

Н. И. КРОБКА, А. И. БАЛАНДИН, С. В. КЕДА, А. И. ТЕРЕШКИН, Д.С. ЩЕРБИЦКИЙ

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ МАТРИЦЫ ШУМОВ МНОГООСНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ

Представлены результаты исследования корреляционной матрицы шумов первого экспериментального образца 4-осного волоконно-оптического гироскопа (ВОГ) разработки НИИ прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова. Обнаружен новый (дополнительный к общему излучателю) источник шумов, коррелированных во всех информационных каналах 4-осного ВОГ [1].

Введение

Цель работы – исследование структуры корреляционной матрицы шумов (КМШ) многоосных ВОГ (МВОГ) в связи с эффектом влияния недиагональных элементов КМШ на точность бесплатформенных инерциальных систем ориентации (БИСО) [2, 3].

В основе анализа – исходный массив $\tilde{\omega}_i(t_n)$ первичных данных 24-часовых испытаний на неподвижном основании 4-осного ВОГ разработки НИИ прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова:

$$\bar{\omega}(t_n) \equiv \begin{pmatrix} \tilde{\omega}_1(t_n) \\ \tilde{\omega}_2(t_n) \\ \tilde{\omega}_3(t_n) \\ \tilde{\omega}_4(t_n) \end{pmatrix}; \quad \tilde{\omega}_i(t_n) \equiv \frac{1}{\tau_0} \int_{t_{n-1}}^{t_n} \omega_i(t) dt; \quad t_n - t_{n-1} = \tau_0; \quad i = 1, 2, 3, 4; \quad n = 1, 2, \dots, 21000000.$$

Здесь $\tilde{\omega}_i(t_n)$ – усредненные на n -м такте съема информации первичные данные i -го информационного канала МВОГ; τ_0 – длительность такта съема информации с МВОГ.

В работе впервые представлен явный вид КМШ на основе результатов натурных испытаний МВОГ при быстром съеме информации ($\tau_0 = 0,004$ с).

Кробка Николай Иванович. Кандидат физ.-мат. наук, главный научный сотрудник НИИ прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова (филиал ФГУП «ЦЭНКИ»). Чл.-корр. Академии инженерных наук имени А.М. Прохорова. Действительный член Академии навигации и управления движением.

Баландин Алексей Иванович. Ведущий инженер НИИ прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова (филиал ФГУП «ЦЭНКИ»).

Кеда Сергей Викторович. Ведущий инженер НИИ прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова (филиал ФГУП «ЦЭНКИ»).

Терешкин Александр Иванович. Начальник отдела НИИ прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова (филиал ФГУП «ЦЭНКИ»).

Щербицкий Дмитрий Сергеевич. Ведущий инженер НИИ прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова (филиал ФГУП «ЦЭНКИ»).

Статья по материалам доклада на XVIII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам.

Результаты исследования КМШ

Для исследования КМШ двух типов:

$$K(\tau) = \langle \bar{\omega}(t) \bar{\omega}^T(t+\tau) \rangle - \langle \bar{\omega}(t) \rangle \langle \bar{\omega}^T(t+\tau) \rangle = \begin{pmatrix} k_{11}(\tau) & k_{12}(\tau) & k_{13}(\tau) & k_{14}(\tau) \\ k_{21}(\tau) & k_{22}(\tau) & k_{23}(\tau) & k_{24}(\tau) \\ k_{31}(\tau) & k_{32}(\tau) & k_{33}(\tau) & k_{34}(\tau) \\ k_{41}(\tau) & k_{42}(\tau) & k_{43}(\tau) & k_{44}(\tau) \end{pmatrix}; \quad (1)$$

$$K(t', t'') = \langle \bar{\omega}(t') \bar{\omega}^T(t'') \rangle - \langle \bar{\omega}(t') \rangle \langle \bar{\omega}^T(t'') \rangle = \begin{pmatrix} k_{11}(t', t'') & k_{12}(t', t'') & k_{13}(t', t'') & k_{14}(t', t'') \\ k_{21}(t', t'') & k_{22}(t', t'') & k_{23}(t', t'') & k_{24}(t', t'') \\ k_{31}(t', t'') & k_{32}(t', t'') & k_{33}(t', t'') & k_{34}(t', t'') \\ k_{41}(t', t'') & k_{42}(t', t'') & k_{43}(t', t'') & k_{44}(t', t'') \end{pmatrix} \quad (2)$$

использовалось специально разработанное программное обеспечение.

На рис. 1–3 приведены КМШ типа (1). Они проще в построении, но предполагают *a priori* стационарность шумов. Однако использование КМШ (1) так же, как и КМШ типа (2), позволяет заметить нестационарность шумов, что проявляется в неравенстве симметричных элементов КМШ: $k_{ab}(\tau) \neq k_{ba}(\tau)$, $a \neq b$.

Для дополнительной демонстрации нестационарности шумов МВОГ представлены две КМШ: на рис. 1 – КМШ, соответствующая первому 5-минутному интервалу исходного массива $\tilde{\omega}_i(t_n)$ (75000 тактов съема информации), а на рис. 2 – КМШ, соответствующая двухсотому 5-минутному интервалу массива $\tilde{\omega}_i(t_n)$. Размерность элементов КМШ на рис. 1 и 2 – (град/ч)².

Во всех информационных каналах испытывавшегося образца МВОГ шумы коррелированы и содержат, в частности, модулированный квазипериодический шум с характерным периодом $14\tau_0$ (см. рис. 1 и 2).

Для выделения вклада в КМШ шумов МВОГ со временами корреляции, превышающими характерные времена квазипериодических шумов, анализировались зависимости КМШ от времени осреднения исходных данных первичного массива $\tilde{\omega}_i(t_n)$ на различных интервалах осреднения $\tau_* = 2^m \tau_0$ ($m = 1, 2, \dots, 25$).

На рис. 3 представлена КМШ МВОГ усредненного массива $\tilde{\omega}_i(t_N)$ при $m = 10$ ($\tau_* = 2^{10} \tau_0 = 4,096$ с). Размерность элементов КМШ на этом рисунке – (сумма информационных импульсов на интервале осреднения)². Цена импульса информационных каналов МВОГ – 0,00058 угл. с.

С учетом графиков (рис. 1-3) оценка меры корреляции шумов

$$k_{ab}(\tau)k_{ba}(\tau)/k_{aa}(\tau)k_{bb}(\tau)$$

в информационных каналах МВОГ составляет:

- для «быстрых» процессов (рис. 1, 2) – (0,4-0,8);
- для «медленных» процессов (рис. 3) – (0,1-0,2);
- для белых шумов – не более 0,01.

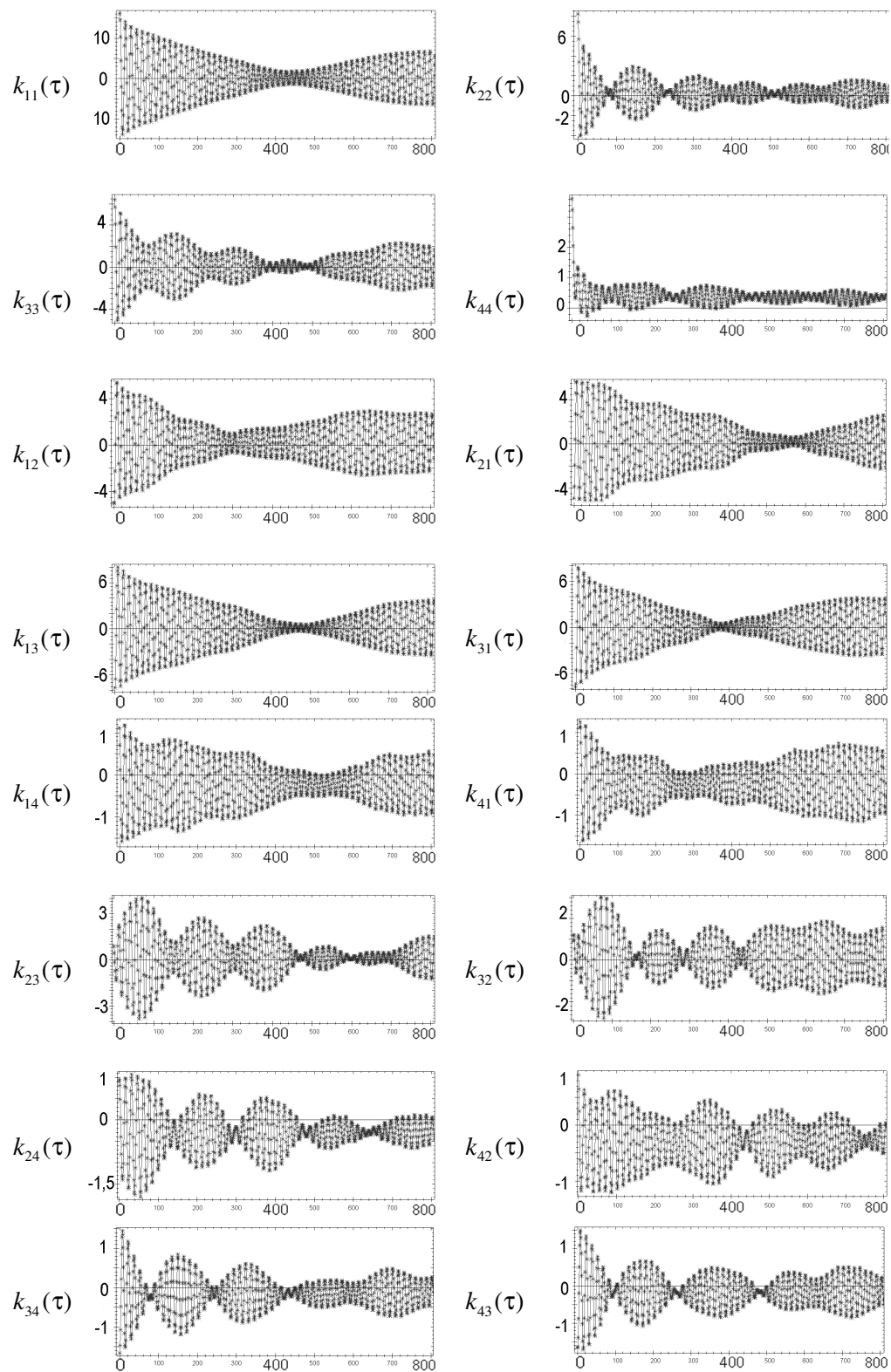


Рис. 1. КМШ МВОГ 1-го 5-минутного интервала массива $\tilde{\omega}_i(t_n)$

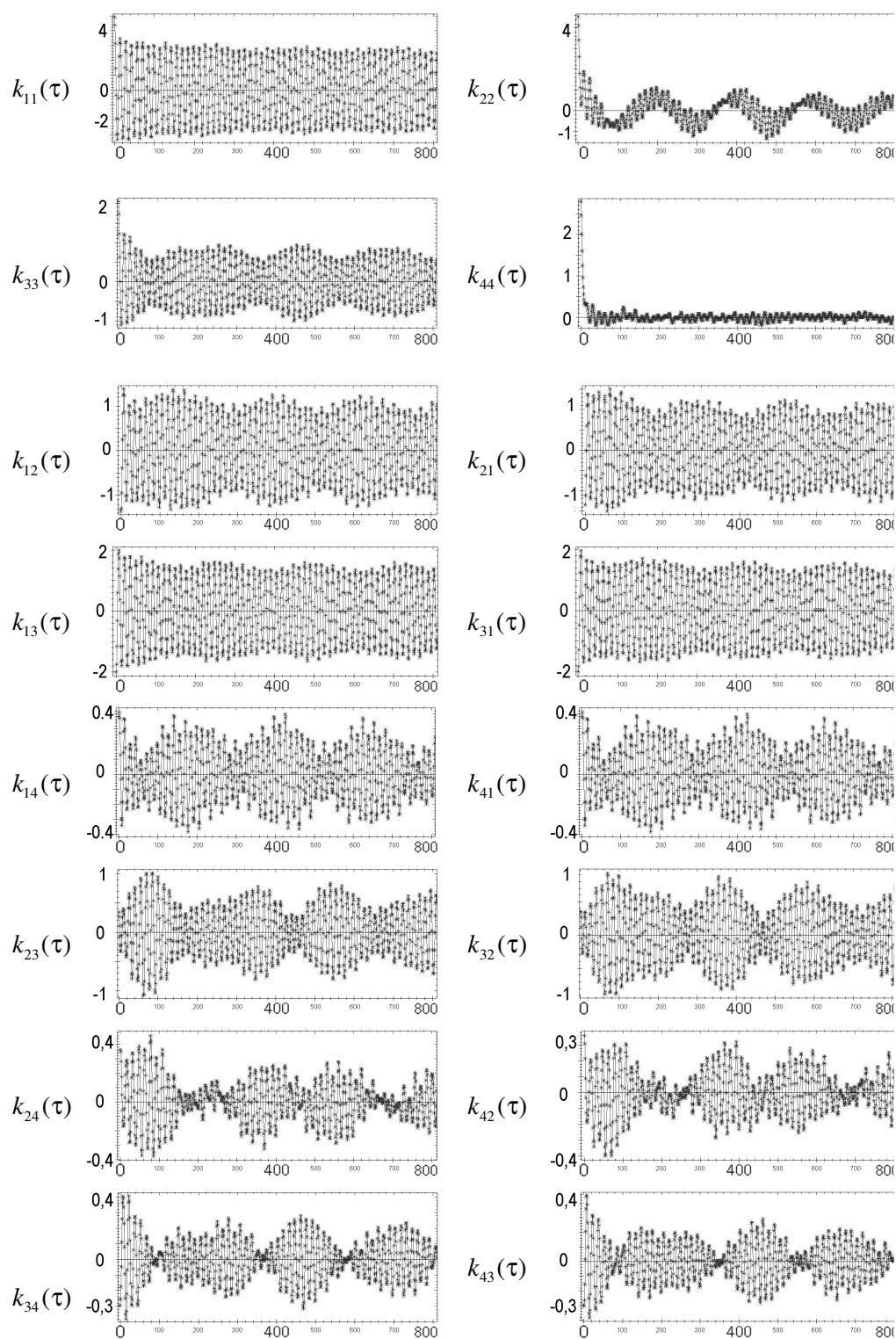


Рис. 2. КМШ МВОГ 200-го 5-минутного интервала массива $\tilde{\omega}_i(t_n)$

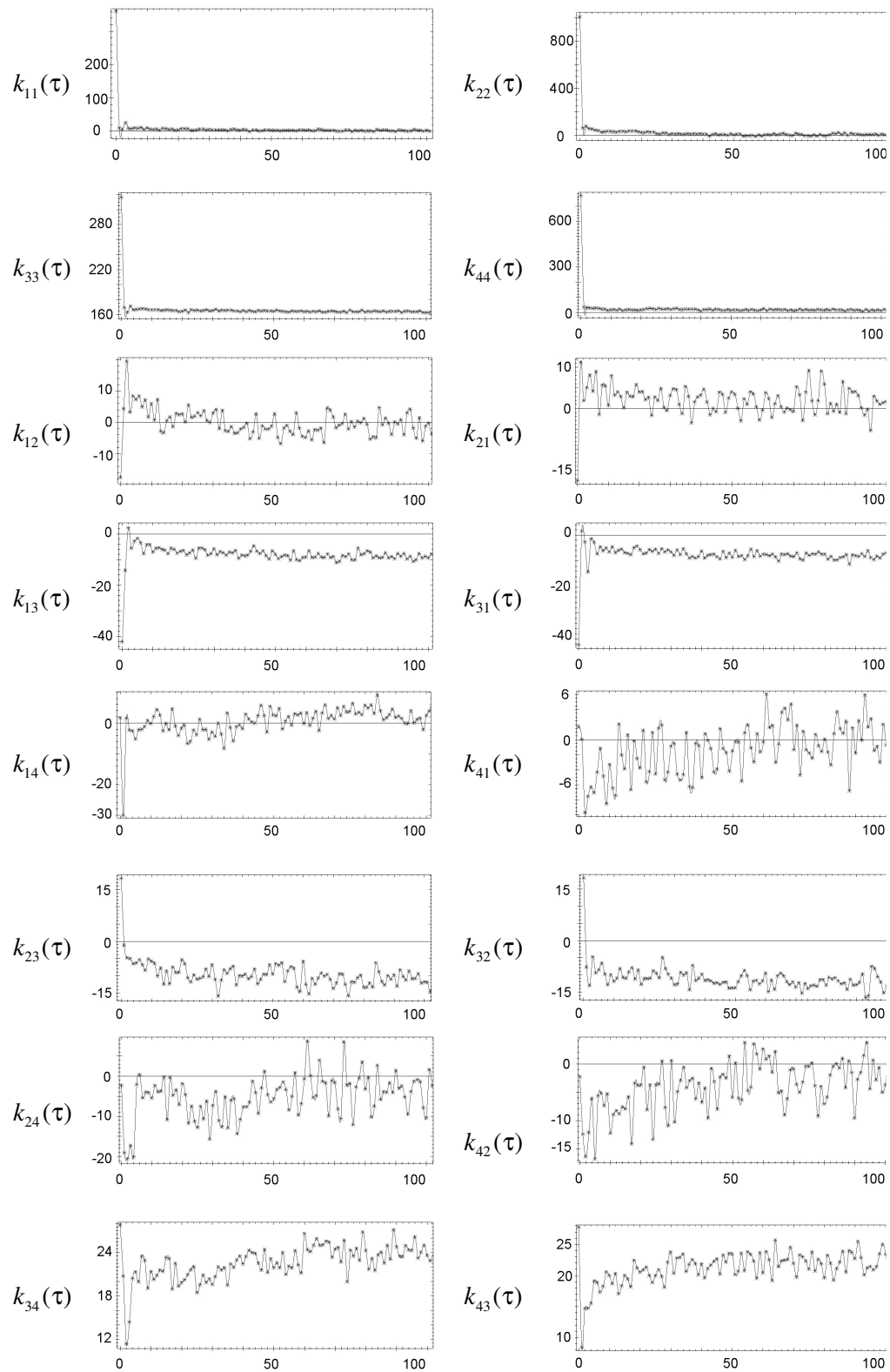


Рис. 3. КМШ усредненного массива $\tilde{\tilde{\omega}}_i(t_N)$

Заключение

Впервые исследованы КМШ МВОГ по результатам испытаний МВОГ.

Гипотеза [2, 3] о том, что недиагональные элементы КМШ МВОГ могут быть соизмеримы по величине с диагональными элементами, подтверждена экспериментально. На основании исследования КМШ замечено, что ранее обнаруженный источник шумов ВОГ (не идеально скомпенсированные фазовые подставки ВОГ [4]) коррелирован в информационных каналах 4-осного ВОГ. Мера корреляции шумов конкретного, исследовавшегося образца МВОГ в информационных каналах МВОГ достигает 40-80%. Установлена нестационарность шумов. Результат моделирования влияния конкретной реализации шумов МВОГ $\tilde{\omega}_i(t_n)$ на точность БИСО представлен в [5]. Устранение при последующей обработке источников обнаруженных шумов МВОГ – резерв повышения точности БИСО.

Авторы благодарны коллегам: А. П. Гусеву – за первичные данные испытаний экспериментального образца 4-осного ВОГ; Л. Н. Слезкину, В. Л. Петелину и Л.З. Новикову – за дискуссии; А. А. Волынцеву – за внимание к методам исследования шумов гироскопов, разрабатываемых в НИИ прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 **Исследование** корреляционных матриц шумов многоосных волоконно-оптических гироскопов с одним общим источником излучения // Н.И. Кробка [и др.] // XVIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. - СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», 2011. - С. 56-60.
- 2 **Кробка, Н.И.** Особенности бесплатформенных инерциальных систем ориентации на основе трехосных волоконно-оптических гироскопов с одним общим источником излучения // Юбилейная XV Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. - СПб.: ГНЦ РФ - ЦНИИ «Электронприбор». - 2008. - С. 87-89.
- 3 **Кробка, Н.И.** Новый некоммутативный кинематический эффект и его проявления в бесплатформенных инерциальных системах ориентации на основе волоконно-оптических гироскопов // Гироскопия и навигация. - 2009. - № 1. - С. 36-51.
- 4 **Кробка, Н.И.** Дифференциальные методы идентификации структуры шумов гироскопов // Гироскопия и навигация. - 2011. - № 1 (72). - С. 59-77.
- 5 **Кробка, Н.И.** Моделирование бесплатформенных инерциальных систем ориентации на волоконно-оптических гироскопах / Н.И. Кробка, А.И. Баландин // XVIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», 2011. - С. 125-127.

Abstract. The paper considers the results of noise correlation matrices research for the first prototype of 4-axial fiber-optic gyroscope (FOG) developed by the Scientific & Research Institute for Applied Mechanics named after academician V.I. Kuznetsov. A new source of noises (in addition to the noise of single light source) which is correlated in the FOG's information channels was detected.

Key words: 4-axial fiber-optic gyroscope, noise correlation matrices research, new source of noises