-деформированного состояния (НДС). Воздействуя на кварцевый световод оптического волокна, названные возмущения изменяют его НДС (а температурные возмущения изменяют и длину из-за расширения волокна), и вследствие возникновения фотоупругих эффектов неравномерно изменяется показатель преломления кварцевой жилы. В результате лучи, которые в состоянии покоя без влияния внешних факторов обходят контур за одно и то же время, обойдут контур за разное время, что и вызовет фиктивную угловую скорость, регистрируемую прибором (рис.1) [1].

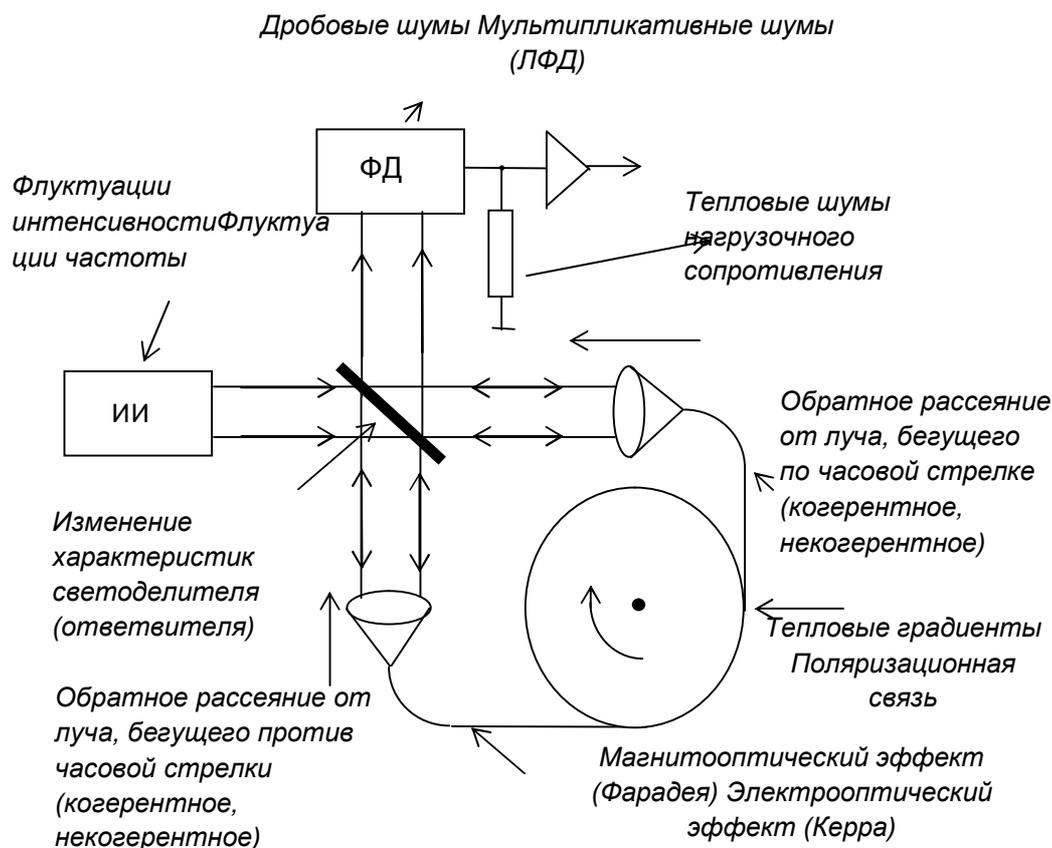


Рис. 1. Классификация шумов и нестабильностей в ВОГ

Для достижения максимальной чувствительности необходимо устранить все источники невзаимности, кроме тех, которые возникают в результате эффекта Саньяка при распространении волн по часовой стрелке и против часовой стрелки. Возникновение дополнительных фазовых сдвигов из-за недостаточного качества оптических компонентов или внешних возмущений на фоне фазового сдвига Саньяка приводит к дополнительному дрейфу нулевого сигнала. [1, 2] Рассмотрим повторно и классифицируем основные факторы, ограничивающие точность ВОГ:

1) Оптические потери

Чувствительность ВОГ ограничена дробовым шумом, который вычисляется как величина, обратная квадратному корню из мощности, которая уменьшается с увеличением длины волокна, в то время как эффект Саньяка увеличивается. Эти два конкурирующих эффекта определяют длину волокна для данной чувствительности.

2) Тепловые помехи

Зависящий от времени температурный градиент вдоль длины волокна может привести к ложным фазовым сдвигам вследствие температурной зависимости показателя преломления волокна. Для минимизации этого эффекта необходимо использовать волокна с меньшим значением температурного преломления. Квадрупольная намотка, в которой равноотстоящие от центра точки волокна расположены в физически равных условиях, также значительно уменьшает этот эффект.

3) Обратное рассеяние света

Обратное рассеяние на входных-выходных соединителях и других неоднородностях ИВОГ может являться причиной возникновения паразитных интерференций. Иммерсионные элементы для уменьшения разностей показателей преломления, а также использование наклонных поверхностей в МИОЭ снижают обратное рассеяние.

4) Оптический эффект Керра

Электрические поля распространяющихся в противоположных направлениях лучей могут привести к таким изменениям показателя преломления, которые будут невзаимными, если свет расщепляется на неравные части. Невзаимность вызванная нелинейным эффектом Керра, может быть существенно снижена путем использования низкокогерентного источника излучения.

5) Магнитооптический эффект

Магнитооптический эффект Фарадея приводит к паразитному дрейфу гироскопа. Значительное уменьшение его влияния достигается путем использования волокна, сохраняющих поляризацию излучения, а также за счет использования оболочек из пермаллоя и дополнительным экранированием [3].

В **третьей главе** проведена упрощенная аналитическая оценка времени установления температуры в стекловолоконном массиве ВОГ. Методика, изложенная в [4], опирается на показания датчика температуры, отслеживающего изменение температуры окружающей стекловолоконный блок внутреннего пространства ВОГ. К сожалению, температурный датчик технически очень сложно разместить собственно в оптоволоконном массиве. Обычно датчик расположен на внешней по отношению к стекловолокну поверхности каркаса, выполненного из алюминиевого сплава. Поскольку стекловолоконный блок содержит алюминиевый каркас, слой теплоизолятора и собственно сам стекловолоконный массив, то показания датчика температуры и температура стекловолокна в динамике могут значительно различаться.

Для упрощения оценки предполагалось, что температура поверхности каркаса скачком изменилась, например в сторону увеличения. Для корректной настройки программного обеспечения минимизации тепловых уходов информационного сигнала желательно знать, через какое время средняя температура стекловолоконного массива будет приблизительно совпадать с температурой каркаса.

В первом приближении можно считать, что время прогрева металлического каркаса много меньше времени установления температуры в стекловолоконном массиве. Оценку времени установления температуры в стекловолокне сделаем на основе однородной теплофизической модели как в форме кольца с прямоугольным радиальным сечением с внутренним радиусом R_1 , внешним радиусом R_2 , и толщиной δ , так и в форме равновеликого прямоугольного параллелепипеда, полученного из кольцевой модели ее разворотом относительно радиального сечения

Теплофизические параметры модели заданы как средне весовые из соответствующих значений для стекловолокна и эластичного связующего компаунда, которым стекловолокно залито. На поверхности моделей реализуется конвективный теплообмен с окружающей средой. Условие слабости теплообмена определяется малым значением коэффициента конвективной теплоотдачи, таким, что критерий Био $Bi < 0.1$.

В монографиях [5, 6] представлены несколько аналитических выражений для температурного поля кольцевого элемента при некоторых характерных изменениях температуры окружающей среды со временем: скачкообразное, линейное и периодическое. Структура данных выражений – бесконечные сходящиеся ряды с экспоненциальным временным множителем. Однако отличаются, что для моментов времени, для которых число Фурье $F_0 > 0.3$, всеми слагаемыми в этих рядах – решениях можно пренебречь по сравнению с первым. Это означает, что тепловой режим исследуемого объекта вошел в стадию регулярного режима. В стадии регулярного режима поле избыточной температуры объекта (по отношению к температуре окружающей среды) с изменением времени сохраняется подобным самому себе и становится автомодельным, независимо от начального распределения температур. То есть скорость изменения избыточной температуры ϑ в стадии регулярного режима одинакова для всех точек тела и характеризуется так называемым темпом охлаждения (нагрева) и может быть представлено в виде:

$$\vartheta_{\text{рег}} = A(x, y, z) \exp(-m\tau), \quad (3.1)$$

где $A(x, y, z)$ – функция только пространственных переменных, m – темп охлаждения (нагрева), τ – текущее время.

Темп охлаждения (нагрева) m в теории регулярного режима занимает центральное место. На всей стадии режима он остается постоянным, не зависящем ни от времени, ни от координат точек тела. С другой стороны, темп охлаждения определяется условиями теплообмена тела с окружающей средой и конфигурацией тела.

В общем случае темп охлаждения (нагрева) для изотропного тела определяется следующим образом:

$$m = \Psi \frac{\alpha S}{C}, \quad (3.2)$$

где Ψ – критерий неравномерности температурного поля в теле, определяемый отношением средне поверхностной избыточной температуры тела к его среднеобъемной избыточной температуре, α – коэффициент конвективного теплообмена тела с окружающей средой, S – площадь поверхности теплообмена, C – полная теплоемкость тела.

Пусть λ – усредненный коэффициент теплопроводности стекловолоконного массива (с учетом наличия связующего эластичного компаунда), c – его удельная по массе теплоемкость, ρ – плотность массива. В начальный момент времени температура массива равна T_0 , и в этот же момент массив погружается в среду с температурой $T_{\text{ср}}$. Коэффициент конвективного теплообмена между средой и поверхностью кольцевой модели α для простоты считается постоянным и одинаковым для всех поверхностей модели. Введем избыточную температуру модели

$$\vartheta(r, z, \tau) = T(r, z, \tau) - T_{\text{ср}},$$

где $T(r, z, \tau)$ – распределение температуры в модели стекловолоконного массива, r – радиальная пространственная координата ($R_1 \leq r \leq R_2$), z – вертикальная пространственная координата ($0 \leq z \leq \delta$), определяющая

распределение температуры по толщине кольцевой модели, τ – текущее время.

Формально запишем распределение избыточной температуры в условиях регулярного теплового режима

$$\vartheta(r,z,\tau) = \vartheta_0 A_1(r,z) \cdot f_1(\nu_1,z) \cdot f_2(\mu_1,z) \exp[-a\tau(\nu_1^2 + \frac{\mu_1^2}{\delta^2})], \quad (3.3)$$

где ϑ_0 - начальная избыточная температура стекловолоконного массива, $A_1(r,z)$, $f_1(\nu_1,z)$ и $f_2(\mu_1,z)$ – пространственные функции координат и собственных чисел задачи теплопроводности с учетом отбрасывания всех слагаемых в рядах – решениях, кроме первых, μ_1 – первый корень характеристического уравнения $ctg\mu = \frac{\mu\lambda}{a\delta}$, ν_1 – первый корень характеристического уравнения

$$\begin{aligned} & \left[\frac{\alpha}{\lambda} I_0(\nu R_1) + \nu I_1(\nu R_1) \right] \left[\frac{\alpha}{\lambda} Y_0(\nu R_2) - \nu Y_1(\nu R_2) \right] = \\ & = \left[\frac{\alpha}{\lambda} I_0(\nu R_2) - \nu I_1(\nu R_2) \right] \left[\frac{\alpha}{\lambda} Y_0(\nu R_1) - \nu Y_1(\nu R_1) \right], \end{aligned} \quad (3.3,a)$$

I_0 и I_1 - функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядков, Y_0 и Y_1 - функции Бесселя второго рода (функции Неймана) нулевого и первого порядков, $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ - коэффициент температуропроводности материала модели.

Выражение (3.3) получено методом перемножения двух одномерных задач теплопроводности без внутренних источников тепла [7].

Из (3.3) следует, что для двух последовательных моментов времени τ_1 и τ_2 выполняется условие

$$\frac{\vartheta(\tau_1)}{\vartheta(\tau_2)} = \exp\left[-a(\tau_1 - \tau_2)(\nu_1^2 + \frac{\mu_1^2}{\delta^2})\right]. \quad (3.4)$$

Следовательно, формально темп охлаждения в нашем случае равен

$$m = a(\nu_1^2 + \frac{\mu_1^2}{\delta^2}). \quad (3.5)$$

Поскольку в условиях только конвективного охлаждения (нагрева) $(\tau \rightarrow \infty) = T(\tau \rightarrow \infty) - T_{cp} \rightarrow 0$, то формально условие установления температуры в рассматриваемом объекте можно задать, например, в виде $T_{ц}(\tau) = 0,9 T_{cp}$, где $T_{ц}$ - температура центральной точки модели. Так как при

регулярном тепловом режиме скорость изменения температуры во всех точках тела одинакова, то последнее условие с учетом (3.3) будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{-0,1 T_{cp}}{(T_0 - T_{cp}) A_{1ц} f_{1ц} f_{2ц}} = e^{-m\tau}, \quad (3.6)$$

где $A_{1ц} = A_1(r_{ц}, \delta/2)$, $f_{1ц} = f_1(\nu_1, r_{ц})$, $f_{2ц} = f_1(\mu_1, \delta/2)$, $r_{ц} = R_1 + \frac{R_2 - R_1}{2}$.

Таким образом, формально время $\tau = \tau_{уст}$ установления температуры в стекловолоконном массиве определено.

Для модели стекловолоконного блока в виде прямоугольного параллелепипеда распределение температуры в условиях регулярного режима имеет вид [7]:

$$\vartheta = 4\vartheta_0 \frac{\text{Sin}(\mu_1)}{(\mu_1 + \text{Sin}(\mu_1)\text{Cos}(\mu_1))} \cdot \frac{\text{Sin}(\gamma_1)}{(\gamma_1 + \text{Sin}(\gamma_1)\text{Cos}(\gamma_1))} \cdot \text{Cos}\left(2\mu_1 \frac{x}{\delta}\right) \text{Cos}\left(\gamma_1 \frac{y \cdot 2}{R_2 - R_1}\right) \times \exp\left[-4a\tau \left(\frac{\mu_1^2}{\delta^2} + \frac{\gamma_1^2}{(R_2 - R_1)^2}\right)\right], \quad (3.7)$$

где $0 \leq x \leq \delta$, $0 \leq y \leq (R_2 - R_1)$ – пространственные переменные, принадлежащие радиальному сечению волоконного контура при его «распрямлении» в параллелепипед, μ_1 – первый корень характеристического уравнения

$\text{ctg}(\mu) = \frac{\mu}{Bi_x}$, γ_1 – первый корень аналогичного характеристического

уравнения $\text{ctg}(\gamma) = \frac{\gamma}{Bi_y}$, где $Bi_x = \frac{\alpha\delta}{2\lambda}$; $Bi_y = \frac{\alpha(R_2 - R_1)}{2\lambda}$.

Условие слабого теплообмена тела с окружающей средой характеризуется значениями $Bi < 0,1$. Интенсивному теплообмену соответствуют значения $Bi > 100$ – в этом случае температура поверхности тела практически сразу становится равной температуре окружающей среды.

Для малых значений критерия Bi корни характеристического уравнения $\text{ctg}(\mu) = \mu / Bi$ табулированы (см., например, [8]). Так значения

первого корня данного характеристического уравнения для $0 \leq Bi \leq 0,10$ показаны на рисунке 2 в виде зависимости $\mu=f(Bi)$.

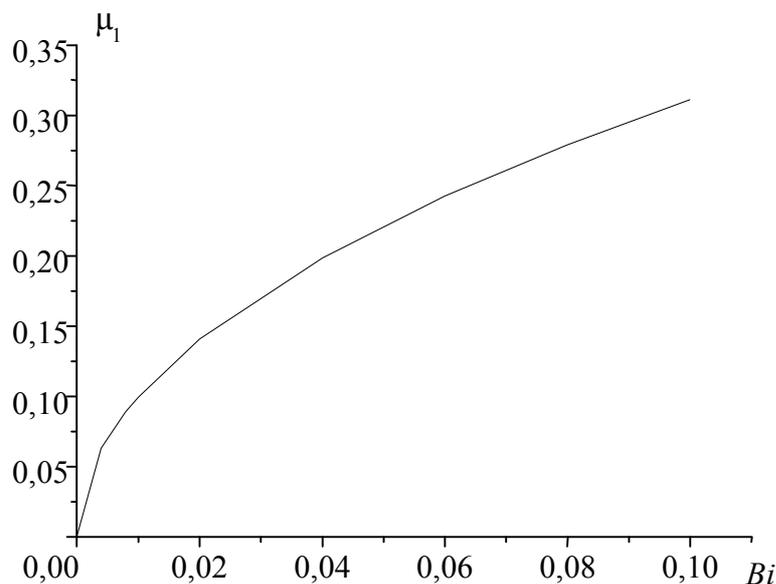


Рис. 2. Кривая зависимости $\mu=f(Bi)$ для малых Bi

Для больших значений Bi ($Bi > 100$) первый корень указанного уравнения выражается просто: $\mu_1 = \pi/2$. Поэтому выражение (7) для малых и больших Bi_x и Bi_y можно переписать в виде:

– для малых Bi значение μ_1 также мало и, поскольку $ctg(\mu_1) \approx 1/\mu_1$, то

$$\mu_1 = \sqrt{Bi} \text{ и}$$

$$\vartheta(x, y, \tau) = \vartheta_0 \cos\left(\frac{2x}{\delta} \sqrt{Bi_x}\right) \cos\left(\frac{2y}{R_2 - R_1} \sqrt{Bi_y}\right) \exp\left[-4a\tau\left(\frac{Bi_x}{\delta^2} + \frac{Bi_y}{(R_2 - R_1)^2}\right)\right]; \quad (3.8,а)$$

– для $Bi > 100$

$$\vartheta(x, y, \tau) = \frac{16}{\pi^2} \vartheta_0 \cos\left(\frac{2\pi x}{\delta}\right) \cos\left(\frac{2\pi y}{R_2 - R_1}\right) \exp\left[-a\tau\pi^2\left(\frac{1}{\delta^2} + \frac{1}{(R_2 - R_1)^2}\right)\right]. \quad (3.8.б)$$

Выражения (3.8) дают возможность просто оценить время установления температуры в центре стекловолоконного контура при очень слабом теплообмене контура с окружением (3.8,а) и при скачкообразном

изменении температуры поверхности контура (3.8,б). Так для $x=\delta/2$ и $y=(R_2-R_1)/2$ из (3.8,а) следует

$$\frac{T(\tau_{уст}) - T_{CP}}{T_0 - T_{CP}} = \exp \left[-4a\tau_{уст} \left(\frac{Bi_x}{\delta^2} + \frac{Bi_y}{(R_2 - R_1)^2} \right) \right],$$

поскольку для малых Bi $\cos(\sqrt{Bi_x}) \approx \cos(\sqrt{Bi_y}) \approx 1$.

Аналогично из (3.8,б) можно получить

$$\frac{T(\tau_{уст}) - T_{CP}}{T_0 - T_{CP}} = \frac{16}{\pi^2} \exp \left[-\frac{a\tau_{уст}\pi^2}{\delta^2 + (R_2 - R_1)^2} \right].$$

В промежуточном случае $0,1 < Bi < 100$ для оценки времени установления температуры необходимо использовать выражение (3.7) с вычислением значений корней μ_1 и γ_1 соответствующих характеристических уравнений.

Рассмотрим стекловолоконную катушку с внутренним радиусом $R_1 = 33,5$ мм, внешним радиусом $R_2 = 39$ мм и толщиной $\delta = 15,8$ мм. Намотка витков квадрупольная, поэтому 0,785 часть объема катушки занимает стекловолокно, а свободное пространство, составляющее 0,215 часть объема, считается заполненным эластичным компаундом. Выбирая усредненный по объему катушки коэффициент температуропроводности намотки (с учетом компаунда) со значением $a = 0,54 \cdot 10^{-6}$ м²/с, получим, что время $\tau_{уст}$ прогрева центра катушки от температуры $T_0 = 0^\circ\text{C}$ до температуры $T_{Ц} = 0,9T_{CP}$ составляет:

– для $Bi_x = Bi_y = 0,1$ $\tau_{уст} = 3650$ с;

– для скачкообразного изменения температуры поверхности ($Bi_x = Bi_y > 100$) $\tau_{уст} = 470$ с.

Стекловолоконный модуль ВОГ с точки зрения регулярного теплового режима представляет собой трехсоставное тело: 1 – центральное ядро, то есть собственно стекловолоконная намотка (с компаундом) с малой теплопроводностью, 2 – тепловая изоляция, 3 – алюминиевый каркас (тело с высокой теплопроводностью). На основе метода регулярного теплового режима можно достаточно просто оценить темп охлаждения (нагрева) такого

трехсоставного тела. Для такого трехсоставного тела в [7] предложено следующее выражение для темпа охлаждения (нагрева):

$$m = \frac{\alpha S_3}{C_1 / \Psi_1 + C_3}, \quad (3.9)$$

где α – эффективный коэффициент теплообмена между внутренней средой ВОГ и поверхностью S_3 каркаса, Ψ_1 – коэффициент неравномерности температуры стекловолоконного ядра, C_1 – интегральная теплоемкость стекловолоконного массива, C_3 – теплоемкость металлического каркаса.

Критерий неравномерности температуры оценивается по формуле

$$\Psi_1 = \frac{1}{\sqrt{H^2 + 1,437H + 1}}, \quad (3.10)$$

где $H = \frac{(d/\lambda_2)K_1S_1}{\lambda_1V_1}$, d – толщина тепловой изоляции, λ_2 – коэффициент

теплопроводности материала изоляции, K_1 – коэффициент формы стекловолоконного кольца, S_1 – величина поверхности стекловолоконного массива, λ_1 – теплопроводность стекловолоконного массива (с учетом наличия компаунда), V_1 – объем стекловолоконной намотки.

Коэффициент формы кольцевого объекта должен включать в себя первый корень характеристического уравнения (3.3,а), что не удобно. Поэтому воспользуемся ранее принятым представлением стекловолоконного массива в виде равновеликого по объему и радиальному сечению прямоугольного параллелепипеда. Тогда коэффициент формы выражается просто:

$$K_1 = \frac{1}{\left(\frac{\pi}{R_2 - R_1}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{\delta}\right)^2}. \quad (3.11)$$

В **заключении** рассмотрены оптимальные конфигурации ВОГ с позиции «цена – качество».

Для данных конфигураций ВОГ рассмотрены последствия влияния внешних воздействующих факторов на информационный сигнал. Исследовано влияние скорости изменения температуры стекловолоконного массива, низкочастотных механических вибраций и наличия внешнего магнитного поля. Влияние указанных факторов на электронные компоненты ВОГ не рассматривалось.

Представлены результаты экспериментальных исследований, из которых следует, что:

- 1) Воздействие низкочастотных вибраций на стекловолоконный массив минимизируется путем качественной намотки стекловолокна с проливкой массива эластичным компаундом, не допускающим пустот в массиве и отслоений витков от каркаса. Как показали экспериментальные данные, такая проливка уменьшает влияние вибрационного воздействия на порядки.
- 2) Магнитооптический эффект Фарадея может быть снижен только путем магнитного экранирования с контролем поляризации.
- 3) Информационный сигнал ВОГ наиболее чувствителен к вариациям температуры. Для минимизации влияния такого типа необходима программная компенсация/коррекция на основе специального алгоритма, опирающегося на специфическую калибровку ВОГ в термостенде с задаваемым алгоритмом изменения температуры и частоты вращения. Поправочные коэффициенты, полученные на этапе калибровки, заносятся в управляющий процессор. При этом необходимо учитывать опорную температуру не только в климатической камере, но и в стекловолоконном массиве.
- 4) Расположить датчик температуры непосредственно в стекловолоконном массиве проблематично. Поэтому датчики располагаются на металлическом каркасе вне волокна. Показания датчика в этой ситуации не совпадают с температурой волоконного массива. Для корректной

настройки программного обеспечения минимизации тепловых уходов информационного сигнала желательно знать, через какое время средняя температура стекловолоконного массива будет приблизительно совпадать с температурой каркаса. В этих целях в разделе 3 настоящей работы предложена простая теплофизическая оценка времени прогрева стекловолоконного массива при изменении температуры его окружения на основе теории регулярного теплового режима. Представлены формулы, определяющие время прогрева в двух предельных случаях: а) слабый теплообмен массива со своим окружением и б) скачкообразное изменение температуры поверхности массива. Также получено выражение для определения скорости изменения температуры (темпа охлаждения) для системы металлический каркас – тепловая изоляция – стекловолоконный массив.

5) Воздействие низкочастотных вибраций на стекловолоконный массив минимизируется путем качественной намотки стекловолокна с проливкой массива эластичным компаундом, не допускающим пустот в массиве и отслоений витков от каркаса. Как показали экспериментальные данные, такая проливка уменьшает влияние вибрационного воздействия на порядки.

6) Магнитооптический эффект Фарадея может быть снижен только путем магнитного экранирования с контролем поляризации.

7) Информационный сигнал ВОГ наиболее чувствителен к вариациям температуры. Для минимизации влияния такого типа необходима программная компенсация/коррекция на основе специального алгоритма, опирающегося на специфическую калибровку ВОГ в термостенде с задаваемым алгоритмом изменения температуры и частоты вращения. Поправочные коэффициенты, полученные на этапе калибровки, заносятся в управляющий процессор. При этом необходимо учитывать опорную температуру не только в климатической камере, но и в стекловолоконном массиве.

8) Расположить датчик температуры непосредственно в стекловолоконном массиве проблематично. Поэтому датчики располагаются на металлическом каркасе вне волокна. Показания датчика в этой ситуации не совпадают с температурой волоконного массива. Для корректной настройки программного обеспечения минимизации тепловых уходов информационного сигнала желательно знать, через какое время средняя температура стекловолоконного массива будет приблизительно совпадать с температурой каркаса. В этих целях в разделе 3 настоящей работы предложена простая теплофизическая оценка времени прогрева стекловолоконного массива при изменении температуры его окружения на основе теории регулярного теплового режима. Представлены формулы, определяющие время прогрева в двух предельных случаях: а) слабый теплообмен массива со своим окружением и б) скачкообразное изменение температуры поверхности массива. Также получено выражение для определения скорости изменения температуры (темпа охлаждения) для системы металлический каркас – тепловая изоляция – стекловолоконный массив.

Список литературы

1. Ю. Н. Коркишко, В. А. Федоров, В. Е. Прилуцкий, В. Г. Пономарев, И. В. Морев, С. Ф. Скрипников, М. И. Хмелевская, А. С. Буравлев, С. М. Кострицкий, И. В. Федоров, А. И. Зуев, В. К. Варнаков. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы на основе волоконно – оптических гироскопов // Материалы XX Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. – 27-29 мая 2013 г., Санкт-Петербург, Россия.
2. Андропова И. А., Малыкин Г. Б. Физические проблемы волоконной гироскопии на эффекте Саньяка // УФН. 2002. Т. 172, № 8. С. 849–873.
3. W.K. Burns, R.P. Moeller, “ Observation of Coherence Effects in a Quasi – Monochromatic Fiber-Optic Gyroscope”, J. Lightwave Tech., V.5, №7, 1987.
4. С. В. Сердобинцев, А. С. Карнаухов, В. С. Матвеев, С. В. Овчинников. МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВЛИЯНИЯ НА ИНФОРМАЦИОННЫЙ СИГНАЛ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА Гетеромагнитная микроэлектроника : сборник научных трудов / под ред. проф. А. В. Ляшенко. – Саратов : Изд-во ОАО «Институт критических технологий», 2017. – Вып. 23. С. 48– 51.
5. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 487 с.
6. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
7. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. – М.: ГИТТЛ, Гостехиздат, 1954. – 408 с.
8. Теплопередача: Учебник для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

С. М. Буравлев 26.05.18