

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2025-50-40-44>

РЕФОРМИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Миловzorov Д.Г., Ясовеев В.Х.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Ключевые слова: векторно-измерительные преобразователи, трехкомпонентные феррозондовые и акселерометрические датчики, реформирование, масштабирование, нелинейность, температурный дрейф.

Аннотация. Рассмотрены вопросы, связанные с влиянием внешних и внутренних факторов на измеренные информационные сигналы информационно-измерительных систем, приводящих к деформированию сигналов. Выявлены основные источники деформирования, оказывающие существенное влияние на регламентированные метрологические характеристики приборов. Определена последовательность действий, применяемых при реализации подхода к реформированию измеренных значений информационных сигналов, фиксируемых датчиками.

REFORMING THE MEASURED VALUES OF INFORMATION- MEASUREMENT SYSTEMS INFORMATIONAL SIGNALS

Milovzorov D.G., Yasoveev V.Kh.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Keywords: vector measurement transducers, three-component fluxgate and accelerometer sensors, reforming, scaling, nonlinearity, temperature drift.

Abstract. This paper considers the influence of external and internal factors on the measured informational signals of information-measurement systems, leading to signal deformation. The main sources of deformation that significantly affect the specified metrological characteristics of the devices are identified. A sequence of actions is defined for implementing the approach to reforming the measured values of information signals recorded by sensors.

Информационно-измерительные системы (ИИС), построенные на основе векторно-измерительных преобразователей (ВИП), таких как феррозондах и акселерометрах, подвержены влиянию внешних и внутренних факторов, приводящих к деформированию измеренных информационных сигналов. Под деформированием понимается отклонение полученных показаний от истинных (действительных) значений. Причинами такого явления часто оказываются условия окружающей среды, специфика функционирования самих датчиков, особенности конструкции всей аппаратуры, оказывающие влияние на регламентированные метрологические характеристики приборов.

Первоначальное деформирование измеряемых данных обусловлено особенностями конструкции приборов. Особое внимание уделяют расположению феррозондовых и акселерометрических датчиков внутри корпуса инклинометрических и геонавигационных ИИС при их изготовлении (рис. 1) [1]. Разработчикам важно соблюдать два ключевых технических требования:

- оси чувствительности датчиков ВИП обязательно должны быть ориентированы под прямым углом друг к другу и строго вдоль базовых осей корпуса оборудования;

- все датчики ВИП должны характеризоваться линейностью передаточных характеристик, воспроизводимостью измерений и равенством коэффициентов преобразования.

Невыполнение перечисленных условий или посредственная настройка аппаратуры неизбежно приводят к возникновению инструментальной погрешности и деформированию информационных сигналов, поступающих с датчиков.

Следующий фактор деформирования обуславливается особенностями самих датчиков, а точнее наличием нелинейности их передаточной характеристики. Специалисты по разработке измерительных систем традиционно стремятся достичь максимально возможной линейности характеристики, но добиться идеальной линейности невозможно.

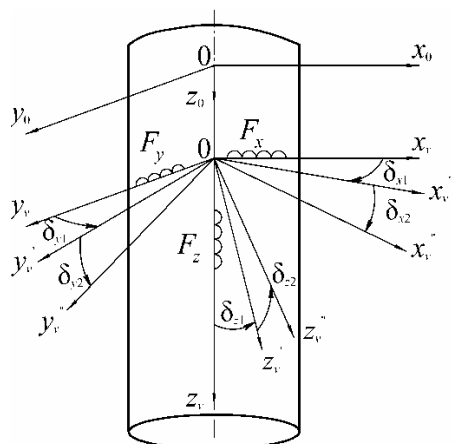


Рис. 1. Источники инструментальных погрешностей ВИП

Третья причина деформирования измеряемых данных, получаемых с датчиков, заключается в условиях их эксплуатации, а именно – в температурном дрейфе.

Изменение температуры оказывает негативное влияние как на сами датчики, так и на электронные схемы обработки измеренных сигналов, вызывая появление дополнительных температурных погрешностей в результатах измерений информационных сигналов с феррозондовых и акселерометрических датчиков. Эти погрешности рассматриваются как систематические.

Четвёртая стадия деформации сигналов вызвана внешними механическими факторами – вибрациями и ударами [2], особенно ярко проявляющимися у забойных инклинометрических систем, функционирующих в условиях разрушения горных пород при бурении. Механическое воздействие приводит к возникновению дополнительных динамических погрешностей, которые при различных режимах бурения рассматриваются как случайные.

Идея предлагаемого подхода к реформированию сигналов, фиксируемых датчиками ВИП, заключается в проведении действий, последовательно устраняющих результаты искажений, начиная с последнего этапа в обратном направлении [3]. Термин «реформирование» означает постепенное восстановление измеренных значений, позволяющее привести их максимально к действительным значениям.

На первом этапе устраняются или сводятся к минимуму динамические погрешности, возникающие вследствие внешних механических воздействий, таких как вибрация и удары, рассматриваемые как последствия случайных явлений.

В данном случае уместно воспользоваться проверенными механическими методами снижения вибрации и фильтрации результатов измерений за счет проведения процесса усреднения значений сигналов, поступающих с датчиков ВИП, как то усреднение самих измеренных сигналов или же расчетных параметров.

На следующем этапе реформирования производится снижение температурного дрейфа измеряемых значений информационных сигналов с датчиков ВИП. Для этого применяются следующие основные методы.

1. Схемотехнические методы, которые направлены на минимизацию влияния температуры непосредственно на этапе проектирования электроники: использование элементов с малым коэффициентом температурного изменения параметров (например, резисторов с низким ТКС) и применение компенсационных цепей, включающих дополнительные датчики температуры, сигналы которых используются для внесения поправок в основной сигнал.

2. Аналитический метод компенсации, который предполагает пост-обработку сигнала посредством алгоритма, учитывающего функциональную зависимость дрейфа от температуры, которая используется в программном обеспечении ИИС.

На следующем этапе реформирования проводят линеаризацию статических характеристик датчиков ВИП. Если нелинейность больше допустимой нормы, её устраняют одним из двух способов:

- 1) применения таблиц соответствия, когда каждому измеренному значению сигнала с датчика задается корректирующий коэффициент;
- 2) применения аппроксимирующих функций, когда используют математическое моделирование для описания нелинейности и приведения характеристик к линейному виду.

Заключительный этап реформирования включает в себя формирование аналитических выражений, связывающих реальные значения измеряемых параметров информационных сигналов с датчиков ВИП с угловыми параметрами пространственного положения корпуса информационно-измерительной системы с учетом малых вращений базиса корпуса на углы δ_i (рис. 1) относительно базовой системы координат корпуса ИИС, которые влияют на точность измерений [4]. Для формирования подобных аналитических выражений необходимо составлять векторно-матричное уравнение для каждого датчика ВИП отдельно [5]:

$$\vec{W}_{R_v} = [A_{\Sigma}] \vec{W}_{R_0} = \left[\prod_{i=1}^l \{A_{\delta i(j)}\} \right] \left[\prod_{i=1}^n \{A_{\tau i(k)}\} \right] \vec{W}_{R_0},$$

где $\vec{W}_{R_0}(w_{x_0}, w_{y_0}, w_{z_0})$ – вектор в основном базисе $R_0(0, X_0, Y_0, Z_0)$;

$\vec{W}_{R_v}(w_{x_v}, w_{y_v}, w_{z_v})$ – вектор во вновь образуемом базисе $R_v(0, x_v, y_v, z_v)$; $A_{\delta i(j)}$ –

матрицы направляющих косинусов, соответствующие дополнительным поворотам базиса корпуса $R_v(0, x_v, y_v, z_v)$ вокруг j -х осей на малые углы δ_j ; $A_{\tau i(j)}$ – матрицы направляющих косинусов, соответствующие поворотам базиса корпуса $R_0(0, X_0, Y_0, Z_0)$ вокруг k -х осей на искомые углы пространственной ориентации τ_i ; l и n – количество данных поворотов.

Решением представленного векторно-матричного уравнения будет являться система скалярных уравнений, определяющая аналитические зависимости реально измеряемых значений информативных параметров информационных сигналов с датчиков ВИП не только с основными углами τ_i пространственной ориентации самого корпуса ИИС, но и с дополнительными углами δ_j поворотов базиса корпуса.

Таким образом, разработанный подход направлен на увеличение точности определения углов пространственной ориентации информационно-измерительных систем с трехкомпонентными векторно-измерительными преобразователями. Этот подход предусматривает поэтапное реформирование значений измеренных сигналов с датчиков, включая:

- коррекцию температурного дрейфа, минимизирующую изменение измерительных сигналов ИИС вследствие колебания температуры;
- линеаризацию характеристик датчиков, снижающую влияние нелинейностей на результат измерений;
- формирование аналитических зависимостей, учитывающих взаимозависимости между измерительными сигналами с датчиков и параметрами пространственной ориентации корпуса ИИС.

Практическое внедрение разработанного подхода позволит существенно повысить точность определения углов пространственной ориентации ИИС, построенных на основе векторно-измерительных преобразователей, и расширить возможности применений таких систем в наукоёмких и высокотехнологичных приложениях.

Список литературы

1. Миловзоров Д.Г., Ясовеев В.Х. Феррозондовые преобразователи в магнитометрических измерительных системах: Монография. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2022. – 121 с.
2. Ковшов Г.Н., Алимбеков Р.И., Жибер А.В. Инклинометры (Основы теории и проектирования). – Уфа: ГИЛЕМ, 1998. – 380 с.
3. Milovzorov D.G., Yasoveyev V.Kh. Concept of Information Signals Reforming for the Tilt Measurement Systems with a Triaxial Accelerometer // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, pp. 1-5.
4. Миловзоров Д.Г. О построении векторно-измерительных преобразователей // Авиакосмическое приборостроение. – 2021. – №3. – С. 18-27.
5. Milovzorov D.G., Yasoveyev V.Kh. Angular installation options errors correction for three-component vector-measuring transducers with accelerometer at calibration phase // Proceedings 2017 2nd International Ural Conference on Measurements, UralCon 2017. Vol. 2017-November. – Chelyabinsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. – P. 23-28.

References

1. Milovzorov D.G., Yasoveev V.Kh. Fluxgate transducers in magnetometric measuring systems: Monograph. – Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 2022. – 121 p.
2. Kovshov G.N., Alimbekov R.I., Zhiber A.V. Inclinometers (Basics of theory and design). – Ufa: GILEM, 1998. – 380 p.
3. Milovzorov D.G., Yasoveyev V.Kh. Concept of Information Signals Reforming for the Tilt Measurement Systems with a Triaxial Accelerometer // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, pp. 1-5.
4. Milovzorov D.G. On the construction of vector measuring transducers // Aerospace instrumentation. 2021, vol. 3, pp. 18-27.
5. Milovzorov D.G., Yasoveyev V.Kh. Angular installation options errors correction for three-component vector-measuring transducers with accelerometer at calibration phase // Proceedings 2017 2nd International Ural Conference on Measurements, UralCon 2017. Vol. 2017-November. – Chelyabinsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. – P. 23-28.

Миловzorov Дмитрий Георгиевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электронной инженерии	Milovzorov Dmitry Georgievich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of electronic engineering
Ясовеев Васих Хаматович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электронной инженерии dgmilovzorov@ya.ru	Yasoveev Vasi Khmatovich – doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of electronic engineering

Received 28.10.2025