

И. К. МЕШКОВСКИЙ, А. А. УНТИЛОВ, С. С. КИСЕЛЕВ, А. В. КУЛИКОВ, Р. Л. НОВИКОВ

КАЧЕСТВО НАМОТКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Обсуждаются вопросы качества изготовления чувствительных элементов волоконно-оптических гироскопов. Анализируются данные, полученные в процессе намотки чувствительных элементов. Определяются основные дефекты, возникающие при квадрупольной намотке, и природа их возникновения. Рассматривается задача точной установки шага укладки.

Ключевые слова: волоконно-оптический гироскоп, квадрупольная намотка, дефект намотки.

Введение. Волоконно-оптический контур представляет собой катушку оптического волокна с квадрупольным способом намотки. Он используется в качестве чувствительного элемента волоконно-оптического гироскопа (ВОГ), который получает все большее распространение в инерциальных системах навигации, управления и стабилизации [1—5].

Для снижения влияния температуры на характеристики ВОГ используется специальная квадрупольная намотка оптического волокна на катушку: равноудаленные от середины катушки участки волокна размещаются максимально близко. При таком способе необходимо попеременно наматывать на катушку волокно в разные стороны от середины (правое и левое плечо).

Можно выделить ряд факторов, усложняющих процесс создания контура:

— малый диаметр используемого волокна, что значительно затрудняет визуальный контроль;

— наличие в волокне внутренних напряжений;

— большая длина наматываемого волокна;

— несовершенство технологии намотки волоконного контура,

— специфика квадрупольного метода намотки.

Под параметрами качества намотки понимаются такие свойства чувствительного элемента ВОГ, которые влияют на выходные характеристики самого гироскопа:

— суммарная длина волоконного контура;

— соотношение длины левого и правого плеча контура;

— количество различных дефектов намотки.

Исследованию параметров качества чувствительного элемента ВОГ и факторов, на них влияющих, посвящена эта статья.

Дефекты намотки. Волоконно-оптический контур состоит из N слоев волокна, диаметр каждого из которых больше диаметра предыдущего слоя [6]. Как следствие, и длина волокна последующего слоя должна быть больше длины волокна:

$$L = \sqrt{\pi^2 (D_k + D_b (1 + (N - 1)\sqrt{3}))^2 + D_b^2 n}, \quad (1)$$

где D_k — диаметр каркаса рабочей катушки, D_b — диаметр волокна, n — число витков в одном слое.

Были обработаны данные, полученные в процессе намотки шести волоконно-оптических контуров с использованием фотоэлектрического датчика длины, имеющего погрешность ± 5 мм. На рис. 1 для сравнения приведены графики теоретических (отрезки, параллельные оси абсцисс) и практических зависимостей приращения длины волокна от номера слоя (a —

контур № 1, б — 2, в — 3, г — 4, д — 5, е — 6). Как видно, практические зависимости имеют скачкообразный характер. Стоит заметить, что изменение длины происходит как в сторону увеличения, так и уменьшения.

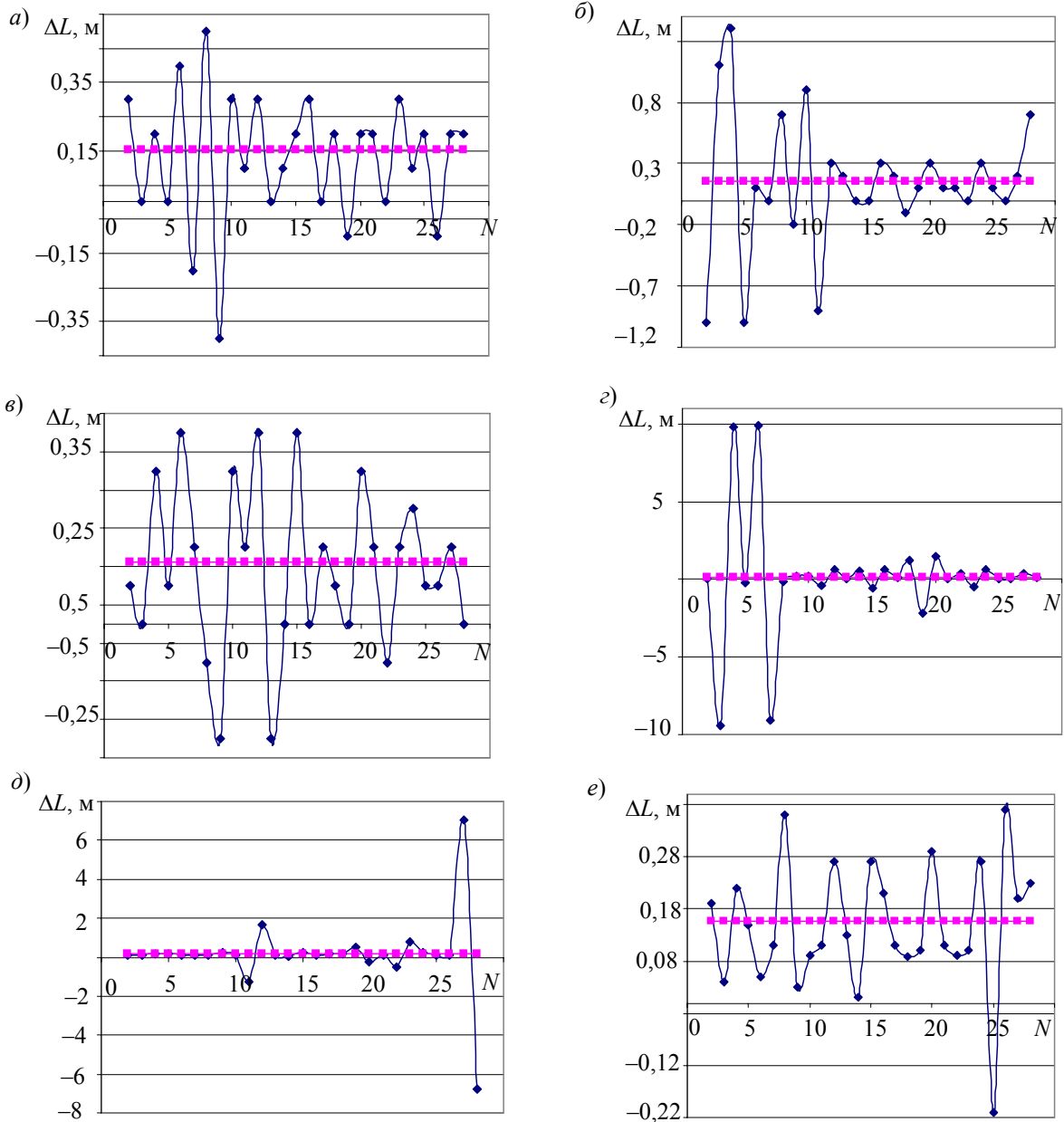


Рис. 1

Данное обстоятельство объясняется, прежде всего, тем, что структура волоконно-оптического контура содержит множество дефектов. Условно их можно разделить на постоянные и переменные, первые обусловлены конструкцией каркаса рабочей катушки, наличием угла между укладываемыми волокнами и бортом каркаса, чередованием намотки левого и правого плеча и т.д. К ним относятся перескок (рис. 2, 1), пристеночный дефект (рис. 2, 2) и дефект „выходящего волокна“ (рис. 2, 3). Перескок характеризуется регулярным смещением волокна через виток и происходит из-за различия между текущим углом намотки и углом намотки витков предыдущего слоя. Пристеночный дефект возникает вследствие того, что борт катушки образует „клин“ с ближайшим к нему витком предыдущего слоя, так что виток, непосредственно прилегающий к борту, проваливается в зоне основания „клина“. „Дефект выходящего волокна“ является следствием чередования правой и левой половины волокна при

намотке контура: последнему витку текущего слоя необходимо огибать „выходящее“ волокно последнего витка предыдущего слоя.

Случайные дефекты, как правило, обусловлены большим значением жесткости волокна, плохим качеством намотки волокна на транспортную катушку, ошибками укладчика и т.д. Среди них различают дефекты 1-го и 2-го рода. Дефект 1-го рода (рис. 2, 4) вызван нерегулярным смещением волокна на один или несколько витков, 2-го рода — нерегулярным смещением волокна поверх одного из предыдущих витков (рис. 2, 5).

На рис. 3 приведен пример дефекта 1-го рода.

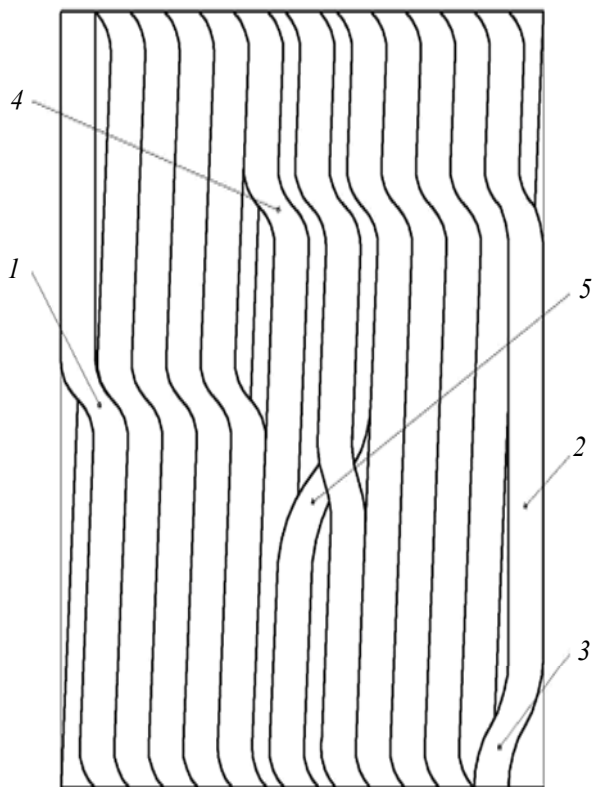


Рис. 2



Рис. 3

Наиболее значимыми причинами случайных дефектов являются жесткость волокна и качество его намотки на катушку — т.е. факторы, которые полностью не зависят от оператора. Было замечено, что при намотке контуров № 1, 3 и 6 данные условия были значительно лучше, нежели при намотке контуров № 2, 4 и 5. Как видно из рис. 1, зависимости приращенения длины слоя от номера слоя контуров второй группы характеризуются значительными скачками, которые, в конечном счете, вносят существенный вклад в неравенство длины левого и правого плеча интерферометра.

Наличие описанных дефектов в структуре квадрупольной намотки приводит, во-первых, к неодинаковому приращению длины волокна в каждом слое, вследствие чего увеличивается неравенство длины плеч ВОГ, во-вторых, к увеличению количества локальных изгибов волокна. Первое обстоятельство увеличивает зависимость контура от градиента температуры, второе — повышает рассеяние света в волноводе.

Шаг укладки. Длина волокна, составляющего волоконно-оптический контур, зависит от диаметра катушки и волокна, ширины катушки, шага укладки, дефектов укладки.

При намотке каждого нового слоя происходит приращение суммарного диаметра волоконно-оптического контура. В отсутствие дефектов будем иметь следующее значение диаметра контура:

$$D_{\text{кон}} = D_{\text{к}} + (2 + (N - 1)\sqrt{3})D_{\text{в}}. \quad (2)$$

Как следствие, длина волокна каждого последующего слоя будет прямо зависеть от диаметра катушки и волокна. Значения этих параметров не зависят от оператора, производящего намотку контура, в отличие от шага укладки, точная установка которого является очень важной задачей. При значении шага укладки, меньшем диаметра волокна на величину ΔD , через n витков, где $n = D_{\text{в}}/\Delta D$, может произойти дефект второго рода, что существенным образом нарушит регулярность структуры волоконно-оптического контура. Установка величины шага укладки большей, чем диаметр волокна, приведет к значительно меньшим нарушениям структуры, однако в этом случае один слой контура будет вмещать меньшее число витков. Кроме того, диаметр контура будет несколько сокращен, вследствие того что витки каждого последующего слоя будут попадать в промежутки между витками предыдущего слоя. Оба фактора приведут к уменьшению длины волокна в контуре.

Как следствие, необходимо точно измерять диаметры сечений оптического волокна для увеличения длины контура в пределах установленного числа квадруполей.

Заключение. В ходе проведенных исследований были обработаны данные, полученные при намотке волоконных контуров, выявлены основные дефекты намотки, а также определено влияние шага укладки на параметры качества. Было установлено, что дефекты намотки приводят, во-первых, к изменению длины контура (однако в силу своего случайного характера данное изменение различается для левого и правого плеча контура), во-вторых, к увеличению количества локальных изгибов волокна и, как следствие, увеличению рассеяния света в волноводе. Кроме того, была определена природа дефектов, которая напрямую связана с особенностями волокна, оборудования и технологии намотки.

Представленные результаты могут быть использованы в дальнейшей работе по исследованию, с целью повышения, качества намотки чувствительных элементов ВОГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Peshekhonov V. G., Nesenjuk L. P., Staroseltsev L. P.* Trends in Development of Miniature Strapdown Inertial Measurement Units in CSRI Elektropribor // Symp. Gyro Technology. Stuttgart, Germany, 2000. P. 13.
2. *Paturel Y., Rumoroso V., Chapelon A., Honthaas J.* MARINS, the First FOG Navigation System for Submarines // Symp. Gyro Technology. Stuttgart, Germany, 2006. P. 17.
3. *Kolevator A. P., Nikolaev S. G., Andreev A. G., Ermakov V. S., Dunaev D. A., Kel O. L., Malgin N. V.* Development of a Dual Mode Attitude and Heading Reference System on Fiber Optic Gyros for Land Vehicles // 13th Intern. Conf. on Integrated Navigation Systems. St. Petersburg, 2006. P. 338—347.
4. *Meshkovsky I. K., Strigalyov V. I., Deineka G. B., Peshekhonov V. G., Nesenjuk L. P.* A three-axis fiber-optic gyroscope for marine navigation systems // 16th Intern. Conf. on Integrated Navigation Systems. St. Petersburg, 2009. P. 7—12.
5. *Шереметьев А. Г.* Волоконно-оптический гироскоп. М.: Радио и связь, 1987. 152 с.
6. *Мешковский И. К., Киселев С. С., Куликов А. В., Новиков Р. Л.* Дефекты намотки оптического волокна при изготовлении чувствительного элемента волоконно-оптического интерферометра // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 2. С. 47—51.

Сведения об авторах

- Игорь Касьянович Мешковский** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра физики и техники оптической связи; заведующий кафедрой; E-mail: igorkm@spb.runnet.ru
- Александр Алексеевич Унтилов** — канд. техн. наук; ОАО Концерн «ЦНИИ „Электроприбор“», Санкт-Петербург; начальник лаборатории; E-mail: untilov_aa@mail.ru

- Сергей Степанович Киселев** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра измерительных технологий и компьютерной томографии;
E-mail: kiselev@mail.ifmo.ru
- Андрей Владимирович Куликов** — Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра физики и техники оптической связи; инженер; E-mail: a.kulikov86@gmail.com
- Роман Леонидович Новиков** — студент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра измерительных технологий и компьютерной томографии;
E-mail: novikov_r_l@mail.ru

Рекомендована кафедрой
измерительных технологий
и компьютерной томографии

Поступила в редакцию
01.03.11 г.